

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE
PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS
Y FILTROS DE TELA EN EL CONTROL
DE EMISIONES EN PARTICULAS**

**INFORME DE SUFICIENCIA PARA
OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

ORTIZ ÁLVIZ, CÉSAR AUGUSTO TEODORO
PROMOCIÓN 2000 – II

LIMA – PERÚ
2004

ÍNDICE

PRÓLOGO	1
CAPITULO I	
INTRODUCCIÓN	3
1.1 Objetivos	4
1.2 Alcances y Limitaciones	4
CAPITULO II	
PRECIPITADORES ELECTROSTÁTICOS (PES)	5
2.1 Descripción del Proceso	7
2.2 Tipos de PES	
2.2.1 Precipitadores de Placa-Alambre	9
2.2.2 Precipitadores de Placa Plana	12
2.2.3 Precipitadores Tubulares	13
2.2.4 Precipitadores Rotatorios	14
2.2.5 Precipitadores de Dos Etapas	15
2.2.6 Otros Diseños de Precipitadores	16
2.3 Equipo Auxiliar	18
CAPITULO III	
TEORÍA DE OPERACIÓN DE LOS PES	22
3.1 Recolección de Partículas	
3.1.1 Campo Electrico	23
3.1.2 Generación de Corona	24
3.1.3 Cargando Partículas	25
3.1.4 Recolección de Partículas	27
3.2 Mecanismo de Penetración	
3.2.1 Corona Inversa	28
3.2.2 Re-encauzamiento de Polvo	28
3.2.3 Escabullimiento de Polvo	29

CAPITULO IV	
MANTENIMIENTO APLICADO A PES	30
4.1 Problemas Típicos del Precipitador	30
4.2 Mantenimiento Sugerido por Fabricantes	36
4.3 Plan de Mantenimiento	38
CAPITULO V	
FILTROS DE TELA	73
5.1 Tipos de Filtros de Tela	
5.1.1 Limpieza por Agitación	75
5.1.2 Limpieza con Aire a la Inversa	77
5.1.3 Limpieza por Chorro Pulsante	79
5.1.4 Limpieza Sónica	83
5.2 Equipo Auxiliar	84
CAPITULO VI	
TEORIA DE OPERACIÓN DE LOS FILTROS DE TELA	88
6.1 Recolección de Partículas y Mecanismos de Penetración	88
6.2 Características de la Tela	91
6.3 Eficiencia de Recolección	93
CAPITULO VII	
MANTENIMIENTO APLICADO A FILTROS DE TELA	95
7.1 Mantenimiento Sugerido por Fabricantes	95
7.2 Plan de Mantenimiento	96
CONCLUSIONES	105
BIBLIOGRAFÍA	111
APENDICE	
FOTOS DE INSPECCIONES EN PES	

PROLOGO

La era industrial trajo muchos cambios en la vida de los seres humanos. Si bien es cierto se consiguieron importantes avances y un gran desarrollo en los procesos de manufactura así como en las comodidades personales, también es cierto que empezó una probablemente involuntaria depredación de los Recursos Naturales debido quizás a la emoción propia de la época y a la probable creencia que ellos jamás se agotarían.

A lo largo de los años, el hombre fue descubriendo como poco a poco las condiciones de vida y los parámetros que podrían haberse considerado patrones en el Planeta comenzaban a cambiar. Dichos cambios empezaban también a generar consecuencias en la flora, la fauna y en los propios seres humanos.

Estas fueron razones suficientes para que los hombres se preocuparan en aunar esfuerzos, trazándose como objetivo común el de buscar los medios necesarios para garantizar que las condiciones ambientales del Planeta sean afectadas en mínimas proporciones, tratando por otro lado de regenerar y proteger de la mejor manera posible aquellos Recursos Naturales en peligro de extinción.

Los parámetros para el control del medio ambiente fueron Reglamentados inicialmente por la ASME, y con el paso de los años la EPA (Environmental Protection Agency) pasó a ser una de las Instituciones Norteamericanas abanderadas, publicando actualmente Información y Métodos de Muestreo referentes a una amplia gama de contaminantes.

Uno de dichos parámetros es la contaminación del aire con los polvos y emisiones propias de todo proceso industrial. Para la mitigación de estos polvos y las emisiones industriales, se han desarrollado una infinidad de equipos, que mediante una variedad de procedimientos cumplen con diferentes eficiencias el objetivo para el cual han sido diseñados. Entre estos equipos podemos mencionar los Precipitadores Electrostáticos, los Filtros de Mangas, las Cámaras de Aspersion, los Separadores Inerciales para Materia en Partículas, Limpiadores con Placas de Repercusión, etc.

Siendo actualmente la Protección del Medio Ambiente una preocupación creciente, tanto los Industriales como los Consumidores debemos tomar este tema con la seriedad correspondiente si es que deseamos dejar de herencia a las futuras generaciones un Planeta en el que puedan vivir.

CAPITULO I

INTRODUCCION

Dada la creciente preocupación por cuidar el medio en que vivimos, existen en la actualidad diversos equipos para el control de emisiones de material particulado.

De esta infinidad de equipos existentes, se han escogido dos variedades a fin de realizar un análisis comparativo entre ellos, en base fundamentalmente a los Trabajos de Mantenimiento que en ellos deban realizarse, sin que ello implique dejar de lado los Costos que involucran nuevas Instalaciones ni los Costos propios de la Operación.

El primer equipo a estudiar es el denominado Precipitador Electrostático, partiendo de la premisa que es el equipo actualmente en uso en una determinada instalación recolectora de material particulado. En base a ello, se presentarán los posibles problemas a los que el equipo puede estar sometido, finalizando con experiencias obtenidas en el trabajo con el equipo en mención.

El segundo equipo en estudio lleva por denominación Filtro de Tela, analizándose sus posibles ventajas frente al Precipitador Electrostático a modo de tomarlo como una posible alternativa de cambio.

1.1 Objetivos

El presente informe busca alcanzar los objetivos listados a continuación:

Conocer los precipitadores electrostáticos; sus diferentes tipos, formas de funcionamiento y características especiales.

Analizar los trabajos de mantenimiento a realizarse en los Precipitadores Electrostáticos.

Presentar los Filtros de Tela como posible alternativa en la recolección de material particulado.

1.2 Alcances y Limitaciones

Siendo los Precipitadores Electrostáticos equipos de una complejidad relativamente alta, los puntos a tratar en el presente informe se hacen desde un punto de vista práctico, sin profundizar demasiado en el análisis matemático que se viene realizando para este tipo de equipo.

Por otro lado, los Filtros de Tela son equipos relativamente más sencillos (sin ser por ello menos eficientes), los cuales requieren criterios más prácticos para su entendimiento.

Sin embargo, en caso de surgir la inquietud, se incluye en la Bibliografía el archivo EPA AIR POLLUTION CONTROL COST MANUAL en el cual se explican los procedimientos de diseño de Precipitadores Electrostáticos y de Filtros de Tela.

CAPITULO II

PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS (PES)

El control de la emisión de partículas en los procesos industriales ha sido un problema al que se ha dado mayor importancia a finales del siglo XX. Frederick Cottrell desarrolló la tecnología electrostática la cual ha sido utilizada desde principios de 1900, siendo la primera instalación exitosa la encargada de recolectar vapor de ácido sulfúrico. Posteriormente, cuando los calderos de carbón pulverizado se volvieron más populares, el diseño de los precipitadores continuó mejorando y se volvieron más importantes en la recolección de ceniza debido a su alta eficiencia de recolección. El diseño que actualmente conocemos fue establecido a finales de los años veinte.

A lo largo de los años sesenta, el énfasis medioambiental aceleró la tendencia de mejorar los aparatos de control de partículas. Aunque el diseño básico del precipitador permanecía virtualmente sin cambios, continuaron mejorando las fuentes de poder y la selección de materiales, permitiendo que dichos precipitadores incrementen su eficiencia de recolección.

Con el surgimiento del Acta de Aire Limpio y sus estrictas limitaciones, las eficiencias de recolección aumentaron a un rango de 99.5% a 99.9%. Al mismo tiempo, otras regulaciones ambientales han disminuido el nivel permisible de emisiones de SO₂, haciendo necesario el

cambio de combustibles de alto a bajo sulfuro o instalaciones con equipos capaces de eliminar este SO_2 . Estas regulaciones han ocasionado cambios en el diseño y tamaño de los precipitadores haciendo imperativa la necesidad de una operación más eficaz con poco mantenimiento.

Hoy en día, el refinamiento en operación, materiales y nuevas invenciones abundan para los precipitadores electrostáticos, incluyendo el electrodo de descarga de tubería con picos, mayor espaciamiento entre placas, energización intermitente, controles de voltaje de microprocesador y controles de sacudido, reactores limitadores de corriente de inductancia variable, y programas de computadora que permiten a los operadores ver las operaciones del precipitador desde localidades remotas, guardar datos y ver otros parámetros de operación como curvas de voltaje-corriente.

Los precipitadores se utilizan en una variedad de industrias para recolectar varios tipos de partículas. En las industrias de pulpa y papel, los precipitadores se usan para recuperar las sustancias químicas usadas durante el proceso. En las plantas de producción, los precipitadores recolectan clíncker y polvo de cemento, vapores ácidos y de petróleo e insecticidas. También se usan en la industria del acero, petróleo y, por supuesto, en la industria eléctrica.

Los precipitadores electrostáticos tienen varias ventajas al compararlos con otros dispositivos de control. Son recolectores muy eficientes, aún para las partículas pequeñas. Debido a que las fuerzas de recolección actúan sólo sobre las partículas, los PES pueden tratar grandes volúmenes de gases con bajas caídas de presión.

Pueden recolectar materiales secos, humos y neblinas. Los precipitadores electrostáticos también pueden operar sobre un amplio rango de temperaturas y generalmente poseen bajos costos de operación.

Las posibles desventajas de los PES incluyen los altos costos de capital, los requisitos de espacios grandes, la inflexibilidad respecto a las condiciones de operación, y la dificultad en controlar las partículas con alta resistividad. Sin embargo estas desventajas pueden ser controladas con un diseño apropiado.

2.1 Descripción del Proceso

Un precipitador electrostático (PES) es un dispositivo de control de partículas que utiliza fuerzas eléctricas para mover las partículas fuera de la corriente de gas y sobre las placas del colector. A las partículas se les da una carga eléctrica forzándolas a que pasen a través de una corona, una región en la cual fluyen iones gaseosos. El campo eléctrico que induce a las partículas cargadas hacia las paredes, proviene de electrodos que se mantienen a un alto voltaje en el centro de la línea de flujo.

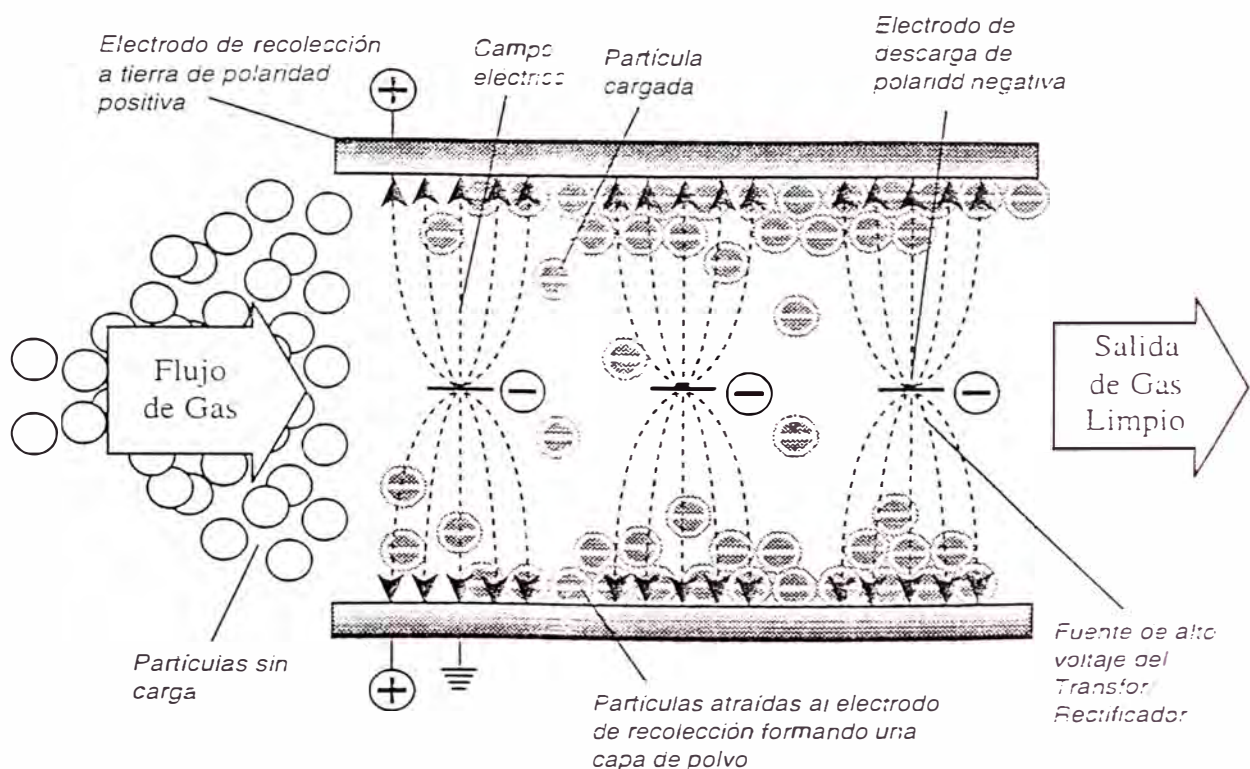


Figura 2.1 – Principio de Operación de un Precipitador Electrostático

Una vez que las partículas son recolectadas sobre las placas, éstas deben ser removidas sin que se re-encaucen en la corriente de gas. Esto se logra usualmente desprendiéndolas de las placas, permitiendo que la capa de partículas recolectada se deslice hacia una tolva desde la cual son evacuadas. En los PES en seco el material particulado es removido por rappers (martilleo o golpeteo) los cuales vibran la superficie de recolección. Los PES en húmedo usan agua para lavar las partículas de las placas.

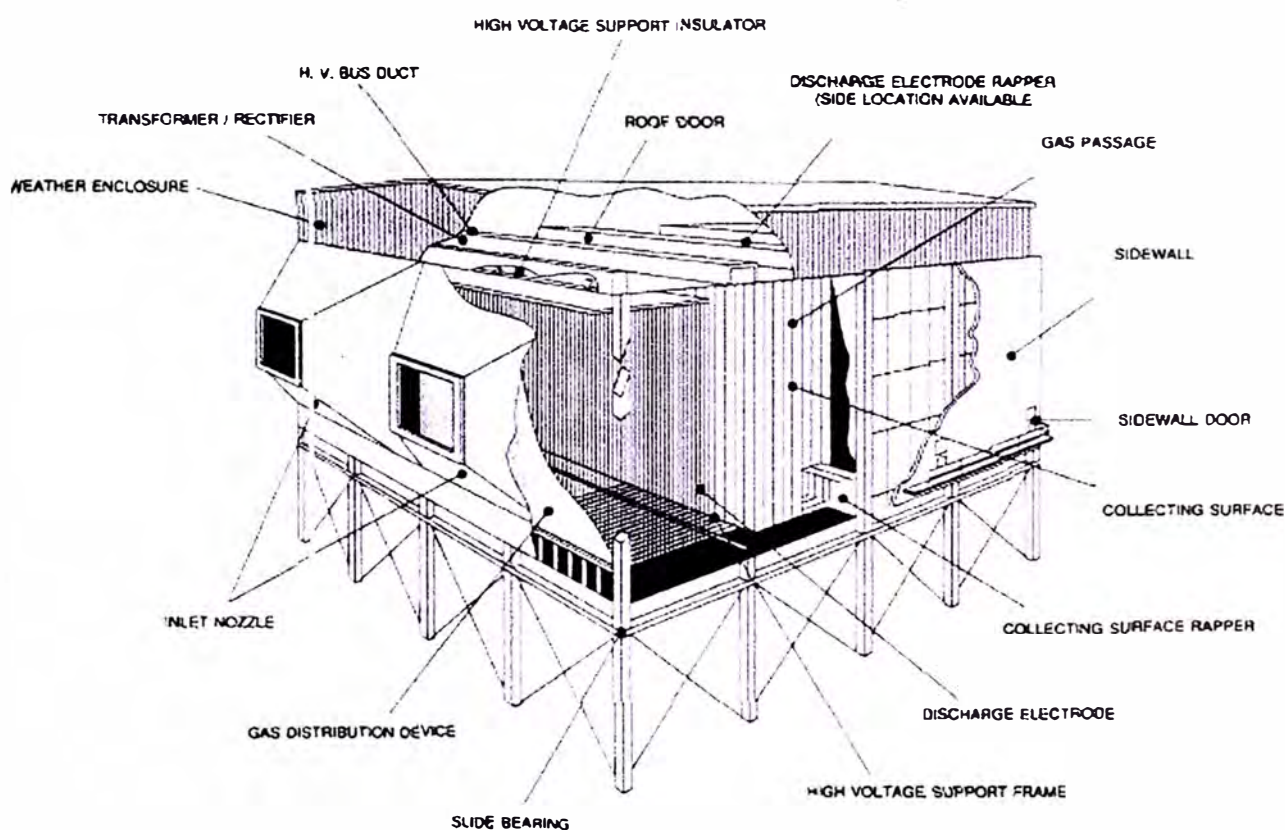


Figura 2.2: Componentes del Precipitador Electrostático

2.2 Tipos de PES

Los PES presentan diversas configuraciones. Algunas de éstas han sido desarrolladas para una acción de control especial y otras han evolucionado por razones económicas.

2.2.1 Precipitadores de Placa-Alambre

Los PES de placa-alambre son utilizados en una amplia variedad de aplicaciones industriales, incluyendo calderas que queman carbón, hornos de cemento, incineradores de residuos no-peligrosos, calderas de recuperación en plantas de papel, unidades de refinación de petróleo por desintegración catalítica, plantas de sinterización, hornos básicos de oxígeno, hornos de chimenea abierta, hornos de arco eléctrico, baterías de hornos de coque y hornos de vidrio.

En un PES de placa-alambre, el gas fluye entre placas paralelas de metal y electrodos a alto voltaje. Estos electrodos son alambres largos con pesas, colgando entre las placas o soportados ahí por estructuras tipo viguetas (armazones rígidas). En cada dirección de flujo, el flujo del gas debe pasar por cada alambre en secuencia a medida que fluye a través de la unidad.

El PES de placa-alambre permite que muchas líneas de flujo operen en paralelo y cada línea puede ser muy alta. Como resultado, este tipo de precipitador es adecuado para manejar grandes volúmenes de gas. La necesidad de golpetear las placas para desprender el material recolectado, ha ocasionado que la placa sea dividida en secciones, en ocasiones tres o cuatro en serie una con otra, las cuales pueden ser golpeteadas independientemente. Con frecuencia, las fuentes de energía son seccionadas de la misma manera para obtener mayores voltajes de operación y puede emplearse un seccionamiento eléctrico adicional para incrementar la seguridad de funcionamiento. El polvo también se deposita en el alambre electrodo de descarga y debe ser removido periódicamente en forma similar a la placa de recolección.

Las fuentes de energía de los PES convierten el voltaje industrial de corriente alterna (220 a 480V ca), a voltaje pulsante de corriente directa (cd) en el rango de 20 000 a 100 000V

según se necesite. El suministro consiste de un transformador grande, rectificadores de alto voltaje y, a veces, filtros capacitores. La unidad puede suministrar voltaje rectificado de cd ya sea de media onda o de onda completa. Hay componentes auxiliares y controles para permitir ajustar el voltaje al valor más alto posible sin excesivo chisporroteo y para proteger la fuente y los electrodos en caso de que ocurra un arco fuerte o un corto circuito.

El voltaje aplicado a los electrodos causa que el aire entre los electrodos se rompa eléctricamente, una acción conocida como una "corona". Usualmente, a los electrodos se les da una polaridad negativa ya que una corona negativa soporta un voltaje mayor que una corona positiva antes de que ocurran chispas. Los iones generados en la corona siguen las líneas del campo eléctrico desde los alambres hasta las placas recolectoras. Por lo tanto, cada alambre establece una zona de carga a través de la cual las partículas deben pasar.

Las partículas que pasan a través de la zona de carga interceptan a algunos de los iones, los cuales se les adhieren. Las partículas pequeñas de aerosol ($<1 \mu\text{m}$ diámetro), pueden absorber decenas de iones antes de que su carga total llegue a ser lo suficientemente grande para repeler nuevos iones, y las partículas más grandes ($>10 \mu\text{m}$ diámetro), pueden absorber decenas de miles. Las fuerzas eléctricas son por lo tanto más fuertes en las partículas más grandes.

A medida que las partículas pasan cada alambre sucesivo, son llevadas cada vez más cerca de las paredes de recolección. Sin embargo, la turbulencia en el gas tiende a mantenerlas uniformemente mezcladas en el gas. El proceso de recolección es por lo tanto, una competencia entre las fuerzas eléctricas y las dispersoras. Eventualmente, las partículas se acercan tanto a las paredes que la turbulencia decae a niveles bajos y las partículas son recolectadas.

Si las partículas recolectadas pudieran ser desprendidas hacia la tolva, el PES sería extremadamente eficiente. El golpeteo que desprende la capa acumulada, también proyecta

algunas de las partículas nuevamente a la corriente del gas. Estas partículas re-encauzadas son entonces procesadas de nuevo por las secciones posteriores, pero las partículas re-encauzadas en la última sección del PES no tienen oportunidad de ser recapturadas y por tanto, escapan de la unidad.

Las consideraciones prácticas para pasar alto voltaje hacia el espacio entre las líneas de flujo y permitir algún claro sobre las tolvas para soportar y alinear los electrodos, deja lugar a que parte del gas fluya alrededor de las zonas cargadas. A esto se le llama “escabullirse” y equivale del 5 al 10 por ciento del flujo total. Usualmente se colocan deflectores anti-escabullimiento para forzar al flujo que se escabulle a que se mezcle con la corriente principal del gas para ser recolectada en secciones posteriores. Pero, de nuevo, el flujo que se escabulle alrededor de la última sección no tiene oportunidad de ser recolectado.

Estas pérdidas juegan un papel importante en el funcionamiento global de un PES. Otro factor importante es la resistividad del material recolectado. Debido a que las partículas forman una capa continua sobre las placas del PES, toda la corriente de los iones debe de pasar a través de la capa para alcanzar las placas a tierra. Esta corriente crea un campo eléctrico en la capa y puede llegar a ser lo suficientemente grande para causar un rompimiento eléctrico local. Cuando esto ocurre, nuevos iones de la polaridad contraria son inyectados dentro del claro placa-alambre, donde reducen la carga de las partículas y pueden causar chispas. Esta condición de rompimiento es llamada “corona invertida”.

La corona invertida prevalece cuando la resistividad de la capa es alta, usualmente sobre 2×10^{11} ohm-cm. Para resistividades menores, la operación del PES no se afecta por coronas invertidas, pero las resistividades mucho mayores a 2×10^{11} ohm-cm reducen considerablemente la capacidad de recolección de la unidad, porque la corona invertida severa causa dificultades para cargar las partículas. A resistividades por debajo de 10^8 ohm-cm, las partículas se mantienen en las placas de modo tan suelto, que el re-encauzamiento por golpeteo y sin golpeteo se vuelve más severo.

Debe tenerse cuidado al medir o estimar la resistividad porque se afecta fuertemente por variables tales como la temperatura, la humedad, la composición del gas, la composición de partícula y las características de la superficie.

2.2.2 Precipitadores de Placa Plana

Un número importante de precipitadores más pequeños (100 000 a 200 000 *acfm*), utilizan placas planas en lugar de alambres para los electrodos a alto voltaje. Estas placas planas (patente de la Corporación United McGill), incrementan el campo eléctrico promedio que puede ser usado para recolectar las partículas y proporcionan un área superficial aumentada para la recolección de las partículas. Las coronas no pueden generarse sobre las placas planas por si mismas, por lo que se colocan electrodos generadores de coronas por delante de, y a veces por detrás de las zonas de recolección de las placas planas. Estos electrodos pueden ser agujas puntiagudas adheridas a los bordes de las placas o alambres de corona independientes. A diferencia de los PES de placa-alambre o de los tubulares, este diseño opera igualmente bien con polaridad ya sea negativa o positiva. Los fabricantes han escogido utilizar polaridad positiva para reducir la generación de ozono.

Un PES de placa plana opera con poca o ninguna corriente de corona fluyendo a través del polvo recolectado, excepto directamente bajo las agujas o alambres de la corona. Esto tiene dos consecuencias. La primera es que la unidad es algo menos susceptible a la corona invertida que lo que son las unidades convencionales, porque no se genera corona invertida en el polvo recolectado y las partículas cargadas con ambas polaridades de iones tienen gran superficie de recolección disponible. La segunda consecuencia es que la falta de corriente en la capa recolectada causa una fuerza eléctrica que tiende a remover la capa de la superficie de recolección; esto puede conducir a grandes pérdidas por golpeteo.

Los PES de placa plana parecen tener amplia aplicación para partículas de alta resistividad con diámetros másicos medio (*DMM*) pequeños (de 1 a 2 μm). Estas aplicaciones enfatizan especialmente las fortalezas del diseño porque las fuerzas eléctricas desprendedoras son más débiles para las partículas pequeñas que para las grandes. Las cenizas de carbón han sido recolectadas satisfactoriamente con este tipo de PES, pero una baja velocidad de flujo parece ser crítica para evitar pérdidas altas por golpeteo.

2.2.3 Precipitadores Tubulares

Los PES originales eran tubulares, como las chimeneas donde eran colocados, con los electrodos a alto voltaje orientados a lo largo del eje del tubo. Los precipitadores tubulares tienen aplicaciones típicas en plantas de adición de ácido sulfúrico, limpieza del gas subproducto de los hornos de coque (remoción de alquitrán), y, recientemente, plantas de sinterización de hierro y acero. Tales unidades tubulares aún son utilizadas para algunas aplicaciones, con muchos tubos operando en paralelo para manejar mayores flujos de gas. Los tubos pueden tener forma como un panal circular, cuadrado o hexagonal con el gas fluyendo hacia arriba o hacia abajo. La longitud de los tubos puede seleccionarse según las condiciones. Un PES tubular puede sellarse herméticamente para prevenir fugas de material, especialmente material valioso o peligroso.

Un PES tubular es esencialmente una unidad de una etapa y es única, en que tiene a todo el gas pasando a través de la región del electrodo. El electrodo a alto voltaje opera a un voltaje en toda la longitud del tubo y la corriente varía a lo largo de su longitud a medida que las partículas son removidas del sistema. No hay rutas de escabullimiento alrededor de la región de recolección, pero las deformidades de la corona pueden permitir que algunas partículas eviten cargarse en una fracción considerable de la longitud del tubo.

Los PES tubulares son una porción pequeña de la población de PES y se aplican mayormente donde el material particulado es húmedo o pegajoso. Estos PES, usualmente limpiados con agua, tienen pérdidas por re-encauzamiento de una magnitud menor que la de los precipitadores de material particulado seco.

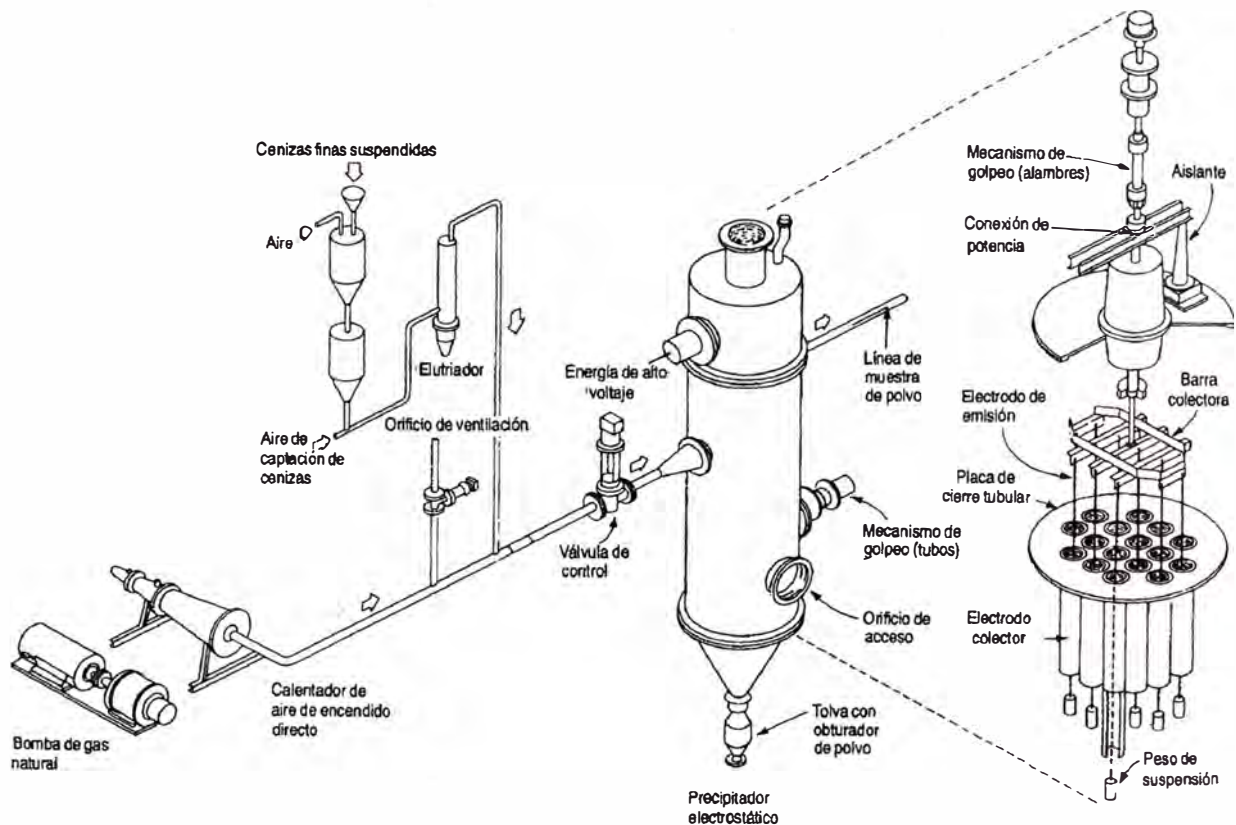


Figura 2.3: Precipitador tubular a escala piloto

2.2.4 Precipitadores Húmedos

Cualquier configuración del precipitador discutida anteriormente puede operar con paredes húmedas en vez de secas. El flujo del agua puede aplicarse intermitente o continuamente, para lavar las partículas recolectadas hacia un cárcamo para su deposición. La ventaja del precipitador de pared húmeda es que no tiene problemas con el re-encauzamiento por golpeteo o con coronas invertidas. La desventaja es la mayor dificultad del lavado y el hecho de que el lodo recolectado debe ser manejado más cuidadosamente que un producto seco, aumentando los gastos de deposición.

2.2.5 Precipitadores de Dos Etapas

Los precipitadores descritos previamente son todos paralelos en naturaleza, es decir, los electrodos de descarga y de recolección están lado a lado. El precipitador de dos etapas, inventado por Penney es un dispositivo en serie con el electrodo de descarga o ionizador, precediendo a los electrodos de recolección. Para aplicaciones en interiores, la unidad es operada con una polaridad positiva para limitar la generación de ozono.

Las ventajas de esta configuración incluyen más tiempo para cargar las partículas, menos propensión a corona invertida y construcción económica para tamaños pequeños. Este tipo de precipitador es generalmente utilizado para volúmenes de flujo de gas de 50 000 *acfm* y menos y se aplica a fuentes sub-micrométricas emitiendo rocíos de aceite, humos, gases de combustión u otros particulados pegajosos, porque hay poca fuerza eléctrica para retener a los particulados recolectados sobre las placas.

Pueden colocarse módulos en paralelo o en arreglos serie-paralelo, consistentes de un pre-filtro mecánico, ionizador, celda de la placa recolectora, post-filtro y caja de poder. El pre-acondicionamiento de los gases es normalmente parte del sistema. La limpieza puede ser por lavado con agua de los módulos removidos del sistema, hasta automático in-situ, por aspersion del colector con detergente, seguido de secado por sopleteo con aire.

Se considera que los precipitadores de dos etapas son tipos de dispositivos separados y distintos comparados con los PES grandes de una etapa, de alto volumen de gas. Los dispositivos más pequeños son vendidos usualmente como sistemas en paquete pre-diseñados.

2.2.6 Otros Diseños de Precipitadores

2.2.6.1 Placa de Marco Rígido

Este diseño de PES es muy parecido al PES de placa-alambre, con la excepción de que el electrodo de descarga es un marco rígido, y no una serie de alambres con pesas, que es colocado entre las placas. El marco soporta a los electrodos de descarga de alambre.

Este tipo de PES opera de la misma manera que el de placa-alambre y puede ser en seco o en húmedo. En general, el diseño rígido de marco es más durable que los alambres con pesas, pero tiene un costo inicial (capital) más alto. Los marcos rígidos se han vuelto el diseño preferido en algunas industrias, tales como la pulpa y el papel.

2.2.6.2 Distanciamiento Ancho Entre las Placas

Las superficies de flujo entre las placas de un PES de placa-alambre convencional generalmente varían entre 8 y 12 pulgadas de ancho. Una mejoría reciente en estas unidades ha sido un distanciamiento entre las placas de hasta 20 pulgadas de anchura. El distanciamiento amplio resulta en una mayor fuerza del campo recolector debido al aumento resultante en una carga espacial, una densidad de corriente más uniforme, y velocidades de migración más altas. Una mayor variación en la geometría del electrodo de descarga también es posible con el distanciamiento ancho entre las placas, reduciendo así el tamaño y el costo total del PES.

2.2.6.3 Variaciones del Electrodo

Además de los marcos rígidos, existen varias otras variaciones de electrodos que no son tan comunes. En algunos casos, los electrodos de descarga completamente rígidos son preferidos por encima de los alambres con pesas o los marcos rígidos con alambres.

Otros diseños de electrodos de descarga son alambres cuadrados, alambres de púas, tiras aserradas de metal, y tiras de metal con agujas a intervalos regulares. Las púas, el aserrado y las agujas en los electrodos de descarga ayudan a establecer un campo eléctrico uniforme. En algunos casos, se usan placas planas como electrodos tanto de descarga como de recolección. Los electrodos recolectores son modificados con frecuencia con trabas para mejorar el flujo de gas y la recolección de partículas. Algunos PES utilizan una malla metálica en vez de placas planas como electrodos recolectores.

2.2.6.4 Placa Concéntrica

En este diseño, el PES consiste en cilindros verticales que están acomodados concéntricamente y actúan como electrodos recolectores. Las paredes de los cilindros son enjuagadas continuamente por una película delgada de líquido la cual es suministrada por un sistema por encima de los electrodos. Los electrodos de descarga están hechos de malla de alambre localizada entre los cilindros. Este tipo de PES es operado únicamente como un PES en húmedo.

2.2.6.5 Energización Pulsada

Algunos PES han obtenido éxito con la energización pulsada. Los PES convencionales dependen de una base constante de voltaje aplicada al electrodo de descarga para generar la corona y el campo eléctrico. En la energización por pulso, pulsos de alto voltaje de corta duración (de unos pocos microsegundos) son aplicados a los electrodos de descarga.

Un sistema típico de energización de pulso operará con voltajes de pulso de una magnitud de 100kV en vez de los 50kV usados con la energización. Los pulsos producen una distribución más uniforme de la corriente sobre el electrodo recolector. Los pulsos pueden ser usados por sí solos o además de un voltaje de base y se ha demostrado que aumentan la eficiencia de recolección de los PES con energización pobre. La energización por pulso

ha sido utilizada con éxito en la industria eléctrica de servicio público. La compañía *Ion Physics Corp.* ha realizado pruebas de este procedimiento en *Madison Gas and Electric*, en Madison, Wisconsin. Sin embargo, la técnica está aún en evolución para permitir un enfoque más racional a la energización por pulso y, para reducir el costo.

2.3 Equipo Auxiliar

Junto con el propio PES, un sistema de control usualmente incluye el siguiente equipo auxiliar: un dispositivo de captura (campana o conexión directa a la extracción); conductos, equipo de remoción de polvo (transportadores de gusano, etc.), ventiladores, motores – arrancadores; y chimenea. Adicionalmente, pueden necesitarse enfriadores por aspersion y colectores mecánicos para pre-acondicionar al gas antes de que llegue al PES.

Usualmente, los dispositivos de captura son campanas que extraen a los contaminantes hacia los conductos o son extracciones directas acopladas a un equipo de combustión o de proceso. Estos dispositivos usualmente están recubiertos de refractario, enfriados por agua o simplemente fabricados de acero al carbón, dependiendo de las temperaturas de la corriente de gas. Los dispositivos de captura refractarios o enfriados por agua son utilizados donde las temperaturas de pared exceden los 800°F; el acero al carbón es utilizado para temperaturas menores. Los conductos, al igual que el dispositivo de control, deben ser enfriados por agua, refractarios o de acero inoxidable para procesos calientes o de acero al carbón para temperaturas del gas por debajo de 1,150°F (temperaturas de la pared del conducto <800°F). Los conductos deben dimensionarse para velocidades del gas de aproximadamente 4 000 pies/min para el caso promedio, para prevenir la deposición de las partículas en los conductos. Las partículas grandes o densas pueden requerir velocidades mayores, pero raramente se usarán velocidades más bajas. Las cámaras de aspersion pueden requerirse para procesos en los que la adición de humedad o la disminución de la temperatura o del volumen de gas, pueden mejorar la precipitación o proteger al PES contra torceduras.

Para procesos de combustión con temperaturas de los gases debajo de aproximadamente 700°F, no se requerirá de enfriamiento y los gases de extracción pueden entregarse directamente al precipitador.

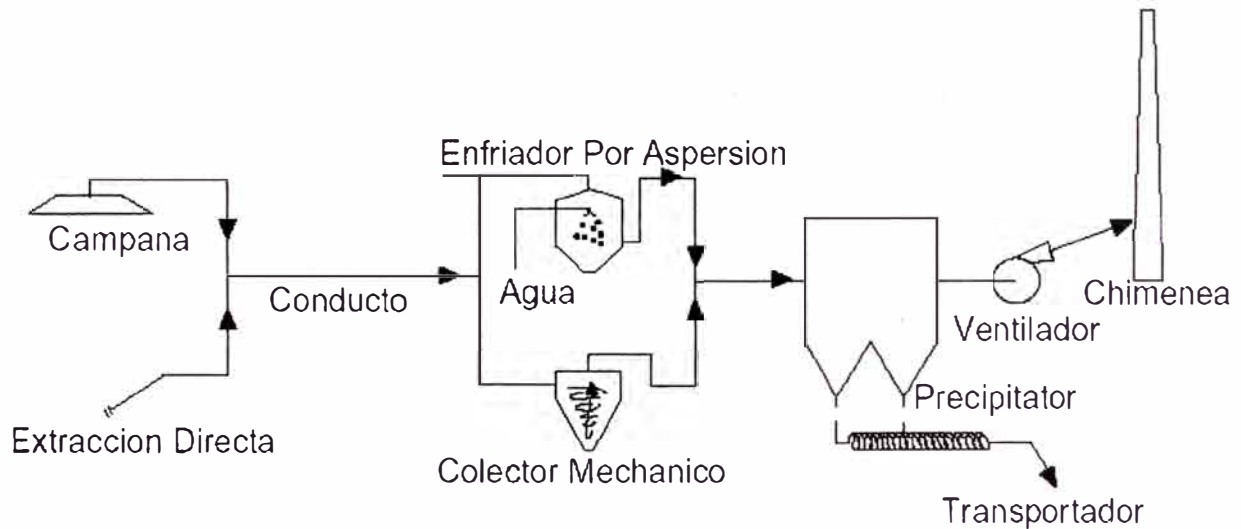


Figura 2.4: Dispositivo de Control y Equipo Auxiliar Típico

Cuando la mayor parte de la carga de contaminantes consiste de partículas relativamente grandes, pueden utilizarse colectores mecánicos, tales como los ciclones, para reducir la carga al PES, especialmente con concentraciones altas de entrada. Los ventiladores proporcionan la potencia impulsora para el movimiento del aire y pueden montarse antes o después del PES. Una chimenea, normalmente usada, ventea la corriente limpia a la atmósfera. En ocasiones se utilizan transportadores de gusano o neumáticos para retirar el polvo capturado del fondo de las tolvas.

Los PES húmedos requieren que se inyecte o rocíe una fuente de agua para lavado, cerca de la tapa de las placas colectoras, ya sea continuamente o a intervalos de tiempo. El agua fluye con las partículas recolectadas hacia un cárcamo desde el cual el fluido es bombeado. Una porción del fluido puede ser reciclado para reducir la cantidad total de agua requerida. El resto es bombeado directamente a una fosa de asentamiento o pasado a través de un proceso de remoción de agua y la subsecuente deposición del lodo.

Ocasionalmente se utiliza equipo de acondicionamiento de gas para mejorar el funcionamiento del PES al cambiar la resistividad, como parte del diseño original, pero es utilizado con mayor frecuencia para mejorar PES existentes. El equipo inyecta un agente en la corriente del gas antes del PES. Usualmente, el agente se mezcla con las partículas y altera su resistividad para promover una velocidad de migración mayor y por consiguiente, una eficiencia de recolección mayor. Sin embargo, las propiedades eléctricas del gas pueden cambiar, en vez de la resistividad del polvo. Por ejemplo, enfriar el gas permitirá que se aplique más voltaje antes de que ocurran las chispas. Los agentes acondicionantes importantes que se utilizan incluyen al SO_3 , H_2SO_4 , compuestos de sodio, amoníaco y agua, pero el principal agente acondicionante por su uso es el SO_3 . Una dosificación típica para cualquiera de los agentes es de 10 a 30 ppm por volumen.

El equipo requerido para el acondicionamiento depende del agente utilizado. Un acondicionador típico de SO_3 requiere el suministro de azufre fundido. Se almacena en un recipiente calentado y es suministrado al quemador, donde se oxida a SO_2 . El gas SO_2 pasa sobre un catalizador para otra oxidación más a SO_3 . El gas SO_3 es entonces inyectado en la corriente de los gases de combustión a través de un conjunto de sondas de múltiple salidas perforadas en el conducto. En lugar de un quemador de azufre para proporcionar SO_2 , se puede vaporizar SO_2 líquido desde un tanque de almacenamiento. Aunque los costos totales anuales son más altos, los sistemas de SO_2 líquido tienen costos de capital menores y son más fáciles de operar que los sistemas basados en azufre fundido.

La inyección de agua o de amoníaco requiere de un conjunto de boquillas de aspersion en el conducto, junto con el equipo de bombeo y de control. El acondicionamiento con sodio es a veces realizado recubriendo el carbón sobre un transportador, con un compuesto pulverizado o una solución acuosa del compuesto deseado. Para este propósito, en ocasiones se posiciona una tolva o tanque de almacenamiento sobre el transportador.

Tabla 2.1 – Aplicaciones Industriales Típicas de los PES

Aplicación	Tipo de PES
Calderas de Servicios Públicos (Carbón, Petróleo)	PES en seco, Placa-Alambre
Calderas Industriales (Carbón, Petróleo, Madera, Residuos Líquidos)	PES en seco, Placa-Alambre
Calderas Comerciales/Institucionales (Carbón, Petróleo, Madera)	PES en seco, Placa-Alambre
Manufactura Química	Específico del Sitio
Procesamiento de Metales No Ferrosos (Primario y Secundario)	
Cobre	PES en seco, PES en Húmedo, Placa-Placa, Placa-Alambre, Tubo-Alambre, Placa Marco Rígido
Plomo	PES en seco, PES en Húmedo, Placa-Placa, Placa-Alambre, Tubo-Alambre, Placa Marco Rígido
Zinc	PES en seco, PES en Húmedo, Placa-Placa, Placa-Alambre, Tubo-Alambre, Placa Marco Rígido
Aluminio	PES en seco, PES en Húmedo, Placa-Placa, Tubo-Alambre, Placa de Marco Rígido
Otros	PES en seco, PES en húmedo, Placa-Alambre, Tubo-Alambre
Procesamiento de Materiales Ferrosos	
Producción de Coque	PES en húmedo, Tubo-Alambre
Producción de Ferroaleación	PES en seco, Placa-Alambre
Producción de Hierro y Acero	PES en seco, PES en húmedo, Placa-Alambre, Tubo-Alambre
Fundiciones de Hierro Gris	PES en seco, Placa-Alambre
Fundiciones de Acero	PES en seco, PES en húmedo, Placa-Alambre, Tubo-Alambre
Refinerías de Petróleo e Industrias Relacionadas	PES en seco, Placa-Alambre
Productos Minerales	
Manufactura de Cemento	PES en seco, Placa-Alambre
Procesamiento de Piedra	Específico del Sitio
Otros	PES en seco, PES en húmedo, Placa-Alambre, Placa-Aguja
Madera, Pulpa y Papel	PES en seco, Placa-Alambre, Placa Marco Rígido
Incineración (Residuos Municipales)	PES en seco, Placa-Alambre, Placa Marco Rígido

CAPITULO III

TEORIA DE OPERACIÓN DE LOS PES

La teoría de la operación del PES requiere de muchas disciplinas científicas para describirla completamente. El PES es básicamente una máquina eléctrica. Las principales acciones son cargar eléctricamente las partículas y forzarlas hacia las placas recolectoras. La cantidad de materia en partículas cargada afecta al punto de operación eléctrico del PES. El transporte de las partículas se afecta por el nivel de turbulencia en el gas. Las pérdidas mencionadas anteriormente, el escabullimiento y el re-encauzamiento por el golpeteo, son las principales influencias en el comportamiento total del sistema. Las propiedades de partícula también causan un efecto importante en la operación de la unidad.

3.1 Recolección de Partículas

La recolección de partículas durante la precipitación electrostática es el resultado final de varios pasos. Estos pasos incluyen el establecimiento de un campo eléctrico, generación de la corona, ionización de la corriente de gas, cargado de partículas, y la migración hacia el electrodo recolector.

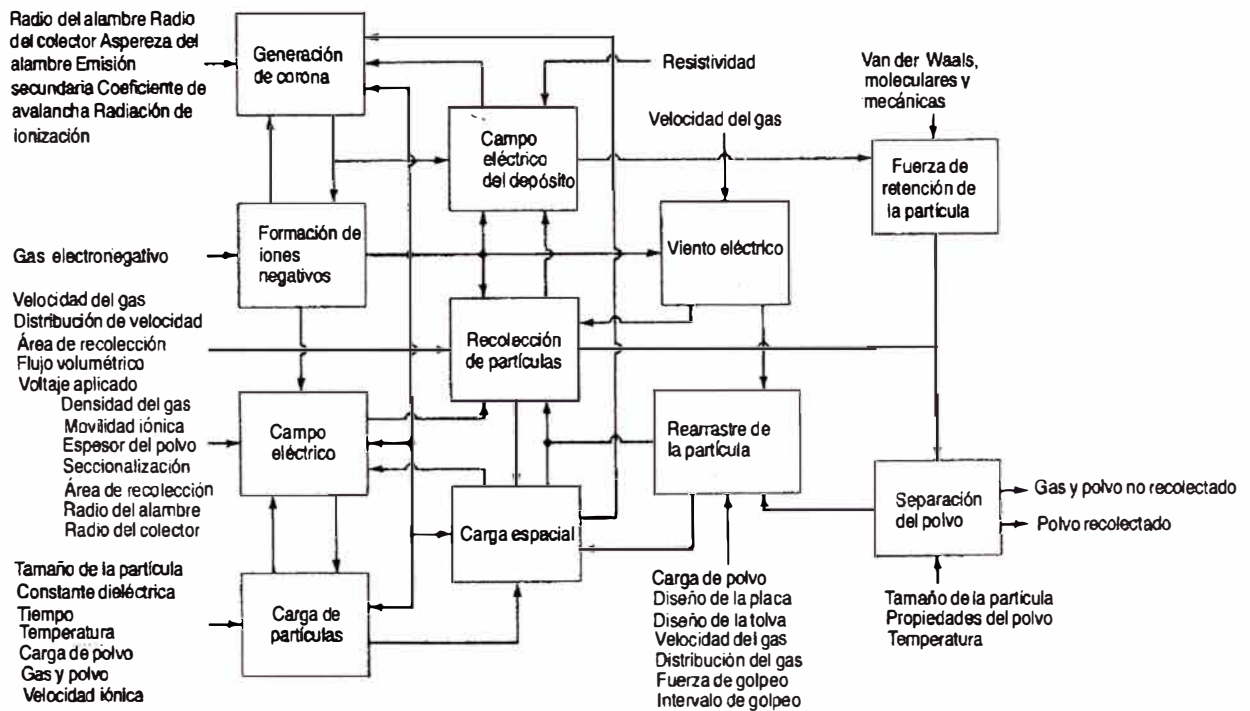


Figura 3.1: Modelo del sistema de un Precipitador Electrostático

3.1.1 Campo Eléctrico

El campo eléctrico juega un papel importante en el proceso de precipitación ya que provee la base para la generación de la corona requerida para cargar y las condiciones necesarias para establecer una fuerza para separar el particulado de las corrientes de gas. Se forma un campo eléctrico con la aplicación de alto voltaje a los electrodos de descarga del PES; la fuerza de este campo eléctrico es un factor crítico en el rendimiento de los PES.

El campo eléctrico se desarrolla en el espacio existente entre los electrodos de carga y de recolección de un PES y sirve un propósito triple. Primero, el alto campo eléctrico alrededor del electrodo de descarga causa la generación de iones cargantes en una corona eléctrica; segundo, el campo proporciona la fuerza motriz que impulsa a estos electrones a chocar con las partículas e impartirles su carga; y tercero, proporciona la fuerza que impulsa el particulado cargado hacia el electrodo recolector para su remoción de la corriente de gas efluente.

El campo eléctrico en un PES es el resultado de tres factores contribuyentes: el componente electrostático resultante de la aplicación de un voltaje en un sistema de electrodos dual, el componente que resulta de la carga espacial de los iones y electrones libres, y el componente resultante del particulado cargado. Cada uno de estos factores puede asumir un papel dominante en la determinación del campo en una serie determinada de circunstancias. Por ejemplo, el campo eléctrico en los primeros pies de la sección de entrada de un PES que recolecta particulado proveniente de una corriente de gas altamente cargada de particulados puede ser dominado por la carga espacial de las partículas; mientras el campo en la sección de salida de un PES altamente eficiente es por lo general dominado por la carga espacial iónica.

La fuerza o magnitud del campo eléctrico es una indicación de la efectividad de un PES. Dos factores son críticos para la magnitud alcanzable del campo eléctrico en un PES. En primer lugar, es muy importante la alineación mecánica de la unidad. Si ocurre un desalineamiento que ocasione una aproximación cercana de la corona y los electrodos recolectores, el voltaje de chispa para esa sección eléctrica completa será limitado. En segundo lugar se tiene la resistividad del particulado recolectado, la cual puede limitar la densidad de la corriente operante y el voltaje aplicado ocasionando un campo eléctrico reducido.

3.1.2 Generación de Corona

La corona es la región eléctricamente activa de la corriente de gas, formada por el campo eléctrico, donde los electrones son desprendidos de las moléculas neutras del gas dejando iones positivos. Los iones positivos son impulsados en una dirección y los electrones libres en otra. Las condiciones necesarias para la formación de la corona incluyen la presencia de un campo eléctrico con una magnitud suficiente para acelerar un electrón libre a una energía requerida para ionizar a una molécula neutra de gas al impacto, y a una fuente de electrones a actuar como electrones iniciadores para el proceso.

En términos de las fuentes de electrones, siempre existe una fuente de electrones libres disponible de la ionización de las moléculas de gas ya sea por rayos cósmicos, radioactividad natural, fotoionización, o la energía térmica del gas. La corona es generada por un mecanismo al que comúnmente se le refiere como avalancha de electrones. Este mecanismo ocurre cuando la magnitud del campo eléctrico aplicado es suficientemente grande para acelerar los electrones libres. Cuando los electrones libres alcanzan una velocidad suficiente, ellos chocan con las moléculas neutras de gas y las ionizan. La ionización ocurre cuando la fuerza de colisión remueve un electrón de la molécula de gas, resultando en una molécula de gas cargada positivamente y otro electrón libre. Estos electrones recién liberados también son acelerados y causan ionización adicional.

La corona puede ser ya sea positiva o negativa; pero la corona negativa es utilizada en la mayoría de los PES industriales puesto que posee características inherentemente superiores que aumentan la eficiencia de recolección bajo la mayoría de las condiciones de operación.

3.1.3 Cargado de Partículas

La carga de partículas en un PES y la posterior recolección tiene lugar en la región entre el límite del resplandor de la corona y el electrodo recolector, donde las partículas de gas están sujetas a la generación de iones negativos provenientes del proceso de corona (negativo).

Al entrar en el PES, las partículas descargadas de polvo suspendidas en la corriente de gas efluente están expuestas a una región de espacio llena de iones y, en el caso de una corona negativa, quizás algunos electrones libres. A medida que estas cargas eléctricas se aproximan a las partículas de polvo eléctricamente neutras, un dipolo inducido se establece en la materia del particulado mediante la separación de la carga dentro de las partículas.

Como un dipolo, la partícula en sí permanece neutral mientras que las cargas positivas y negativas dentro de la partícula se concentran dentro de áreas separadas. Las cargas positivas dentro de la partícula se atraen hacia el área de la partícula más cercana al ión negativo que se aproxima. A medida que un ión negativo hace contacto con la materia en partículas, las cargas positivas inducidas retendrán alguna carga eléctrica del ión. Esto resulta en una carga negativa neta sobre el particulado previamente neutral. Se requiere la presencia de una carga eléctrica para que el campo eléctrico ejerza una fuerza sobre la partícula y remueva el particulado de la corriente de gas.

La carga es generalmente realizada por ambos mecanismos; los de campo, y los de difusión. El mecanismo dominante varía con el tamaño de la partícula. En la carga por campo, los iones provenientes de la corona son impulsados hacia las partículas por un campo eléctrico. A medida que los iones continúen a repercutir sobre las partículas de polvo, la carga sobre ellas aumenta hasta que el campo local desarrollado por la carga sobre la partícula causa una distorsión de las líneas del campo eléctrico para que ya no intercepten a la partícula y no se efectúe ninguna carga nueva. Este es el mecanismo dominante para las partículas mayores de alrededor de 0.5 micras.

La carga por difusión es asociada con la fijación de iones que resultan del movimiento termal al azar; éste es el mecanismo dominante de cargar partículas menores de alrededor de 0.2 micras. Tal como en el caso de cargar por campo, el cargar por difusión está influenciado por la magnitud del campo eléctrico, ya que el movimiento de los iones se gobierna por las fuerzas tanto eléctricas como de difusión.

Ignorando a las fuerzas eléctricas, la carga por difusión resulta cuando el movimiento termal de las moléculas causa que ellas se difundan a través del gas y hagan contacto con las partículas. La razón de cargar disminuye a medida que la partícula adquiere carga y repele iones adicionales de gas, pero la acción de cargar continúa hasta cierto punto.

El rango del tamaño de las partículas de aproximadamente 0.2 a 0.5 micras es una región de transición en la cual ambos mecanismos de cargado están presentes pero ninguno domina. Los datos de pruebas de eficiencia fraccional han demostrado una eficiencia de recolección reducida en este rango de transición de tamaño, en donde los cargados por difusión y por campo se sobreponen.

3.1.4 Recolección de Partículas

El paso final en la recolección de las partículas en un PES incluye el movimiento de las partículas cargadas hacia un electrodo con carga opuesta que sostiene a las partículas en su lugar hasta que el electrodo es limpiado. Típicamente, los electrodos recolectores son placas planas paralelas o tubos que son cilíndricos, cuadrados o hexagonales. El movimiento de las partículas hacia el electrodo recolector es impulsado por un campo eléctrico. El movimiento de las partículas más grandes (mayores de 10 a 20 micras) seguirá más o menos una trayectoria determinada por la velocidad promedio del gas y la velocidad eléctrica promedio de las partículas. La trayectoria para las partículas más pequeñas (<10 micras) será menos directa, puesto que los efectos inerciales del flujo turbulento del gas predominan por encima de la velocidad eléctrica inducida por la carga eléctrica relativamente menor. El movimiento en general de las partículas más pequeñas, sin embargo, será hacia el electrodo recolector. La eficiencia de recolección cumulativa de un PES depende generalmente de la eficiencia de recolección fraccional de estas partículas más pequeñas, especialmente de las de 0.2 a 2.0 micras de tamaño.

3.2 Mecanismos de Penetración

Existen varias condiciones que pueden reducir la efectividad de los PES y conducir a la penetración del particulado. Estas condiciones incluyen la corona inversa, el re-encauzamiento del polvo, la erosión, la transición, y el escape de gas.

3.2.1 Corona Inversa

La corona o ionización inversa describen las condiciones bajo las cuales ocurre una falla eléctrica en un PES. Normalmente en un PES se forma una corona en el electrodo de descarga, creando electrones e iones negativos que son impulsados hacia el electrodo de recolección (positivo) por el campo eléctrico. Esta situación se reversa si la corona se forma en el electrodo de recolección (positivo). Una corona en este electrodo genera iones positivos que son proyectados hacia el espacio existente entre los electrodos e impulsados hacia el electrodo de descarga.

A medida que los iones positivos fluyen hacia el espacio existente entre los electrodos en un PES, se encuentran con partículas cargadas negativamente e iones negativos. El campo eléctrico proveniente de las partículas cargadas excede el de un ión a la mayoría de las distancias. Por lo tanto, la mayoría de los iones positivos fluyen hacia las partículas de polvo cargadas negativamente, neutralizando su carga. Esta neutralización de la carga causa una reducción proporcional en la fuerza eléctrica que actúa para recolectar estas partículas.

Un segundo mecanismo mediante el cual la corona inversa pudiera ser disruptiva para la recolección por medio de PES está basado en la neutralización de una porción de la carga espacial que contribuye al campo eléctrico adyacente al electrodo recolector. El componente de la carga espacial del campo eléctrico cerca de la zona de recolección puede ser tan grande como el 50 por ciento del campo total. La neutralización de la carga espacial reduce la fuerza total de recolección por una fracción igual.

3.2.2 Re-encauzamiento del Polvo

El re-encauzamiento del polvo asociado con la recolección por PES en seco puede ocurrir después de que la capa de polvo es completamente desalojada de las placas por medio de golpecitos. La primera oportunidad para el re-encauzamiento por martilleo ocurre cuando la

capa de polvo empieza a caerse y romperse al caer. Las partículas de polvo son barridas de vuelta hacia la corriente circulante de gas. La segunda oportunidad ocurre a medida que el polvo cae dentro de la tolva, impacta el polvo recolectado y se esponja para formar una nube de polvo. La corriente circulante de gas recoge porciones de esta nube de polvo. Algo del polvo pudiera ser recolectado.

La erosión directa del polvo recolectado proveniente del electrodo recolector puede ocurrir cuando las velocidades del gas superan los 10 pies por segundo (pps). La mayoría de los PES poseen velocidades de gas menores de 8 pps, mientras que las instalaciones novedosas poseen velocidades menores de 4 pps. Se propone la teoría de que la salación es una forma menor de re-encarrilamiento que ocurre a medida que las partículas son recolectadas. Como una partícula es capturada golpeando el electrodo recolector, pudiera soltar otras partículas que están re-suspendidas en la corriente de gas. Otras causas de re-encauzamiento en un PES son la producción de chispas eléctricas, la fuga de aire a través de la tolva y el re-encauzamiento eléctrico asociado con la baja resistividad de las partículas.

3.2.3 Escabullimiento del Polvo

La construcción de un PES es tal que existen regiones no electrificadas en la parte superior del PES donde se localizan la distribución eléctrica, el soporte de las placas y los sistemas de martilleo. De manera similar, ciertas porciones de la tolva recolectora y el fondo del sistema de electrodos contienen regiones no electrificadas. Las corrientes cargadas de partículas que fluyen a través de estas regiones no estarán sujetas a las fuerzas de recolección y tienden a pasar a través del PES sin ser recolectadas. La cantidad de escabullimiento de gas y desviación a través de las regiones no electrificadas establecerán un límite superior sobre la eficiencia de recolección de un PES.

CAPITULO IV

MANTENIMIENTO APLICADO A PES

Es cierto que el precipitador puede presentar muchos problemas en términos de mantener una funcionalidad óptima, pero no es imposible lograr eficiencias de recolección altas y confiabilidad a largo plazo. Para lograr estos niveles es crítico tener un programa de mantenimiento eficaz así como una comprensión básica del proceso de precipitación para que los cambios en los datos de operación se puedan interpretar correctamente.

4.1 Problemas Típicos del Precipitador

La clasificación general de los problemas del precipitador electrostático se puede dividir en dos áreas, problemas inesperados a corto plazo y problemas generales a largo plazo que bajan la eficiencia de recolección a través del tiempo. Como es de esperarse, es más fácil resolver los problemas inesperados a corto plazo que ocurren de vez en cuando. Los más comunes son: cables rotos, problemas, de distribución de gas, alineación interna/mecánica de cable a placa, corrosión, aisladores rotos, problemas de la fuente de poder, sacudidores. Se deben considerar ambos tipos de problemas para lograr una operación eficiente y sin problemas en el precipitador.

4.1.1 Cables Rotos

Probablemente el problema de mayor frecuencia es el de cables rotos. Cuando se rompe un cable, las fuerzas dinámicas dentro del precipitador pueden causar que se mueva haciendo cortos en el campo. Aunque el precipitador puede operar con un campo apagado, es obvio que no es recomendable. Los cables se rompen por varias razones, algunas de ellas no se relacionan con el cable en sí mismo.

La falla de electrodos de descarga por rotura puede generarse como consecuencia de problemas de erosión eléctrica, fatiga mecánica y corrosión. Como se mencionó anteriormente, el rompimiento del electrodo de descarga o cable es muy común, sin embargo es un problema muy fácil de corregir si se identifica el problema a tiempo.

La erosión eléctrica de los electrodos de descarga se caracteriza por el desgaste de los electrodos de descarga al punto que no pueden soportar la presión aplicada y se rompen. Esta falla en particular es la más común, y se puede resolver mejorando el control automático de voltaje y evaluando el Transformador/Rectificador y el reactor limitador de corriente.

Además de la influencia de los controles eléctricos y del sistema de energizado en este problema, la estabilidad de los electrodos de descarga también puede contribuir a la erosión eléctrica. Para verificar esta situación es necesario revisar los pesos de tensión y los marcos inferiores de estabilización.

4.1.2 Distribución del Gas

Es muy importante verificar la distribución del gas para la buena funcionalidad. Para usar adecuadamente el área efectiva de las placas en un precipitador, es necesario distribuir los gases de manera uniforme en el área transversal disponible.

La velocidad del gas a través del precipitador está diseñada generalmente en un rango de 1 a 1.3 m/seg. Esta velocidad es lo suficientemente baja que permite suficiente tiempo de tratamiento y evita las pérdidas de reintroducción durante periodos de sacudido. El problema que existe con las velocidades en este rango es que es difícil que haya una buena distribución con sólo una placa perforada o placa difusora. La razón es que no hay suficiente presión dinámica para hacer cambios grandes en la distribución en el punto de la placa perforada. El objetivo deseado para la distribución del flujo es tener el 85% de las mediciones de la presión de velocidad en el frente del precipitador dentro del $\pm 15\%$ de la media, y no más del 1% que sea $\pm 40\%$ de la media.

Como ejemplo, un precipitador con una velocidad nominal de gas de 1 m/s tendría una velocidad de operación máxima de 1.8 m/s, si el 90% del flujo se dirigiera a la mitad superior de la zona de recolección. Este tipo de problema no es tan raro y afecta considerablemente el funcionamiento del precipitador. Esto se debe a que las altas velocidades no sólo aumentan la reintroducción del polvo durante el sacudido, sino que ocasionan la supresión del espacio de carga en esa zona y bajan el área específica eficiente de recolección del precipitador.

Además de la distribución del flujo, el control del flujo para minimizar la fuga de la zona de tratamiento es también importante para lograr una alta eficiencia. Muchos precipitadores carecen de placas difusoras adecuadas. Los gases del proceso se pueden escapar de la zona de tratamiento a través de áreas entre la última placa de un campo y la estructura del precipitador. Es común que los gases se escapen de la parte superior de las tolvas, ya que el polvo recolectado y sacudido que va a caer a las tolvas es reintegrado en el flujo de gas.

4.1.3 Problemas Mecánicos Internos/Alineamiento de los Cables-Placas

Suponiendo que el flujo de gas esté distribuido adecuadamente a través de toda el área transversal del precipitador, la siguiente área en importancia a evaluar al tratar de determinar qué factores están causando pérdidas en el funcionamiento del precipitador es su condición mecánica interna. Los espacios adecuados y eficiencia del sacudido son áreas de mucha importancia. Es fundamental para el proceso electrostático maximizar la entrada de potencia eléctrica. Si los espacios eléctricos se ven comprometidos debido a la mala alineación de los electrodos o a placas de recolección pandeadas, el voltaje y fuerza de campo máximo se verán limitados.

La tolerancia máxima del espacio entre los electrodos de descarga y de recolección debe ser $\pm 1/2$ " de la ideal. Por ejemplo, si el espacio entre placas es de 10", la distancia ideal sería la mitad o sea 5". No se recomienda aceptar espacios menores a 4.5". Si el espacio es menor a 4.5", las opciones serán remover los electrodos de descarga que tienen este espacio o reconstruir el precipitador. Mientras que es práctica bastante común el quitar los electrodos de descarga, no se recomienda eliminar más del 5% de los electrodos o el quitar varios electrodos en un pasaje de gas específico.

La estabilización adecuada de los electrodos de descarga es también muy importante. Este factor parece crear más problemas con los precipitadores de cables con pesos que con los de diseño de marco rígido. Las razones para este problema son que los pesos de tensión no son del tamaño adecuado para mantener la estabilización durante las cargas dinámicas y los estabilizadores de los marcos inferiores no limitan el movimiento de éste durante las fuerzas de operación.

Otro punto importante es la condición y efectividad del alto voltaje y el sistema de sacudido del electrodo de recolección.

4.1.4 Corrosión

Este es un problema a largo y corto plazo y puede ser crítico para el funcionamiento y la seguridad del precipitador. La corrosión generalmente es causada por fugas de aire ambiental al interior del precipitador, resultando en condensación de la humedad, ácidos u otros elementos corrosivos que se encuentren en el flujo de gas. No hay áreas dentro o sobre el precipitador que prácticamente sea inmune a la corrosión.

La corrosión se puede localizar y reparar fácilmente en placas, tolvas, estructura y otras áreas similares. La corrosión local generalmente es el resultado de malos aislantes o falta de éstos. La mejor manera de prevenir la corrosión de este tipo es asegurarse que el precipitador esté aislado adecuadamente y que no haya fugas del exterior. La corrosión que aparece en los componentes estructurales, como barras de soporte, debe repararse lo antes posible.

4.1.5 Aisladores Rotos

Los aisladores generalmente se cuartean o rompen como resultado de la acumulación de polvo que ocasionan fugas eléctricas. Las fugas eléctricas son el resultado de la transferencia de una carga eléctrica siendo dicha transferida del bus de alto voltaje a tierra a través del aislador. La mejor manera de prevenir este problema es instalar un sistema de purga de aire para mantener los aisladores calientes y libres de polvo y humedad. Aunque los calentadores mantienen los aisladores calientes, no ayudan a la eliminación del polvo.

4.1.6 Problemas de la Fuente Eléctrica

El sistema eléctrico es susceptible a una variedad de problemas, la mayoría de los cuales son a corto plazo y se pueden corregir fácilmente. Estos problemas típicos incluyen:

- Valores inadecuados del control automático de voltaje. Dicho control está diseñado para aplicar la máxima potencia permisible al precipitador, limitada sólo por la capacidad eléctrica del Transformador/Rectificador, o por la capacidad del precipitador de acuerdo al voltaje de chispa. Los valores del control deben fijarse en uno de esos límites.
- Chispeo o arqueo excesivo, debido a que no existe una relación estricta entre los componentes eléctricos y los valores fijos.
- Controladores, Transformadores/Rectificadores u otros componentes eléctricos obsoletos.
- Mala transferencia de energía (energía y potencia insuficiente).
- Componentes de tamaño inadecuado.

La evaluación del sistema eléctrico es una parte esencial de cualquier procedimiento de soluciones. Es fundamental realizar una evaluación a conciencia del sistema de control de la línea principal, sobre todo en precipitadores viejos. La tendencia actual es mejorar los controles con tiristores modernos en vez de reactores de núcleo saturables. El funcionamiento del precipitador depende directamente de la cantidad de energía introducida al sistema. El mejorar los sistemas obsoletos puede mejorar la entrada de potencia al precipitador en un 25 a 35% con su correspondiente mejora en eficiencia.

Además de mejorar el control eléctrico y fuentes de poder, es recomendable tomar curvas de voltaje-corriente bajo condiciones de operación para ver la forma de la curva, el voltaje de inicio de corona y el voltaje pico de la curva. Al evaluar y comparar las curvas de voltaje de modo periódico, se puede determinar cualquier desgaste que ocurra debido al tiempo. Los cambios en la operación, programas de sacudido y valores de los controles se pueden modificar para minimizar problemas que se noten en las curvas de V-I.

4.1.7 Problemas del Sistema de Sacudido

Otra área de preocupación es el sistema de sacudido en los sistemas de las placas de recolección y de alto voltaje. Se puede aprender mucho al observar el grosor de la capa de polvo en las placas de recolección y electrodos de descarga. La acumulación excesiva de polvo en los electrodos de descarga altera la generación de voltaje-corriente característico de los electrodos de descarga. El voltaje de inicio de corona de cualquier electrodo de descarga está directamente relacionado al radio de curvatura de ese electrodo. Por eso se diseñan los electrodos con diámetros muy pequeños y por eso los electrodos rígidos tienen picos que actúan como generadores de la corona de descarga. Si estos electrodos aumentan en su radio de curvatura debido a la acumulación de polvo, la habilidad de generar corona se ve comprometida al igual que el funcionamiento del precipitador. Las razones más comunes de la ineficiencia de los sacudidores son:

- Pérdida de energía a través del mecanismo de transmisión debido a conexiones flojas y fijación de las barras de sacudido en sus guías.
- Ensamblajes de martillos de sacudido mal alineados y gastados.
- Barras de sacudido gastadas y fatiga mecánica de la interfase de la barra de choque de la placa.
- Mala aplicación del sacudido en términos de la cantidad de superficie de recolección o longitud del electrodo de descarga que debe limpiar un sacudidor

Todos estos problemas pueden remediarse fácilmente para restablecer un buen funcionamiento.

4.2 Mantenimiento Sugerido por Fabricantes

Los fabricantes recomiendan procedimientos y horarios de mantenimiento periódicos para un precipitador típico, los cuales se plasman en la siguiente Tabla.

Tabla 4.1 – Lista de Mantenimiento Preventivo para un Precipitador Típico

Frecuencia Diaria
Registro de lecturas eléctricas.
Inspección de tolvas y del sistema de desalojo del polvo.
Evaluación del sistema de ventilación del cuarto de control.
Frecuencia Semanal
Inspección de sacudidores y vibradores.
Inspección y limpieza de filtros de aire.
Inspección interior de los controles.
Frecuencia Mensual
Inspección del ventilador presurizador y termostato de la estructura superior
Inspección de calentadores de las tolvas
Inspección del nivel de alarma de las tolvas
Evaluación de corrosión externa, vibración, ruidos, fugas y aislamientos sueltos.
Frecuencia Trimestral
Inspección y limpieza de contactos en interruptores de sacudidores y vibradores.
Inspección de calibración del transmisor de mediciones.
Frecuencia Semianual
Limpieza y lubricación de goznes de las puertas de acceso.
Limpieza y lubricación de las conexiones de prueba.
Revisión exterior de deterioro, corrosión, vibración anormal, ruidos, fugas de aire.
Revisión de sellos de las puertas de acceso.
Revisión de niveles de líquido y espacio de chispa del arrestor del T/R
Frecuencia Anual
Inspección interna completa.
Limpieza del compartimiento de aisladores y toda conexión eléctrica.
Revisión y corrección del alineamiento de placas y cables.
Examen y limpieza de contactos. Inspección de conexiones eléctricas y tierra.
Limpieza e inspección de empaques de las conexiones.
Revisión y ajuste de interruptores.
Revisión y ajuste de conexiones del aislador de sacudido.
Registro de áreas corroídas.
Frecuencia Ocasional
Registro de carga de aire y de gas después de cada paro.
Revisión y limpieza interior de controles durante cada paro de más de 72 horas.
Limpieza de abrazaderas durante paros de más de 5 días.
Inspección de todo aparato a tierra durante cada paro de más de 72 horas.
Limpieza de toda acumulación de polvo en las tolvas durante cada paro.
Inspección y registro de la cantidad y localización de depósitos residuales de polvo en los electrodos durante cada paro de 72 horas o más.
Revisión de alarmas y aparatos de seguridad durante cada paro.

4.3 Plan de Mantenimiento

Un adecuado Programa de Mantenimiento se puede formular partiendo de las Condiciones de Operación en Planta y de las Sugerencias de los Fabricantes.

Como se mencionó con anterioridad, un precipitador electrostático es prácticamente una unidad eléctrica/electrónica y por ende el alineamiento mecánico es crítico para su correcto funcionamiento. Necesitamos por ello mantener registros exactos y completos para un programa de mantenimiento efectivo. Los formatos que se presentan están preparados para garantizar el correcto alineamiento de los componentes del precipitador.

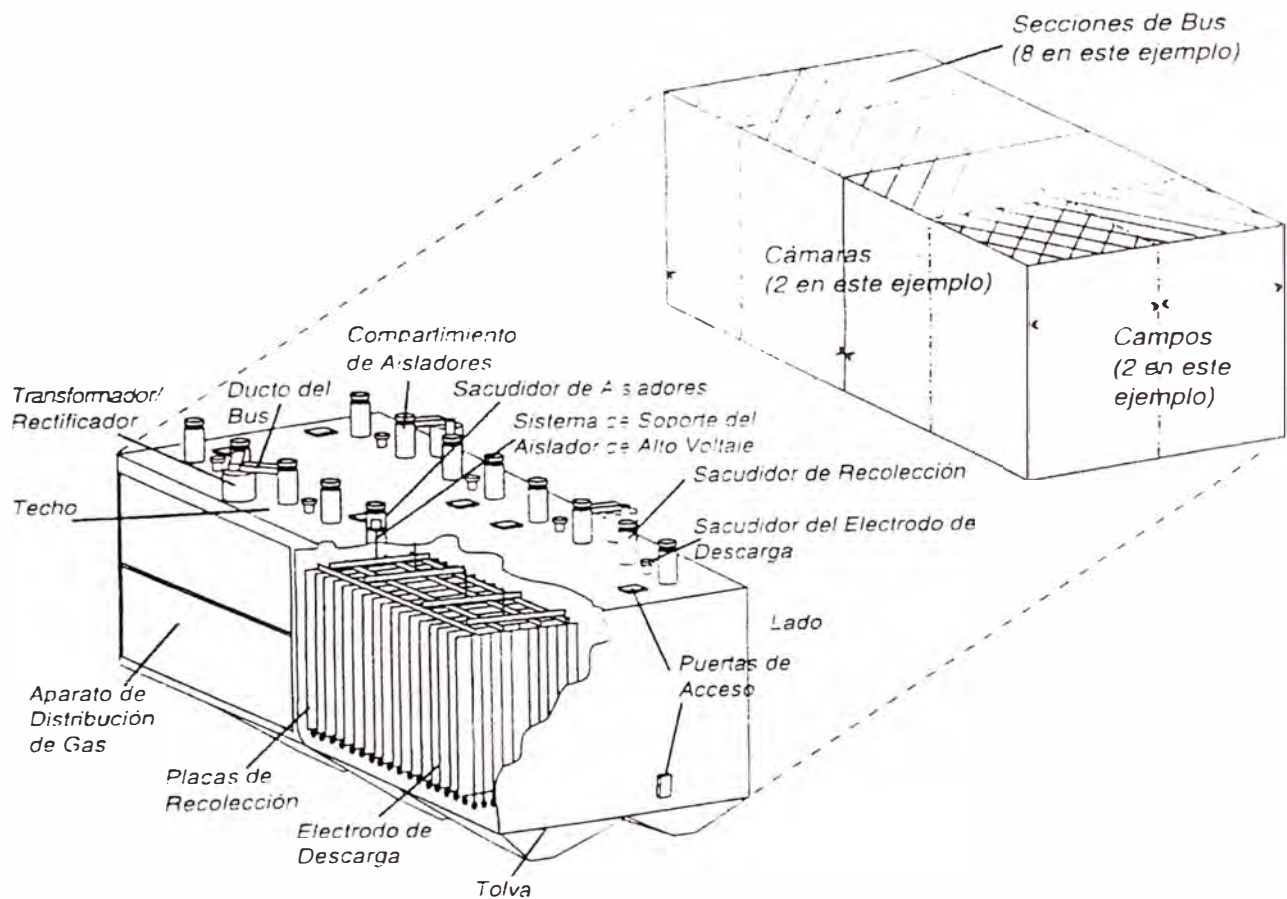
Cabe resaltar que además de inspeccionar el correcto alineamiento no deben dejarse de lado otros componentes que, aunque no son críticos en el funcionamiento de la unidad, pueden generar problemas de seguridad y quizás riesgos a los operarios. Entre ellos podemos mencionar todos los aisladores eléctricos que evitan las descargas a tierra, los calentadores eléctricos de dichos aisladores, las líneas de aire del sistema neumático, y todos los tableros de control y mando.

El precipitador que se analiza en el presente capítulo está formado de 3 unidades (en paralelo) en donde cada unidad consta de 4 campos denominados A, B, C y D (en serie).

Las cortinas colectoras de polvo o placas están fabricadas en acero laminado modelo 16 GA siendo sus dimensiones de 2,75 m. de ancho por 7,32 m de altura las cuales se encuentran empernadas a una estructura que a su vez está suspendida verticalmente.

Los electrodos de alto voltaje o alambres son de 2,5 cm. de diámetro (1") suspendidos de una estructura acanalada y angulada que impide su desalineamiento.

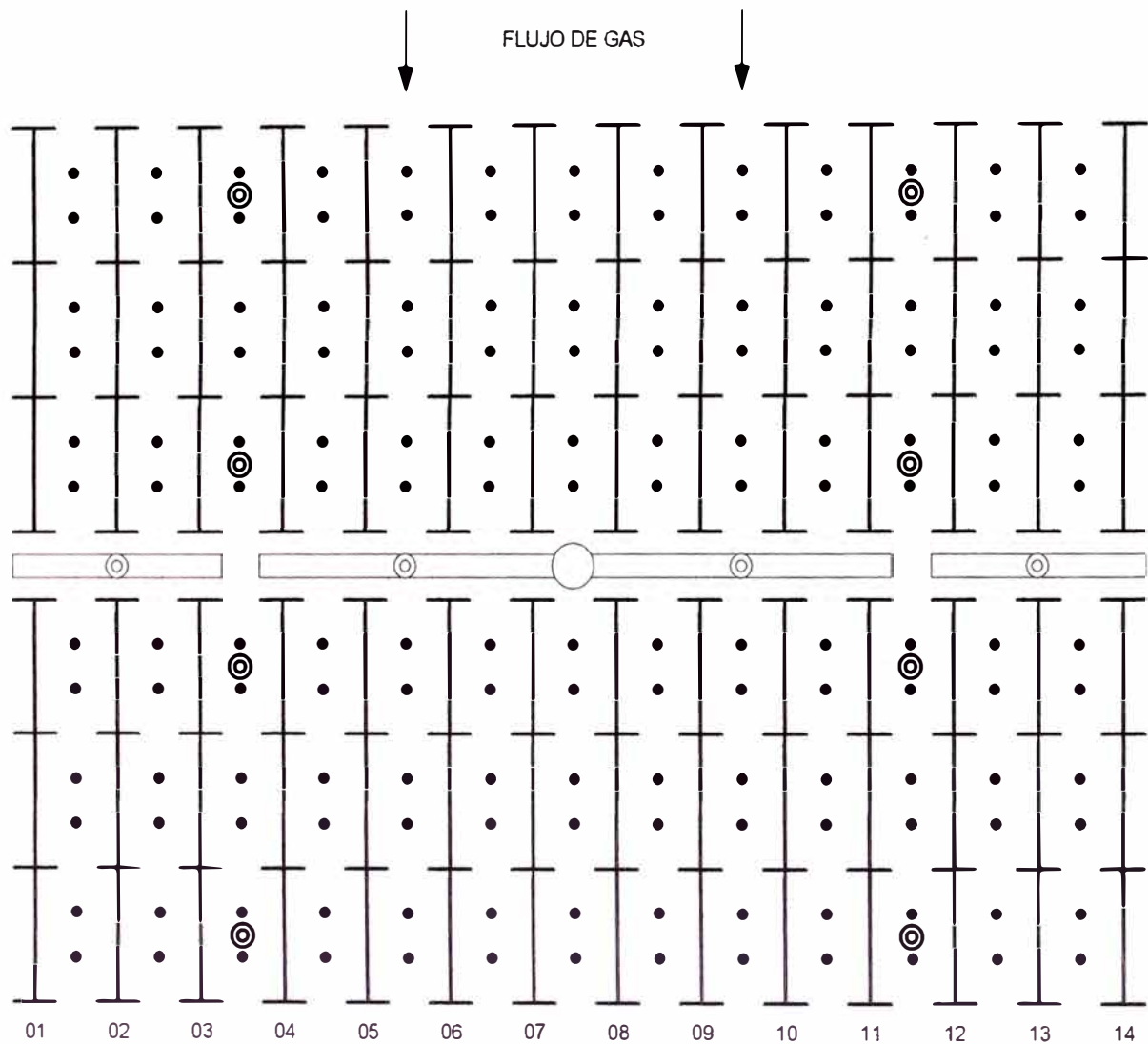
Cada alambre está acufado en la parte superior y es tensado por medio de un peso de 9,54kg en la parte inferior, manteniéndose estas pesas en su posición gracias a la armadura de alineamiento. El armazón de la parte superior está suspendido de aisladores, los cuales están montados por compartimientos de acero en el piso de operación.



El presente Programa de Mantenimiento parte desde cero suponiendo que el Precipitador Electrostático no tiene un plan de mantenimiento programado razón por la cual será necesario hacer una inspección del mismo con la consecuente generación de un historial inicial de fallas. En base a estos datos que se tomarán durante un mes del año cualquiera y con un prorrateo de los mismos a lo largo del año, se realizará una estadística. Posterior a esto se propondrá un Mantenimiento Preventivo Programado y los resultados del mismo se compararán con los del Mantenimiento Correctivo inicial.

FORMATOS DE INSPECCIÓN

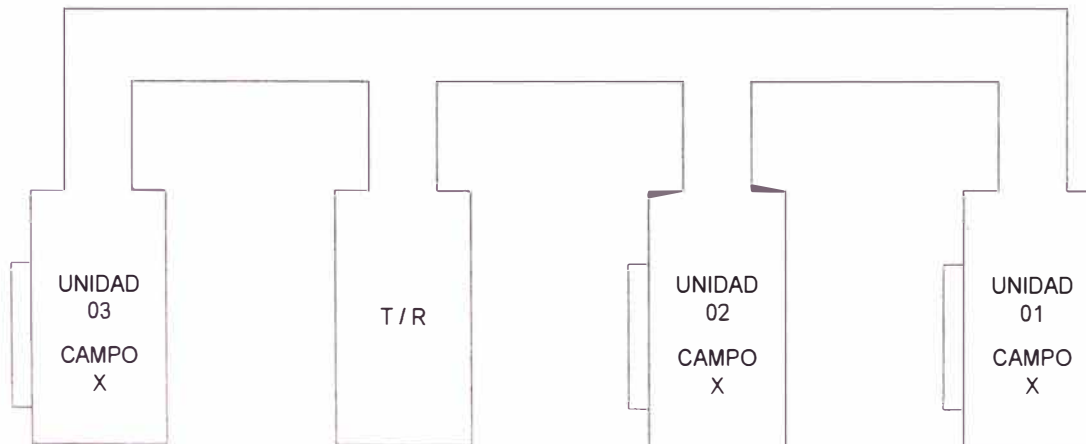
CONDICIONES GENERALES DEL PRECIPITADOR ELECTROSTATICO



LEYENDA	
○	Soporte del Castillo.
K	Electrodo Torcido.
B	Electrodo Doblado.
X	Electrodo Extraviado.
(Placa Doblada hacia la izquierda > 25 mm.
)	Placa Doblada hacia la derecha > 25 mm.
⊙	Soporte de los Electrodos.
●	Electrodos (Alambres)
H	Agujero en la Placa < 10 mm.
h	Agujero en la Placa > 10 mm.
Z	Agujero en la Placa > 25 mm.
⊙	Plancha del Vibrador.

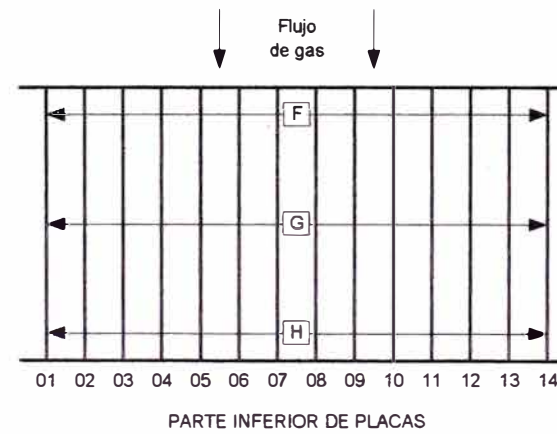
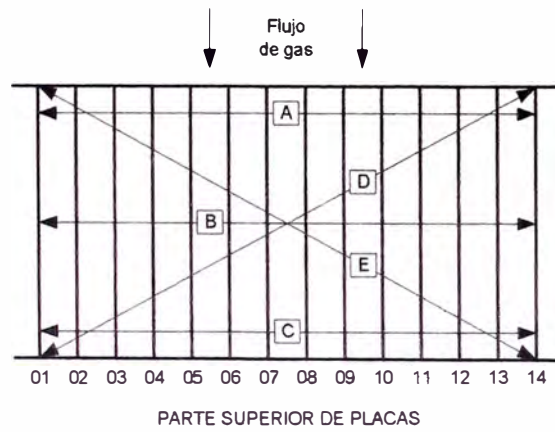
INSPECCION DE TRANSFORMADORES RECTIFICADORES

CAMPO	PRIMARIO (AC)		SECUNDARIO (DC)		KVA	MEDICIONES					CONDICIONES DE LAS BARRAS COLECTORAS
	Voltaje (Volts)	Amperaje (Amps)	Voltaje (kv)	Amperaje (mA)		Voltaje Primario (Volts)	Amperaje Primario (Amps)	Voltaje Secundario (kv)	Amperaje Secundario (mA)	Chispas por minuto	
A											
B											
C											
D											



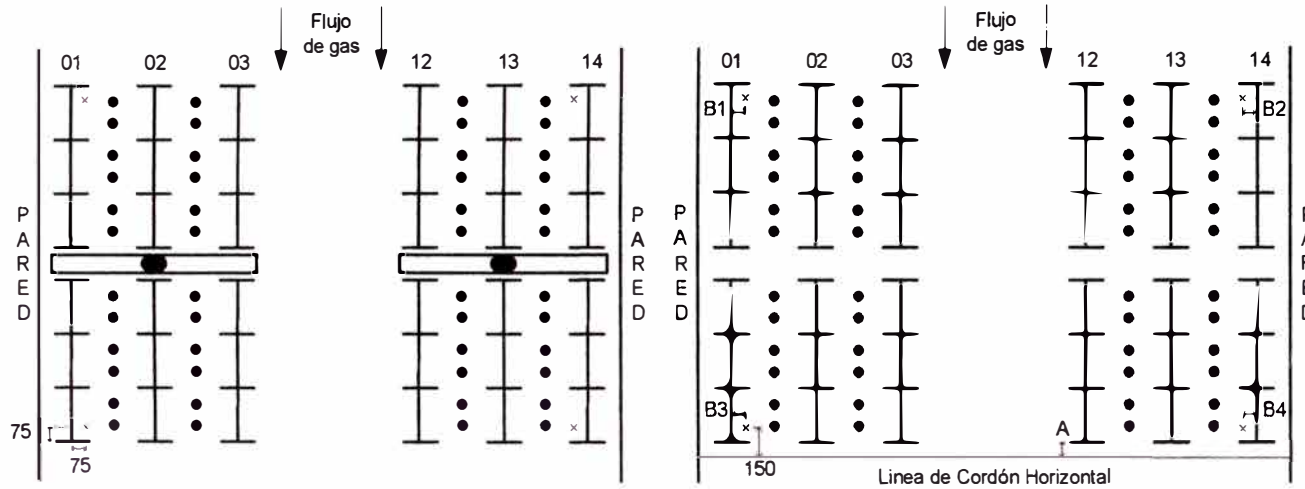
INSPECCION DE PLACAS COLECTORAS

	PLACA 01	PLACA 02	PLACA 03	PLACA 04	PLACA 05	PLACA 06	PLACA 07	PLACA 08	PLACA 09	PLACA 10	PLACA 11	PLACA 12	PLACA 13	PLACA 14
A														
B														
C														
D														
E														
F														
G														
H														



INSPECCION DE VERTICALIDAD DE PLACAS COLECTORAS

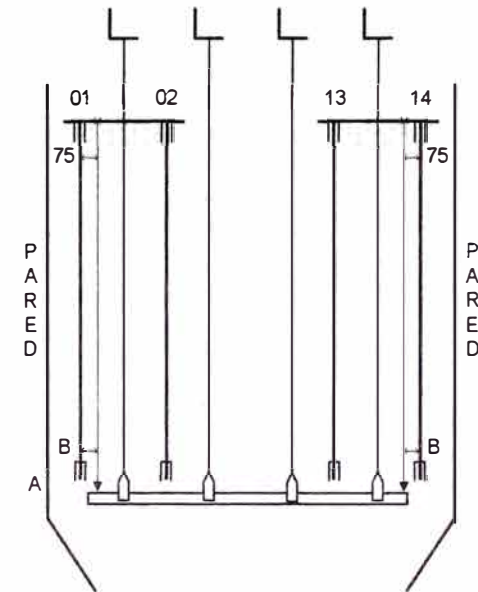
	PLACA 01	PLACA 02	PLACA 03	PLACA 04	PLACA 05	PLACA 06	PLACA 07	PLACA 08	PLACA 09	PLACA 10	PLACA 11	PLACA 12	PLACA 13	PLACA 14
A														



PARTE SUPERIOR DE PLACAS

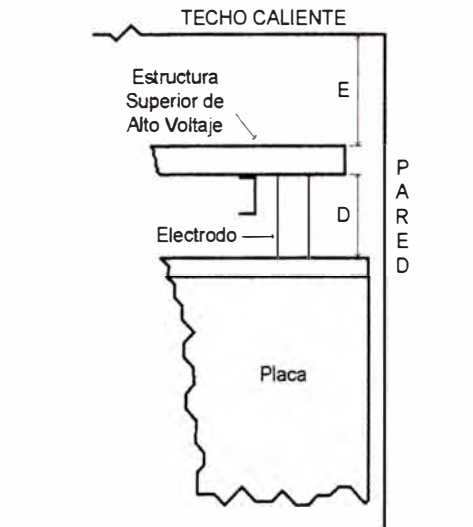
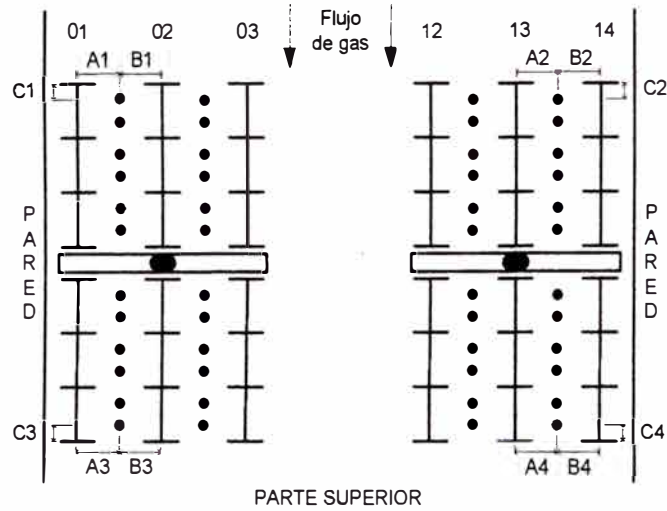
PARTE INFERIOR DE PLACAS

	Posición 01	Posición 02	Posición 03	Posición 04
B				

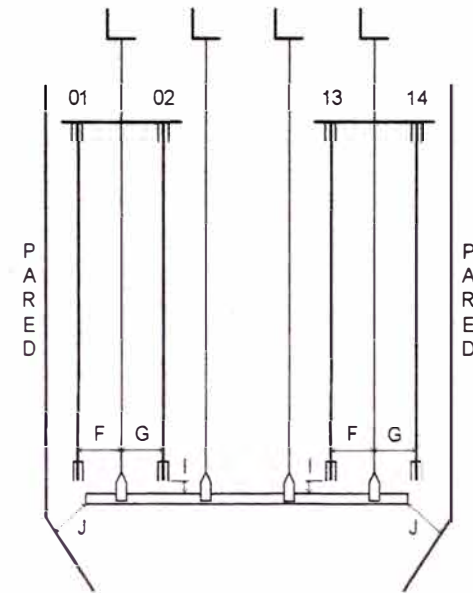
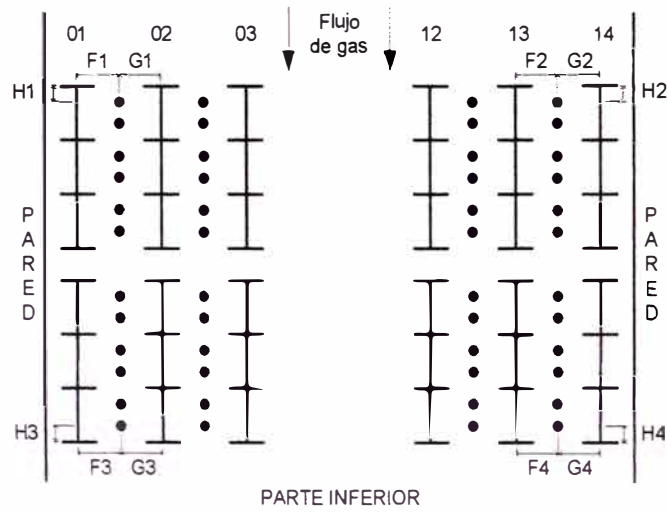


INSPECCION DE ELECTRODOS (ALAMBRES)

	Posición 01	Posición 02	Posición 03	Posición 04
A				
B				
C				
D				
E				



	Posición 01	Posición 02	Posición 03	Posición 04
F				
G				
H				
I				
J				



MANTENIMIENTO CORRECTIVO

MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Ficha N° 580-1001
 Fecha: 03/03/2003

MAQUINA / EQUIPO:	Precipitador Electrostático	CODIGO:	PE-C01
--------------------------	-----------------------------	----------------	--------

Parte Máquina / Equipo:	Electrodos de descarga	TURNO:	Primero
--------------------------------	------------------------	---------------	---------

Descripción de la solicitud: Colocar electrodos en sus correspondientes ubicaciones

REVISION		MECANICO	X	Personal	Cant	Tiempo (min)	Utilitarios	Cant	Costo
AJUSTE		ELECTRICO							
LIMPIEZA		NEUMATICO							
REPARACION		HIDRAULICO		MEC	2	120	HERRAM	3	30.00
NIVELACION		LUBRICACION		ELECT			EQUIPOS	5	50.00
INSPECCION		INSTRUMENTAL		AYUD	4	120	REPUEST	10	1500.00
CAMBIO PARTES		SERV. CONTROL		INSTR.			MATERIAL		
CORRECCION	X	MECANISMO		OTROS			SERVICIOS		
RECONEXION		HIDRONEUMATICO					OTROS		
OTROS		OTROS							
				Tiempo Total		120	Costo Total	US \$	1580.00

MATERIALES	U.M.	CANT.	PRODUCTOS	U.M.	CANT.

Observaciones:
 Se ubicaron 10 espacios vacios sobre la estructura sin sus respectivos electrodos de descarga.

Operario de Producción

Responsable de Mantenimiento

Supervisor de Producción

MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Ficha N° 580-1002
 Fecha: 07/04/2003

MAQUINA / EQUIPO:	Precipitador Electrostático	CODIGO:	PE-C01
--------------------------	-----------------------------	----------------	--------

Parte Máquina / Equipo:	Electrodos de descarga	TURNO:	Tercero
--------------------------------	------------------------	---------------	---------

Descripción de la solicitud:	Cambio de electrodos rotos
-------------------------------------	----------------------------

REVISION	<input type="checkbox"/>	MECANICO	<input checked="" type="checkbox"/>	Personal	Cant	Tiempo (min)	Utilitarios	Cant	Costo
AJUSTE	<input type="checkbox"/>	ELECTRICO	<input type="checkbox"/>						
LIMPIEZA	<input type="checkbox"/>	NEUMATICO	<input type="checkbox"/>						
REPARACION	<input type="checkbox"/>	HIDRAULICO	<input type="checkbox"/>	MEC	1	60	HERRAM	2	20.00
NIVELACION	<input type="checkbox"/>	LUBRICACION	<input type="checkbox"/>	ELECT			EQUIPOS	2	20.00
INSPECCION	<input type="checkbox"/>	INSTRUMENTAL	<input type="checkbox"/>	AYUD	2	60	REPUEST	5	750.00
CAMBIO PARTES	<input checked="" type="checkbox"/>	SERV. CONTROL	<input type="checkbox"/>	INSTR.			MATERIAL		
CORRECCION	<input type="checkbox"/>	MECANISMO	<input type="checkbox"/>	OTROS			SERVICIOS		
RECONEXION	<input type="checkbox"/>	HIDRONEUMATICO	<input type="checkbox"/>				OTROS		
OTROS	<input type="checkbox"/>	OTROS	<input type="checkbox"/>						
						Tiempo Total	60	Costo Total	US \$ 790.00

MATERIALES	U.M.	CANT.	PRODUCTOS	U.M.	CANT.

Observaciones:
 Se detectaron 5 electrodos cuyos cables se dividieron en 2 partes ocasionando una descarga.

Operario de Producción

Responsable de Mantenimiento

Supervisor de Producción

MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Ficha N° 580-1003
 Fecha: 09/04/2003

MAQUINA / EQUIPO:	Precipitador Electrostático	CODIGO:	PE-C01
--------------------------	-----------------------------	----------------	--------

Parte Máquina / Equipo:	Tolva de descarga	TURNO:	Tercero
--------------------------------	-------------------	---------------	---------

Descripción de la solicitud:	Corrosión de la superficie
-------------------------------------	----------------------------

REVISION	<input type="checkbox"/>	MECANICO	<input checked="" type="checkbox"/>	Personal	Cant	Tiempo (min)	Utilitarios	Cant	Costo
AJUSTE	<input type="checkbox"/>	ELECTRICO	<input type="checkbox"/>						
LIMPIEZA	<input checked="" type="checkbox"/>	NEUMATICO	<input type="checkbox"/>						
REPARACION	<input type="checkbox"/>	HIDRAULICO	<input type="checkbox"/>	MEC			HERRAM	2	20.00
NIVELACION	<input type="checkbox"/>	LUBRICACION	<input type="checkbox"/>	ELECT			EQUIPOS		
INSPECCION	<input type="checkbox"/>	INSTRUMENTAL	<input type="checkbox"/>	AYUD	2	40	REPUEST		
CAMBIO PARTES	<input type="checkbox"/>	SERV. CONTROL	<input type="checkbox"/>	INSTR.			MATERIAL	2	10.00
CORRECCION	<input type="checkbox"/>	MECANISMO	<input type="checkbox"/>	OTROS			SERVICIOS		
RECONEXION	<input type="checkbox"/>	HIDRONEUMATICO	<input type="checkbox"/>				OTROS		
OTROS	<input type="checkbox"/>	OTROS	<input type="checkbox"/>						
						Tiempo Total		40	
								Costo Total	US \$ 30.00

MATERIALES	U.M.	CANT.	PRODUCTOS	U.M.	CANT.

Observaciones:
 Se detectaron zonas de corrosión sobre la superficie de la tolva debido a condensación.

Operario de Producción

Responsable de Mantenimiento

Supervisor de Producción

MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Ficha N° 580-1004

Fecha: 13/04/2003

MAQUINA / EQUIPO:	Precipitador Electrostático	CODIGO:	PE-C01
--------------------------	-----------------------------	----------------	--------

Parte Máquina / Equipo:	Placas Colectoras	TURNO:	Primero
--------------------------------	-------------------	---------------	---------

Descripción de la solicitud:	Cambio de placas con agujeros
-------------------------------------	-------------------------------

REVISION	<input type="checkbox"/>	MECANICO	<input checked="" type="checkbox"/>	Personal	Cant	Tiempo (min)	Utilitarios	Cant	Costo
AJUSTE	<input type="checkbox"/>	ELECTRICO	<input type="checkbox"/>						
LIMPIEZA	<input type="checkbox"/>	NEUMATICO	<input type="checkbox"/>						
REPARACION	<input type="checkbox"/>	HIDRAULICO	<input type="checkbox"/>	MEC	3	90	HERRAM	5	50.00
NIVELACION	<input type="checkbox"/>	LUBRICACION	<input type="checkbox"/>	ELECT			EQUIPOS		
INSPECCION	<input type="checkbox"/>	INSTRUMENTAL	<input type="checkbox"/>	AYUD	5	90	REPUEST	8	9600.00
CAMBIO PARTES	<input checked="" type="checkbox"/>	SERV. CONTROL	<input type="checkbox"/>	INSTR.			MATERIAL	1	10.00
CORRECCION	<input type="checkbox"/>	MECANISMO	<input type="checkbox"/>	OTROS			SERVICIOS		
RECONEXION	<input type="checkbox"/>	HIDRONEUMATICO	<input type="checkbox"/>				OTROS		
OTROS	<input type="checkbox"/>	OTROS	<input type="checkbox"/>						
						Tiempo Total	90	Costo Total	US \$ 9660.00

MATERIALES	U.M.	CANT.	PRODUCTOS	U.M.	CANT.

Observaciones:

Detección de 8 placas colectoras con agujeros mayores a 25 mm.

Operario de Producción

Responsable de Mantenimiento

Supervisor de Producción

MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Ficha N° 580-1005

Fecha: 19/04/2003

MAQUINA / EQUIPO:	Precipitador Electrostático	CODIGO:	PE-C01
--------------------------	-----------------------------	----------------	--------

Parte Máquina / Equipo:	Aisladores	TURNO:	Segundo
--------------------------------	------------	---------------	---------

Descripción de la solicitud:	Cambio de aisladores rotos
-------------------------------------	----------------------------

REVISION	<input type="checkbox"/>	MECANICO	<input type="checkbox"/>	Personal	Cant	Tiempo (min)	Utilitarios	Cant	Costo
AJUSTE	<input type="checkbox"/>	ELECTRICO	<input checked="" type="checkbox"/>						
LIMPIEZA	<input type="checkbox"/>	NEUMATICO	<input type="checkbox"/>						
REPARACION	<input type="checkbox"/>	HIDRAULICO	<input type="checkbox"/>	MEC			HERRAM	2	20.00
NIVELACION	<input type="checkbox"/>	LUBRICACION	<input type="checkbox"/>	ELECT	1	60	EQUIPOS		
INSPECCION	<input type="checkbox"/>	INSTRUMENTAL	<input type="checkbox"/>	AYUD	2	60	REPUEST	10	600.00
CAMBIO PARTES	<input checked="" type="checkbox"/>	SERV. CONTROL	<input type="checkbox"/>	INSTR.			MATERIAL		
CORRECCION	<input type="checkbox"/>	MECANISMO	<input type="checkbox"/>	OTROS			SERVICIOS		
RECONEXION	<input type="checkbox"/>	HIDRONEUMATICO	<input type="checkbox"/>				OTROS		
OTROS	<input type="checkbox"/>	OTROS	<input type="checkbox"/>						
				Tiempo Total		60	Costo Total	US \$	620.00

MATERIALES	U.M.	CANT.	PRODUCTOS	U.M.	CANT.

Observaciones:
Ubicación de 10 aisladores rotos debido a suciedad y disminución de sus líneas de fuga

Operario de Producción

Responsable de Mantenimiento

Supervisor de Producción

MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Ficha N° 580-1006

Fecha: 20/04/2003

MAQUINA / EQUIPO:	Precipitador Electrostático	CODIGO:	PE-C01
--------------------------	-----------------------------	----------------	--------

Parte Máquina / Equipo:	Transformador / Rectificador	TURNO:	Tercero
--------------------------------	------------------------------	---------------	---------

Descripción de la solicitud:	Revisión de Terminales y Taps
-------------------------------------	-------------------------------

REVISION	<input checked="" type="checkbox"/>	MECANICO		Personal	Cant	Tiempo (min)	Utilitarios	Cant	Costo
AJUSTE		ELECTRICO	<input checked="" type="checkbox"/>						
LIMPIEZA		NEUMATICO							
REPARACION		HIDRAULICO		MEC			HERRAM	2	20.00
NIVELACION		LUBRICACION		ELECT	1	30	EQUIPOS	1	10.00
INSPECCION		INSTRUMENTAL		AYUD	1	30	REPUEST		
CAMBIO PARTES		SERV. CONTROL		INSTR.			MATERIAL	1	15.00
CORRECCION		MECANISMO		OTROS			SERVICIOS		
RECONEXION		HIDRONEUMATICO					OTROS		
OTROS		OTROS							
				Tiempo Total		30	Costo Total	US \$	45.00

MATERIALES	U.M.	CANT.	PRODUCTOS	U.M.	CANT.

Observaciones:
 Revisión del transformador rectificador por baja entrega de tensión de salida.

Operario de Producción

Responsable de Mantenimiento

Supervisor de Producción

MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Ficha N° 580-1007
 Fecha: 22/04/2003

MAQUINA / EQUIPO:	Precipitador Electrostático	CODIGO:	PE-C01
--------------------------	-----------------------------	----------------	--------

Parte Máquina / Equipo:	Placas Colectoras	TURNO:	Segundo
--------------------------------	-------------------	---------------	---------

Descripción de la solicitud:	Alineamiento de Placas
-------------------------------------	------------------------

REVISION	<input type="checkbox"/>	MECANICO	<input checked="" type="checkbox"/>	Personal	Cant	Tiempo (min)	Utilitarios	Cant	Costo
AJUSTE	<input type="checkbox"/>	ELECTRICO	<input type="checkbox"/>						
LIMPIEZA	<input type="checkbox"/>	NEUMATICO	<input type="checkbox"/>						
REPARACION	<input type="checkbox"/>	HIDRAULICO	<input type="checkbox"/>	MEC	2	60	HERRAM	4	60.00
NIVELACION	<input checked="" type="checkbox"/>	LUBRICACION	<input type="checkbox"/>	ELECT			EQUIPOS	2	20.00
INSPECCION	<input type="checkbox"/>	INSTRUMENTAL	<input type="checkbox"/>	AYUD	5	60	REPUEST		
CAMBIO PARTES	<input type="checkbox"/>	SERV. CONTROL	<input type="checkbox"/>	INSTR.			MATERIAL	2	30.00
CORRECCION	<input type="checkbox"/>	MECANISMO	<input type="checkbox"/>	OTROS			SERVICIOS		
RECONEXION	<input type="checkbox"/>	HIDRONEUMATICO	<input type="checkbox"/>				OTROS		
OTROS	<input type="checkbox"/>	OTROS	<input type="checkbox"/>						
						Tiempo Total	60	Costo Total	US \$ 110.00

MATERIALES	U.M.	CANT.	PRODUCTOS	U.M.	CANT.

Observaciones:
 Se ubicaron desalineamientos entre placas colectoras, afectandose la tensión de salida.

Operario de Producción

Responsable de Mantenimiento

Supervisor de Producción

MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Ficha N° 580-1008
 Fecha: 25/04/2003

MAQUINA / EQUIPO:	Precipitador Electrostático	CODIGO:	PE-C01
--------------------------	-----------------------------	----------------	--------

Parte Máquina / Equipo:	Tablero de Control	TURNO:	Segundo
--------------------------------	--------------------	---------------	---------

Descripción de la solicitud:	Revisión de instrumentos de medida y contactores
-------------------------------------	--

			Personal	Cant	Tiempo (min)	Utilitarios	Cant	Costo
REVISION	<input type="checkbox"/>	MECANICO						
AJUSTE	<input type="checkbox"/>	ELECTRICO						
LIMPIEZA	<input type="checkbox"/>	NEUMATICO						
REPARACION	<input type="checkbox"/>	HIDRAULICO	MEC			HERRAM	3	45.00
NIVELACION	<input type="checkbox"/>	LUBRICACION	ELECT	1	30	EQUIPOS	2	40.00
INSPECCION	X	INSTRUMENTAL	AYUD	1	30	REPUEST		
CAMBIO PARTES	<input type="checkbox"/>	SERV. CONTROL	INSTR.			MATERIAL	1	10.00
CORRECCION	<input type="checkbox"/>	MECANISMO	OTROS			SERVICIOS		
RECONEXION	<input type="checkbox"/>	HIDRONEUMATICO				OTROS		
OTROS	<input type="checkbox"/>	OTROS						
					Tiempo Total	30	Costo Total	US \$ 95.00

MATERIALES	U.M.	CANT.	PRODUCTOS	U.M.	CANT.

Observaciones:
 Se inspeccionaron los instrumentos de medición así como los contactores en busca de falsos contactos.

Operario de Producción

Responsable de Mantenimiento

Supervisor de Producción

MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Ficha N° 580-1009
 Fecha: 28/04/2003

MAQUINA / EQUIPO:	Precipitador Electrostático	CODIGO:	PE-C01
--------------------------	-----------------------------	----------------	--------

Parte Máquina / Equipo:	Sistema de Aire Comprimido	TURNO:	Segundo
--------------------------------	----------------------------	---------------	---------

Descripción de la solicitud:	Inspección de lectura de los manómetros
-------------------------------------	---

REVISION		MECANICO		Personal	Cant	Tiempo (min)	Utilitarios	Cant	Costo
AJUSTE		ELECTRICO							
LIMPIEZA		NEUMATICO	X						
REPARACION		HIDRAULICO		MEC	1	40	HERRAM	2	30.00
NIVELACION		LUBRICACION		ELECT			EQUIPOS	3	60.00
INSPECCION	X	INSTRUMENTAL		AYUD	2	40	REPUEST		
CAMBIO PARTES		SERV. CONTROL		INSTR.			MATERIAL		
CORRECCION		MECANISMO		OTROS			SERVICIOS		
RECONEXION		HIDRONEUMATICO					OTROS		
OTROS		OTROS							
				Tiempo Total	40		Costo Total	US \$ 90.00	

MATERIALES	U.M.	CANT.	PRODUCTOS	U.M.	CANT.

Observaciones:
 Se corroboraron las lecturas de los manómetros y el correcto valor de las presiones (alta y baja)

Operario de Producción

Responsable de Mantenimiento

Supervisor de Producción

MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Ficha N° 580-1010
 Fecha: 29/04/2003

MAQUINA / EQUIPO:	Precipitador Electrostático	CODIGO:	PE-C01
--------------------------	-----------------------------	----------------	--------

Parte Máquina / Equipo:	Martillos de sacudido	TURNO:	Segundo
--------------------------------	-----------------------	---------------	---------

Descripción de la solicitud:	Nivelación de los martillos
-------------------------------------	-----------------------------

REVISION	<input type="checkbox"/>	MECANICO	<input checked="" type="checkbox"/>	Personal	Cant	Tiempo (min)	Utilitarios	Cant	Costo
AJUSTE	<input type="checkbox"/>	ELECTRICO	<input type="checkbox"/>						
LIMPIEZA	<input type="checkbox"/>	NEUMATICO	<input type="checkbox"/>						
REPARACION	<input type="checkbox"/>	HIDRAULICO	<input type="checkbox"/>	MEC	1	90	HERRAM	2	30.00
NIVELACION	<input checked="" type="checkbox"/>	LUBRICACION	<input type="checkbox"/>	ELECT			EQUIPOS	2	40.00
INSPECCION	<input type="checkbox"/>	INSTRUMENTAL	<input type="checkbox"/>	AYUD	2	90	REPUEST		
CAMBIO PARTES	<input type="checkbox"/>	SERV. CONTROL	<input type="checkbox"/>	INSTR.			MATERIAL	3	45.00
CORRECCION	<input type="checkbox"/>	MECANISMO	<input type="checkbox"/>	OTROS			SERVICIOS		
RECONEXION	<input type="checkbox"/>	HIDRONEUMATICO	<input type="checkbox"/>				OTROS		
OTROS	<input type="checkbox"/>	OTROS	<input type="checkbox"/>						
						Tiempo Total	90	Costo Total	US \$ 115.00

MATERIALES	U.M.	CANT.	PRODUCTOS	U.M.	CANT.

Observaciones:
 Se encontraron desalineamiento en la estructura de las placas debido a los golpes disperejos.

Operario de Producción

Responsable de Mantenimiento

Supervisor de Producción

MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Registro N° 580-1001

Fecha: 03/03/2003

MAQUINA / EQUIPO: Precipitador Electrostático	CODIGO: PE-C01
--	-----------------------

Parte Máquina / Equipo: Electrodo de descarga	TURNO: Primero
--	-----------------------

Descripción de la solicitud: Colocar electrodos en sus correspondientes ubicaciones

INFORMES DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO Y PRODUCCION

Clase de intervención: Corrección
Tipo de trabajos: Mecánico
Detalles: Ubicar 10 electrodos en los espacios vacios encontrados

Especialidad Personal	Cantidad	Tiempo (hs)	Observaciones
Mecánico	6	2.00	

Repuestos / Materiales / Equipos	Cantidad	Costo Unit.	Total	
Herramientas	1	1580.00	1580.00	

Materiales no Producidos	Cantidad (Tn)	C.U. (\$/Tn)	Total (\$)	
	0.00	0.00	0.00	

Observaciones:

Se ubicaron 10 espacios vacios sobre la estructura sin sus respectivos electrodos de descarga.

Operario de Producción

Responsable de Mantenimiento

Supervisor de Producción

MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Registro N° 580-1002

Fecha: 07/04/2003

MAQUINA / EQUIPO:	Precipitador Electrostático	CODIGO:	PE-C01
--------------------------	-----------------------------	----------------	--------

Parte Máquina / Equipo:	Electrodos de descarga	TURNO:	Tercero
--------------------------------	------------------------	---------------	---------

Descripción de la solicitud:	Cambio de electrodos rotos
-------------------------------------	----------------------------

INFORMES DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO Y PRODUCCION

Clase de intervención:	Cambio de Partes
Tipo de trabajos:	Mecánico
Detalles:	Ubicar 5 nuevos electrodos cambiando los seccionados

Especialidad Personal	Cantidad	Tiempo (hs)	Observaciones
Mecánico	3	1.00	

Repuestos / Materiales / Equipos	Cantidad	Costo Unit.	Total	
Herramientas - Repuestos	1	790.00	790.00	

Materiales no Producidos	Cantidad (Tn)	C.U. (\$/Tn)	Total (\$)	
	0.00	0.00	0.00	

Observaciones:
Se detectaron 5 electrodos cuyos cables se dividieron en 2 partes ocasionando una descarga.

Operario de Producción

Responsable de Mantenimiento

Supervisor de Producción

MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Registro N° 580-1003

Fecha: 09/04/2003

MAQUINA / EQUIPO: Precipitador Electrostático	CODIGO: PE-C01
--	-----------------------

Parte Máquina / Equipo: Tolva de descarga	TURNO: Tercero
--	-----------------------

Descripción de la solicitud: Corrosión de la superficie
--

INFORMES DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO Y PRODUCCION

Clase de intervención: Limpieza
Tipo de trabajos: Mecánico
Detalles: Retirar la capa de corrosión de la superficie de la tolva

Especialidad Personal	Cantidad	Tiempo (hs)	Observaciones
Mecánico	2	0.67	

Repuestos / Materiales / Equipos	Cantidad	Costo Unit.	Total	
Herramientas	1	30.00	30.00	

Materiales no Producidos	Cantidad (Tn)	C.U. (\$/Tn)	Total (\$)	
	0.00	0.00	0.00	

Observaciones:

Se detectaron zonas de corrosión sobre la superficie de la tolva debido a condensación.

Operario de Producción

Responsable de Mantenimiento

Supervisor de Producción

MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Registro N° 580-1004

Fecha: 13/04/2003

MAQUINA / EQUIPO:	Precipitador Electrostático	CODIGO:	PE-C01
--------------------------	-----------------------------	----------------	--------

Parte Máquina / Equipo:	Placas Colectoras	TURNO:	Primero
--------------------------------	-------------------	---------------	---------

Descripción de la solicitud:	Cambio de placas con agujeros
-------------------------------------	-------------------------------

INFORMES DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO Y PRODUCCION

Clase de intervención:	Cambio de Partes
Tipo de trabajos:	Mecánico
Detalles:	Colocar 8 nuevas placas colectoras en reemplazo de las agujereadas

Especialidad Personal	Cantidad	Tiempo (hs)	Observaciones
Mecánico	8	1.50	

Repuestos / Materiales / Equipos	Cantidad	Costo Unit.	Total	
Herramienta	1	9660.00	9660.00	

Materiales no Producidos	Cantidad (Tn)	C.U. (\$/Tn)	Total (\$)	
	0.00	0.00	0.00	

Observaciones:
Detección de 8 placas colectoras con agujeros mayores a 25 mm.

Operario de Producción

Responsable de Mantenimiento

Supervisor de Producción

MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Registro N° 580-1005

Fecha: 19/04/2003

MAQUINA / EQUIPO: Precipitador Electrostático	CODIGO: PE-C01
--	-----------------------

Parte Máquina / Equipo: Aisladores	TURNO: Segundo
---	-----------------------

Descripción de la solicitud: Cambio de aisladores rotos
--

INFORMES DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO Y PRODUCCION

Clase de intervención: Cambio de partes
Tipo de trabajos: Eléctrico
Detalles: Reposición de 10 aisladores rotos por posible descarga

Especialidad Personal	Cantidad	Tiempo (hs)	Observaciones
Electricistas	3	1	

Repuestos / Materiales / Equipos	Cantidad	Costo Unit.	Total	
Herramientas	1	620.00	620.00	

Materiales no Producidos	Cantidad (Tn)	C.U. (\$/Tn)	Total (\$)	
	0.00	0.00	0.00	

Observaciones: Ubicación de 10 aisladores rotos debido a suciedad y disminución de sus líneas de fuga

Operario de Producción

Responsable de Mantenimiento

Supervisor de Producción

MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Registro N° 580-1006
Fecha: 20/04/2003

MAQUINA / EQUIPO: Precipitador Electrostático **CODIGO:** PE-C01

Parte Máquina / Equipo: Transformador / Rectificador **TURNO:** Tercero

Descripción de la solicitud: Revisión de Terminales y Taps

INFORMES DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO Y PRODUCCION

Clase de intervención: Revisión
Tipo de trabajos: Eléctrico
Detalles: Posible desperfecto por caída de tensión

Especialidad Personal	Cantidad	Tiempo (hs)	Observaciones
Electricista	2	0.50	

Repuestos / Materiales / Equipos	Cantidad	Costo Unit.	Total	
Herramientas	1	45.00	45.00	

Materiales no Producidos	Cantidad (Tn)	C.U. (\$/Tn)	Total (\$)	
	0.00	0.00	0.00	

Observaciones:
Revisión del transformador rectificador por baja entrega de tensión de salida.

Operario de Producción

Responsable de Mantenimiento

Supervisor de Producción

MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Registro N° 580-1007

Fecha: 22/04/2003

MAQUINA / EQUIPO: Precipitador Electrostático	CODIGO: PE-C01
--	-----------------------

Parte Máquina / Equipo: Placas Colectoras	TURNO: Segundo
--	-----------------------

Descripción de la solicitud: Alineamiento de Placas
--

INFORMES DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO Y PRODUCCION

Clase de intervención: Revisión
Tipo de trabajos: Mecánico
Detalles: Generación deficiente de corona por posible desalineamiento entre placas colectoras

Especialidad Personal	Cantidad	Tiempo (hs)	Observaciones
Mecánico	7	1	

Repuestos / Materiales / Equipos	Cantidad	Costo Unit.	Total	
Herramientas	1	110.00	110.00	

Materiales no Producidos	Cantidad (Tn)	C.U. (\$/Tn)	Total (\$)	
	0.00	0.00	0.00	

Observaciones: Se ubicaron desalineamientos entre placas colectoras, afectandose la tensión de salida.
--

Operario de Producción

Responsable de Mantenimiento

Supervisor de Producción

MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Registro N° 580-1008

Fecha: 25/04/2003

MAQUINA / EQUIPO: Precipitador Electrostático	CODIGO: PE-C01
--	-----------------------

Parte Máquina / Equipo: Tablero de Control	TURNO: Segundo
---	-----------------------

Descripción de la solicitud: Revisión de instrumentos de medida y contactores

INFORMES DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO Y PRODUCCION

Clase de intervención: Inspección
Tipo de trabajos: Instrumental
Detalles: Comprobación de las medidas de todos los instrumentos y contactos adecuados

Espeilidad Personal	Cantidad	Tiempo (hs)	Observaciones
Electricistas	2	0.50	

Repuestos / Materiales / Equipos	Cantidad	Costo Unit.	Total	
Herramientas	1	95.00	95.00	

Materiales no Producidos	Cantidad (Tn)	C.U. (\$/Tn)	Total (\$)	
	0.00	0.00	0.00	

Observaciones:
Se inspeccionaron los instrumentos de medición así como los contactores en busca de falsos contactos.

Operario de Producción

Responsable de Mantenimiento

Supervisor de Producción

MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Registro N° 580-1009
Fecha: 28/04/2003

MAQUINA / EQUIPO:	Precipitador Electrostático	CODIGO:	PE-C01
--------------------------	-----------------------------	----------------	--------

Parte Máquina / Equipo:	Sistema de Aire Comprimido	TURNO:	Segundo
--------------------------------	----------------------------	---------------	---------

Descripción de la solicitud:	Inspección de lectura de los manómetros
-------------------------------------	---

INFORMES DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO Y PRODUCCION

Clase de intervención:	Inspección
Tipo de trabajos:	Neumático
Detalles:	Verificación de lecturas de los manómetros y presión adecuada del sistema (alta y baja)

Espeilidad Personal	Cantidad	Tiempo (hs)	Observaciones
Mecánico	3	0.67	

Repuestos / Materiales / Equipos	Cantidad	Costo Unit.	Total	
Herramientas	1	90.00	90.00	

Materiales no Producidos	Cantidad (Tn)	C.U. (\$/Tn)	Total (\$)	
	0.00	0.00	0.00	

Observaciones:
Se corroboraron las lecturas de los manómetros y el correcto valor de las presiones (alta y baja)

Operario de Producción

Responsable de Mantenimiento

Supervisor de Producción

MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Registro N° 580-1010
Fecha: 29/04/2003

MAQUINA / EQUIPO: Precipitador Electrostático	CODIGO: PE-C01
Parte Máquina / Equipo: Martillos de sacudido	TURNO: Segundo
Descripción de la solicitud: Nivelación de los martillos	

INFORMES DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO Y PRODUCCION

Clase de intervención: Nivelación
Tipo de trabajos: Mecánico
Detalles: Nivelación de martillos por golpeteo desbalanceado

Especialidad Personal	Cantidad	Tiempo (hs)	Observaciones
Mecánico	3	1.50	

Repuestos / Materiales / Equipos	Cantidad	Costo Unit.	Total	
Herramientas	1	115.00	115.00	

Materiales no Producidos	Cantidad (Tn)	C.U. (\$/Tn)	Total (\$)	
	0.00	0.00	0.00	

Observaciones: Se encontraron desalineamiento en la estructura de las placas debido a los golpes disperejos.
--

Operario de Producción

Responsable de Mantenimiento

Supervisor de Producción

TABLA RESUMEN DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO

MES : MARZO

AÑO : 2003

DIA	CODIGO	EQUIPO	COMPONENTE	M. OBRA (US \$)	MAT. + REP. (US \$)	PRODUC. (US \$)	TOTAL (US \$)
3	PE-C01	Precipitador Electrostático	Electrodos de descarga	35.00	1580.00	0.00	1615.00
7	PE-C01	Precipitador Electrostático	Electrodos de descarga	8.75	790.00	0.00	798.75
9	PE-C01	Precipitador Electrostático	Tolva de descarga	3.33	30.00	0.00	33.33
13	PE-C01	Precipitador Electrostático	Placas Colectoras	35.63	9660.00	0.00	9695.63
19	PE-C01	Precipitador Electrostático	Aisladores	8.75	620.00	0.00	628.75
20	PE-C01	Precipitador Electrostático	Transformador / Rectificador	3.13	45.00	0.00	48.13
22	PE-C01	Precipitador Electrostático	Placas Colectoras	20.00	110.00	0.00	130.00
25	PE-C01	Precipitador Electrostático	Tablero de Control	3.13	95.00	0.00	98.13
28	PE-C01	Precipitador Electrostático	Sistema de Aire Comprimido	5.83	90.00	0.00	95.83
29	PE-C01	Precipitador Electrostático	Martillos de sacudido	13.13	115.00	0.00	128.13

COSTO DE LAS HORAS PERDIDAS EN PRODUCCION

US \$ 0.00

COSTO TOTAL DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO

US \$ 13271.67

MANTENIMIENTO PREVENTIVO

TAREAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

MAQUINA / EQUIPO PRECIPITADOR ELECTROSTATICO					CODIGO: PE - C01	
Parte	Descripción	Frecuencia	Duración Horas	Operación	Parada	Renovación
INTERIOR DE LA UNIDAD	Revisión de los electrodos de descarga	mensual	2.00		X	
	Revisión del alineamiento de los electrodos de descarga	trimestral	3.00			X
	Revisión de placas colectoras	mensual	2.00		X	
	Revisión del alineamiento de las placas colectoras	2 meses	3.00			X
	Inspección de los martillos vibradores	mensual	1.00		X	
	Revisión de los calentadores	semanal	0.50	X		
TRANSFORMADOR RECTIFICADOR	Nivel de Aceite	semanal	0.17	X		
	Inspección de contactos	2 días	0.33	X		
	Medición de Aislamiento.	2 meses	1.00		X	
	Mantenimiento al bobinado.	anual	2.00			X
	Inspección de aisladores	semanal	0.50	X		
MOTORES	Inspección del Nivel de Vibración, Nivel de Ruido.	2 días	0.50	X		
	Inspección del Nivel de Corriente, Nivel de Temperatura	2 días	0.50	X		
	Cambio de grasa de los rodamientos.	2 meses	0.33		X	
	Medición de Aislamiento.	2 meses	0.50		X	
	Mantenimiento al estator.	anual	2.50			X
	Mantenimiento al rotor.	anual	1.50			X
	Verificación de paralelismo de eje.	anual	0.25			X
	Cambio de rodamientos.	anual	0.50			X
	Revisión de los asientos de rodajes.	anual	0.25			X
Balanceo del rotor.	anual	1.50			X	
TABLERO DE CONTROL	Registro de lecturas eléctricas	diario	0.08	X		
	Inspección de la ventilación	diario	0.08	X		
	Revisión y ajuste de interruptores	trimestral	0.33		X	
	Examen y limpieza de contactos	2 meses	0.50		X	
	Inspección y revisión de aisladores y barras	mensual	1.00		X	
	Limpieza e inspección general	anual	2.00			X

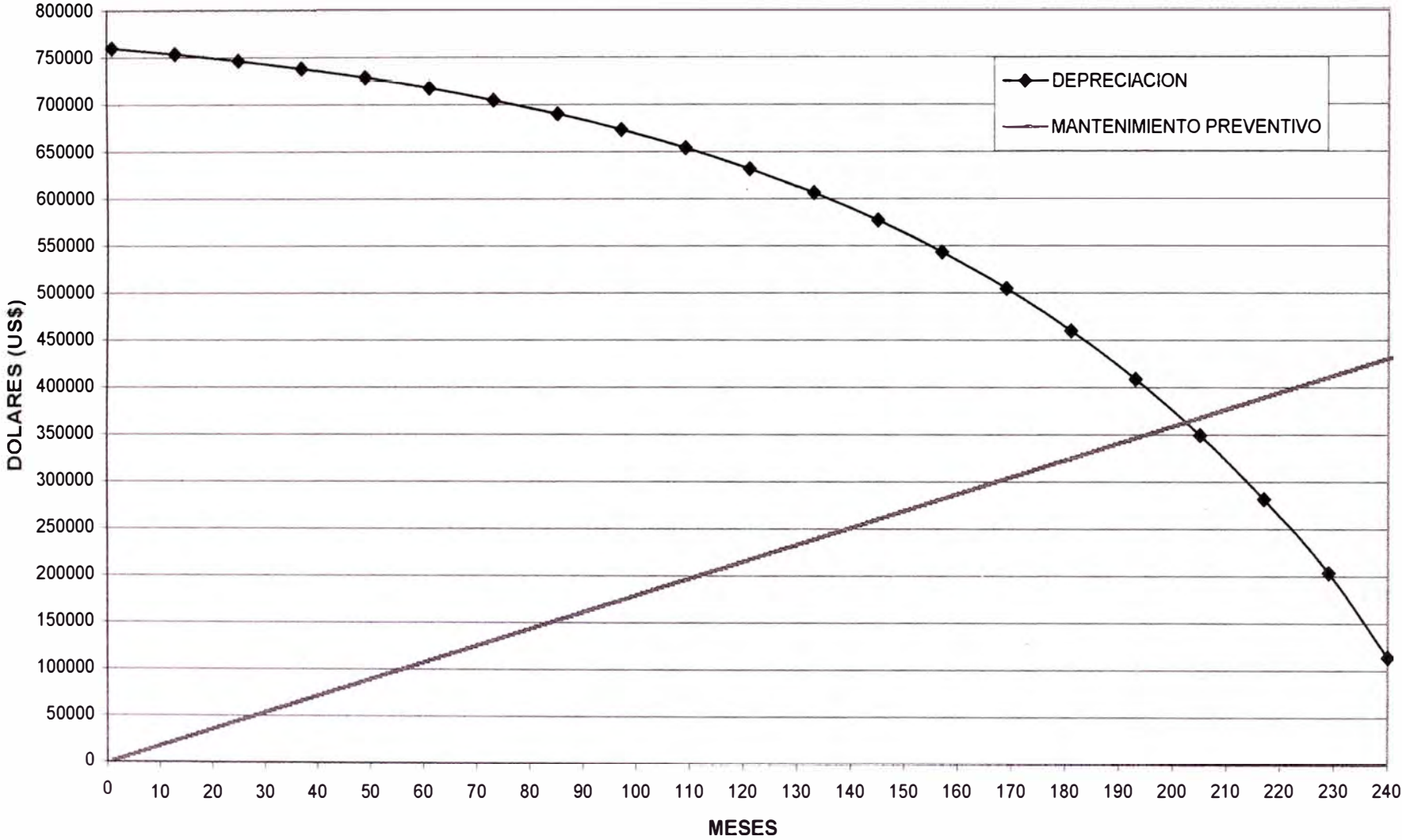
TAREAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

MAQUINA / EQUIPO PRECIPITADOR ELECTROSTATICO					CODIGO: PE - C01	
Parte	Descripción	No. Operar.	No. Hrs-Hm	Costo M. Obra	No. Horas Prod.	Costo Horas Prod.
INTERIOR DE LA UNIDAD	Revisión de los electrodos de descarga	3	2.00	22.50	0.00	0.00
	Revisión del alineamiento de los electrodos de descarga	5	3.00	56.25	0.00	0.00
	Revisión de placas colectoras	4	2.00	30.00	0.00	0.00
	Revisión del alineamiento de las placas colectoras	7	3.00	78.75	0.00	0.00
	Inspección de los martillos vibradores	2	1.00	7.50	0.00	0.00
	Revisión de los calentadores	1	0.50	1.88	0.00	0.00
TRANSFORMADOR RECTIFICADOR	Nivel de Aceite	1	0.17	0.63	0.00	0.00
	Inspección de contactos	1	0.33	1.25	0.00	0.00
	Medición de Aislamiento.	2	1.00	7.50	0.00	0.00
	Mantenimiento al bobinado.	3	2.00	22.50	0.00	0.00
	Inspección de aisladores	1	0.50	1.88	0.00	0.00
MOTORES	Inspección del Nivel de Vibración, Nivel de Ruido.	1	0.50	1.88	0.00	0.00
	Inspección del Nivel de Corriente, Nivel de Temperatura	1	0.50	1.88	0.00	0.00
	Cambio de grasa de los rodamientos.	2	0.33	2.50	0.00	0.00
	Medición de Aislamiento.	2	0.50	3.75	0.00	0.00
	Mantenimiento al estator.	2	2.50	18.75	0.00	0.00
	Mantenimiento al rotor.	2	1.50	11.25	0.00	0.00
	Verificación de paralelismo de eje.	2	0.25	1.88	0.00	0.00
	Cambio de rodamientos.	2	0.50	3.75	0.00	0.00
	Revisión de los asientos de rodajes.	2	0.25	1.88	0.00	0.00
	Balanceo del rotor.	2	1.50	11.25	0.00	0.00
TABLERO DE CONTROL	Registro de lecturas eléctricas	1	0.08	0.31	0.00	0.00
	Inspección de la ventilación	1	0.08	0.31	0.00	0.00
	Revisión y ajuste de interruptores	2	0.33	2.50	0.00	0.00
	Examen y limpieza de contactos	1	0.50	1.88	0.00	0.00
	Inspección y revisión de aisladores y barras	2	1.00	7.50	0.00	0.00
	Limpieza e inspección general	3	2.00	22.50	0.00	0.00

COSTO DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO

MAQUINA / EQUIPO PRECIPITADOR ELECTROSTATICO							CODIGO: PE - C01		
Parte	Actividad	Frec.	Costo M. Obra	Costo Herram.	Costo Mater.	Costo Repues.	Sub Total	No. Veces	Costo Total
INTERIOR DE LA UNIDAD	Revisión de los electrodos de descarga	mensual	22.50	20.00	0.00	150.00	192.50	12	2310.00
	Revisión del alineamiento de los electrodos de descarga	trimestral	56.25	50.00	30.00	0.00	136.25	4	545.00
	Revisión de placas colectoras	mensual	30.00	30.00	0.00	1200.00	1260.00	12	15120.00
	Revisión del alineamiento de las placas colectoras	2 meses	78.75	80.00	20.00	0.00	178.75	6	1072.50
	Inspección de los martillos vibradores	mensual	7.50	5.00	0.00	0.00	12.50	12	150.00
	Revisión de los calentadores	semanal	1.88	2.00	1.00	0.00	4.88	52	253.50
TRANSFORMADOR RECTIFICADOR	Nivel de Aceite	semanal	0.63	1.00	1.00	0.00	2.63	52	136.50
	Inspección de contactos	2 días	1.25	1.00	0.50	0.00	2.75	104	286.00
	Medición de Aislamiento.	2 meses	7.50	4.00	2.00	0.00	13.50	6	81.00
	Mantenimiento al bobinado.	anual	22.50	5.00	30.00	0.00	57.50	1	57.50
	Inspección de aisladores	semanal	1.88	1.00	0.50	0.00	3.38	52	175.50
MOTORES	Inspección del Nivel de Vibración, Nivel de Ruido.	2 días	1.88	3.00	0.00	0.00	4.88	104	507.00
	Inspección del Nivel de Corriente, Nivel de Temperatura	2 días	1.88	3.00	0.00	0.00	4.88	104	507.00
	Cambio de grasa de los rodamientos.	2 meses	2.50	2.00	3.00	0.00	7.50	6	45.00
	Medición de Aislamiento.	2 meses	3.75	4.00	0.00	0.00	7.75	6	46.50
	Mantenimiento al estator.	anual	18.75	5.00	20.00	0.00	43.75	1	43.75
	Mantenimiento al rotor.	anual	11.25	5.00	10.00	0.00	26.25	1	26.25
	Verificación de paralelismo de eje.	anual	1.88	5.00	5.00	0.00	11.88	1	11.88
	Cambio de rodamientos.	anual	3.75	5.00	0.00	60.00	68.75	1	68.75
	Revisión de los asientos de rodajes.	anual	1.88	5.00	0.00	0.00	6.88	1	6.88
	Balanceo del rotor.	anual	11.25	15.00	20.00	0.00	46.25	1	46.25
TABLERO DE CONTROL	Registro de lecturas eléctricas	diario	0.31	0.50	0.50	0.00	1.31	365	479.06
	Inspección de la ventilación	diario	0.31	1.00	0.50	0.00	1.81	365	661.56
	Revisión y ajuste de interruptores	trimestral	2.50	2.00	0.50	0.00	5.00	4	20.00
	Examen y limpieza de contactos	2 meses	1.88	0.50	1.00	0.00	3.38	6	20.25
	Inspección y revisión de aisladores y barras	mensual	7.50	3.00	1.50	0.00	12.00	12	144.00
	Limpieza e inspección general	anual	22.50	5.00	2.00	0.00	29.50	1	29.50
TOTAL ANUAL (US\$)									22851.13

MANTENIMIENTO PREVENTIVO VS. DEPRECIACION



CAPITULO V

FILTROS DE TELA

Una unidad de filtro de tela consiste de uno o más compartimientos aislados conteniendo hileras de bolsas de tela, en la forma de tubos redondos, planos o formados, o de cartuchos plizados. El gas cargado de partículas pasa generalmente a lo largo del área de las bolsas y luego en forma radial a través de la tela. Las partículas son retenidas en la cara de las bolsas corriente arriba y el gas limpio es ventilado hacia la atmósfera. El filtro es operado cíclicamente, alternando entre períodos de filtrado relativamente largos y períodos cortos de limpieza. Durante la limpieza, el polvo que se ha acumulado sobre las bolsas es removido del área de la tela y depositado en una tolva para su deposición posterior.

Los filtros de tela recolectan partículas de tamaños que van desde las submicras hasta varios cientos de micras de diámetro, con eficiencias generalmente en exceso al 99 o 99.9 por ciento. La capa de polvo o plasta recolectada sobre la tela es la razón principal de esta alta eficiencia. La plasta es una barrera con poros tortuosos que atrapan a las partículas a medida que viajan por la plasta. En algunas configuraciones pueden acomodarse rutinariamente temperaturas de gas hasta cerca de 500°F, con picos hasta cerca de 550°F.

La mayor parte de la energía utilizada para operar el sistema aparece como caída de presión a través de las bolsas, y de las partes y conductos asociados. Los valores típicos de la caída de presión del sistema varía desde cerca de 5 hasta 20 pulgadas de agua. Los filtros de tela se utilizan donde se requiere una alta eficiencia de recolección de partículas. Se imponen limitaciones por las características del gas (la temperatura y la corrosión) y por las características de las partículas (principalmente la adhesividad), que afectan a la tela o a su operación y que no pueden ser tomadas en cuenta económicamente.

Las variables importantes del proceso incluyen las características de la partícula, las características del gas y las propiedades de la tela. El parámetro de diseño más importante es la relación aire-a-tela o gas-a-tela (la cantidad de gas en pies cúbicos por minuto que penetra un pie cuadrado de tela), y el parámetro de operación de interés por lo general es la caída de presión a través del sistema de filtro. La característica de operación principal de los filtros de tela que los distingue de otros filtros de gas es la capacidad de renovar la superficie de filtración periódicamente por medio de limpiezas.

Los filtros de horno comunes, los filtros de aire de alta eficiencia para material en partículas (high efficiency particulate air filters – HEPA), los filtros de aire de alta eficiencia (high efficiency air filters – HEAF), y los filtros de aire por inducción automotrices son ejemplos de filtros que deben ser desechados después de que se acumule una capa significativa de polvo sobre la superficie. Estos filtros se construyen típicamente de fibras entreteljadas, se montan sobre marcos sostenedores y son utilizados donde existen concentraciones de polvo relativamente bajas. Los filtros de tela por lo general se construyen con felpas tejidas o, mayormente, perforadas con aguja y cosidas en la forma deseada, montadas en un plano con herramientas especiales, y usados a través de un amplio rango de concentraciones de polvo.

Otro tipo de filtro de tela desarrollado en los años 1970 y 1980 es el filtro mejorado y enriquecido electrostáticamente. Las casas de bolsas piloto que emplean esta tecnología han mostrado caídas de presión menores que los diseños de filtro convencionales. Además, algunos análisis de costo han mostrado que las casa de bolsas mejoradas electrostáticamente pudieran tener costos más bajos de por vida que las casa de bolsas convencionales.

5.1 Tipos de Filtros de Tela

Los filtros de tela pueden ser categorizados por varios medios, incluyendo el tipo de limpieza (por agitación, aire a la inversa, propulsión a chorro), la dirección del flujo de gas (desde el interior de la bolsa hacia el exterior o viceversa), la localización del ventilador del sistema (de succión o de presión), o tamaño (cantidad baja, mediana o alta de flujo de gas). De estos cuatro enfoques, el método de limpieza es probablemente la característica más distintiva.

5.1.1 Limpieza por Agitación

Para cualquier tipo de limpieza, debe impartirse a la tela la energía suficiente para superar las fuerzas de adhesión sosteniendo el polvo a la bolsa. En la limpieza por agitación, usada con flujo de gas del interior al exterior, la transferencia de energía se logra suspendiendo la bolsa de un gancho o una estructura que oscilan accionados por un motor. El movimiento puede ser impartido a la bolsa en varias maneras, pero el efecto general es de crear una onda sinusoidal a lo largo de la tela. A medida que la tela se mueve hacia fuera de la línea central de la bolsa durante porciones de la acción de onda, el polvo acumulado sobre la superficie se mueve con la tela. Cuando la tela alcanza el límite de su extensión, los parches de polvo poseen la inercia suficiente para desprenderse de la tela y descender hacia la tolva.

Para casas de bolsas pequeñas y de un sólo compartimiento, generalmente operadas de manera intermitente, una palanca conectada al mecanismo de agitación puede ser operada manualmente a intervalos apropiados, típicamente al final de una jornada de trabajo. En casas de bolsas con compartimientos múltiples, generalmente operadas continuamente, un cronómetro o un sensor de presión que responde a la caída de presión del sistema inicia la agitación de la bolsa automáticamente. Los compartimientos operan en secuencia de manera que se limpie un compartimiento a la vez. El flujo de gas hacia adelante al compartimiento es interrumpido, se permite el asentamiento del polvo, el flujo de gas residual cesa, y el mecanismo de agitación es encendido por varios segundos hasta un minuto o más. Los períodos de asentamiento y agitación pueden ser repetidos, y enseguida el compartimiento es restablecido en línea para la filtración. Como resultado de la ausencia de flujo hacia adelante a través del compartimiento, la superficie recolectora de la casa de bolsas debe ser incrementada para compensar que esa porción se encuentre fuera de servicio en un algún tiempo para su limpieza.

Los parámetros que afectan a la limpieza son la frecuencia del movimiento de agitación y la tensión de la bolsa montada. Los primeros dos parámetros son parte del diseño de la casa de bolsas y por lo general no se cambian fácilmente. Los valores típicos son de alrededor de 4 Hz para la frecuencia y de 2 a 3 pulgadas para la amplitud (medio ciclo). Algunas instalaciones permiten ajustes fáciles de la tensión de las bolsas, mientras que otras requieren que la bolsa sea desconectada y reconectada de nuevo a su cono conector.

La acción vigorosa de los sistemas de agitación tiende a presionar más a las bolsas, lo que requiere telas más pesadas y durables. En los Estados Unidos, las telas tejidas son usadas casi exclusivamente para la limpieza por agitación. La práctica europea permite el uso de telas afelpadas a velocidades de filtración un poco más altas. Estas velocidades más altas permiten la construcción de una casa de bolsas más pequeña, lo que requiere menos capital. Sin embargo, las velocidades más altas conducen a caídas de presión más altas, aumentando los costos de operación.

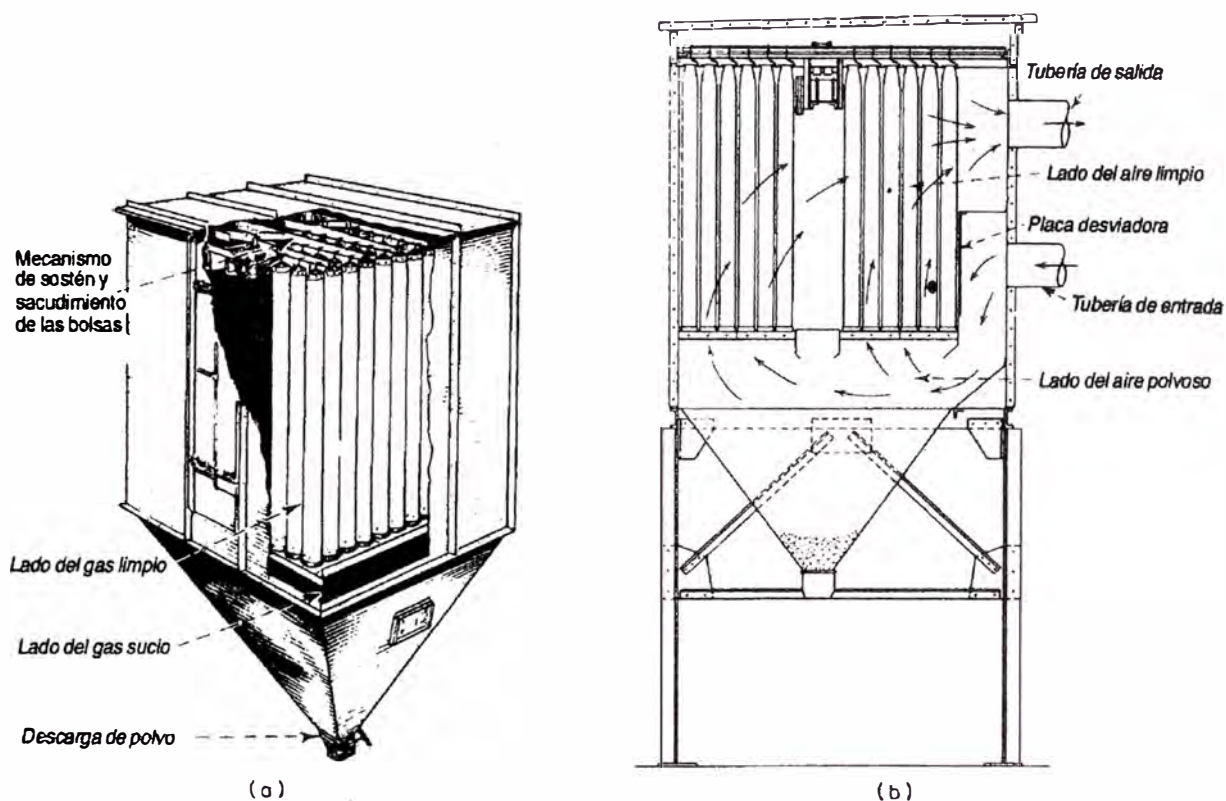


Figura 5.1: Filtros de Tela Tipo Vibratorio.

a) Buell Norblo (vista de corte), b) Wheelabrator-Frye Inc. (vista seccional)

5.1.2 Limpieza con Aire a la Inversa

Cuando las telas de fibra de vidrio fueron introducidas, se necesitó un medio más suave para limpiar las bolsas, que pueden ser de un pie de diámetro y 30 pies de longitud, para prevenir la degradación prematura. La limpieza por aire a la inversa fue desarrollada como una manera menos intensiva de impartir energía a las bolsas. En la limpieza por medio de aire a la inversa, el flujo de gas hacia las bolsas es interrumpido en el compartimiento que está siendo limpiado y un flujo a la inversa (de afuera hacia adentro) es dirigido a través de las bolsas. Este revés del flujo de gas pliega la bolsa suavemente hacia sus líneas centrales, lo que causa que la plasta se desprenda del área de tela. El desprendimiento es causado por fuerzas tipo tijera desarrolladas entre el polvo y la tela a medida que ésta última cambia su forma.

Las tapas metálicas para sostener la parte superior de las bolsas son una parte integral de la bolsa tanto como lo son varios anillos cosidos que rodean las bolsas para prevenir su colapso completo durante la limpieza.

Sin estos anillos, el polvo que cae y se acumula tiende a obstruir la bolsa a medida que la tela se pliega sobre sí misma mientras es limpiada. De modo similar a las casas de bolsas con agitación con compartimientos múltiples, en las casas de bolsas con aire a la inversa ocurre un ciclo similar que consiste de interrumpir el flujo de gas y permitir que el polvo se asiente antes de que empiece la acción limpiadora. Además, debe añadirse una capacidad adicional de filtración a las casas de bolsas con aire a la inversa para compensar por la porción que se encuentre fuera de servicio por limpieza en cualquier tiempo. Algunas casas de bolsas con aire a la inversa emplean un sistema suplementario con agitación para ayudar a la limpieza aumentando la cantidad de energía suministrada a la bolsa.

La fuente de aire a la inversa es por lo general un ventilador del sistema por separado que es capaz de suministrar aire limpio y seco para uno o dos compartimientos a una relación gas-a-tela tan alta o más alta que la del flujo de gas hacia adelante.

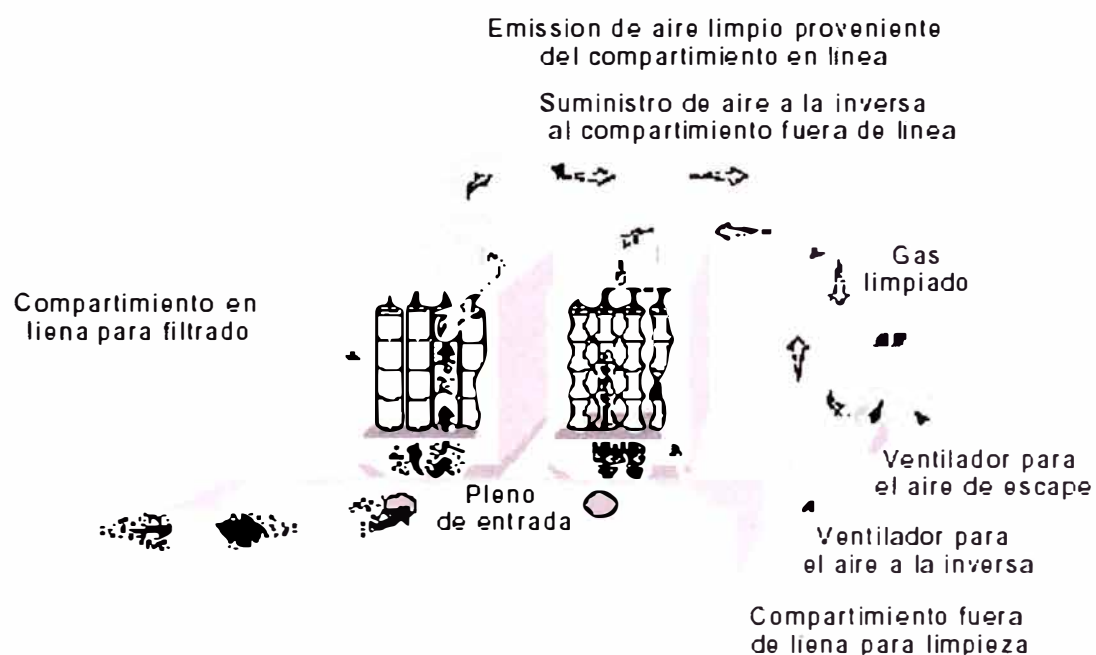


Figura 5.2: Filtro de Tela de Aire a la Inversa Típica

5.1.3 Limpieza por Chorro Pulsante

La ventaja de la limpieza por chorro pulsante es la reducción en el tamaño de la casa de bolsas (y el costo de capital) permitida al usar menos tela debido a las relaciones más altas de gas-a-tela y, en algunos casos, por no tener que construir un compartimiento adicional para la limpieza fuera de línea. Sin embargo, las relaciones más altas de gas-a-tela causan caídas de presión más altas que aumentan los costos de operación. Esta forma de limpieza usa aire comprimido para forzar que un golpe de aire descienda a través de la bolsa y la expanda violentamente. Como en las casas de bolsas con agitación, la tela alcanza su límite de extensión y el polvo se separa de la bolsa. El aire escapando a través de la bolsa lleva el polvo separado del área de la bolsa. Sin embargo, en los chorros a pulso los flujos de gas de filtración se oponen en dirección.

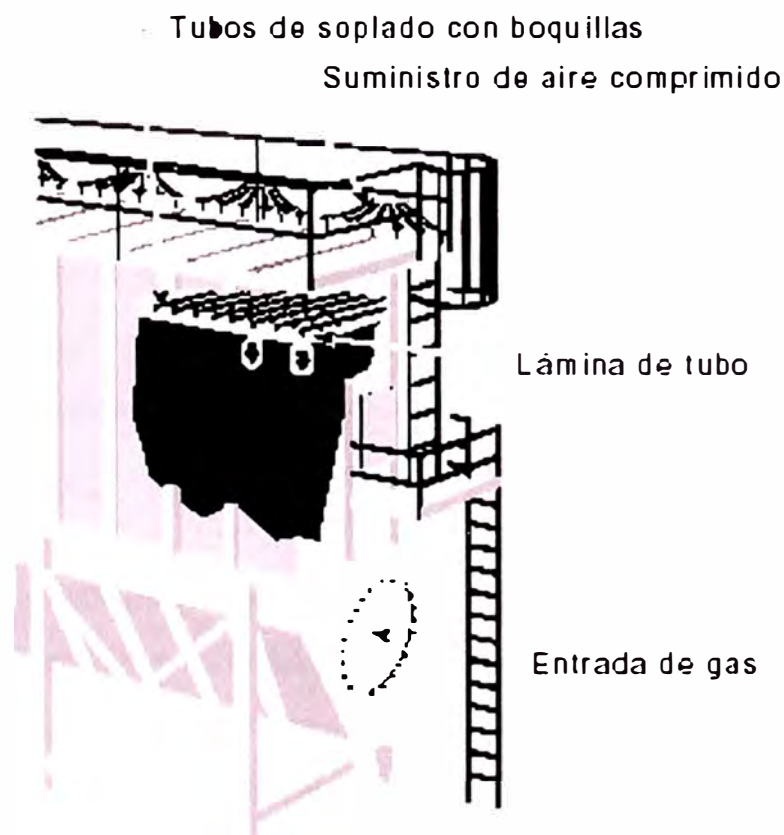


Figura 5.3: Filtro de Tela con Chorro a Pulso

5.1.3.1 Filtros Enjaulados

En las casas de bolsas de chorro pulsante convencionales, las bolsas son montadas sobre jaulas de alambre para prevenir su colapso mientras el gas polvoriento fluye desde el exterior de la bolsa al interior durante la filtración. En vez de unir ambos extremos de la bolsa a la estructura de la casa de bolsas, el ensamble de bolsa y jaula es por lo general fijado sólo en la parte superior. La parte inferior del ensamble tiende a moverse en el flujo de gas turbulento durante la filtración y puede frotar otras bolsas, lo cual acelera el desgaste.

Con frecuencia, las casas de bolsas de chorro pulsante no se encuentran divididas en compartimientos. Las bolsas son limpiadas de fila en fila cuando un cronómetro inicia el golpe de aire de limpieza a través de una válvula de apertura rápida. Un tubo a través de cada fila de bolsas acarrea el aire comprimido. El tubo tiene una boquilla sobre cada bolsa de manera que el gas de limpieza sale directamente hacia el interior de la bolsa. Algunos sistemas dirigen el aire a través de un Venturi corto que tiene la intención de encauzar aire adicional de limpieza. El pulso se opone e interrumpe el flujo de aire hacia adelante durante únicamente unos pocos décimos de segundo. Sin embargo, la continuación rápida del flujo hacia adelante deposita de nuevo la mayoría del polvo sobre la bolsa limpia o sobre bolsas adyacentes. Esta acción tiene la desventaja de inhibir la caída del polvo sobre la tolva, pero tiene la ventaja de reformar rápidamente la plasta de polvo que proporciona la recolección eficiente de las partículas.

Para aumentar la superficie de filtración en el mismo volumen de casa de bolsas, se han desarrollado configuraciones de bolsa y caja en forma de estrella y plizadas (en sección transversal). La combinación de bolsa y caja está diseñada como una unidad para ser instalada de manera similar a una unidad estándar de bolsa y jaula. Tales unidades pueden ser usadas como reemplazo para bolsas y jaulas estándares cuando se necesita superficie adicional de tela, o pueden ser usadas en diseños originales.

La limpieza normal por pulso es usada, o sea, no se requieren cambios especiales en el equipo de limpieza. Los costos para las bolsas y jaulas con forma de estrella son de alrededor de tres a tres y media veces el costo de las bolsas y jaulas normales.

5.1.3.2 Filtros Cartucho

Los aumentos posteriores en superficie de filtro por unidad de volumen de casa de bolsas se obtienen usando medios de filtración finamente plizados y sostenidos por medio de una estructura de alambre. Este cartucho puede ser montado verticalmente como un reemplazo casi directo para las bolsas y jaulas estándares en las casas de bolsas existentes, o montado horizontalmente en diseños originales. Cuando es usado como un reemplazo directo para bolsas y jaulas estándares, los costos de retrofit (equipar con nuevas partes o equipo no disponible a tiempo de manufactura) para un caso son el 70 por ciento del costo de la construcción de una casa de bolsas nueva. La limpieza de los diseños antiguos de filtros cartucho es por medio de equipo por pulsación típico usando un tubo de soplado a través de una fila de cartuchos. Los diseños más recientes usan válvulas de aire individuales para cada par de cartuchos.

Un tipo de cartucho contiene un núcleo interior de soportes rodeado por el medio de filtración plizado y la malla exterior de soporte. Un extremo del cartucho está abierto, lo cual permite que el gas pasando a través del filtro desde el exterior salga hacia un pleno de aire limpio. El aire para la limpieza es pulsado a través del mismo extremo abierto, pero en una dirección inversa a la del gas que está siendo limpiado. El otro extremo del cartucho está cerrado por una tapa extrema. El proceso de manufactura requiere uniones fuertes y rígidas donde las tapas extremas se unen al medio de filtración y los núcleos. Se utilizan plásticos epóxicos o poliuretano para sellar al medio contra las tapas extremas. El cartucho es mantenido firmemente en su lugar contra una placa de montaje que rodea el agujero que lo conecta al pleno de aire limpio.

Los cartuchos horizontales se montan típicamente en batería con empaques sellados entre sí. Si no se montan correctamente o si el material del empaque no es de alta calidad, aparecerán fugas después de varios pulsos repetidos de limpieza.

El medio de filtración para los cartuchos puede ser papel, plásticos de monofilamento unidos por hilado (predomina el poliéster), o telas no tejidas. Los cartuchos pueden ser de 6 a 14 pulgadas de diámetro y 16 a 36 pulgadas de longitud. La superficie de filtración es alrededor de 25 a 50 pies cuadrados para cartuchos con telas no tejidas, alrededor de tres a cuatro veces más con los unidos por hilado, y más.

Un cartucho típico puede tener 36 pies cuadrados de tela no tejida, 153 pies cuadrados de tela unida por hilado, o 225 pies cuadrados de papel. El espacio entre los pliegues es importante por dos razones: un distanciamiento menor aumenta la superficie de filtrado para un volumen de cartucho específico, pero el menor distanciamiento aumenta la probabilidad de que el polvo forme un puente permanente entre los fondos de los pliegues plizados y reduzca la superficie de filtrado disponible.

Para los polvos no aglomerantes de tamaños pequeños de partículas (hasta de unas pocas micras) y características benignas para el papel, el cartucho puede tener de 12 a 16 pliegues por pulgada. Las telas no tejidas bajo las condiciones más difíciles pueden tener de 4 a 8 pliegues por pulgada. La profundidad del pliegue es de 1 a 3 pulgadas. El arreglo de los pliegues y el volumen de aire para limpieza disponible determinan la capacidad de limpieza del medio para un polvo en específico. Una ventaja de los medios de papel es su capacidad de recolectar partículas menores de 2.5 μm de diámetro con alta eficiencia. La eficiencia en total puede ser del 99.999+ por ciento.

Los filtros cartucho están limitados en temperatura por los adhesivos que sellan los medios a las tapas de fondo a las tapas extremas. Las temperaturas de operación de 200°F son comunes, con una capacidad de temperatura hasta 350°F.

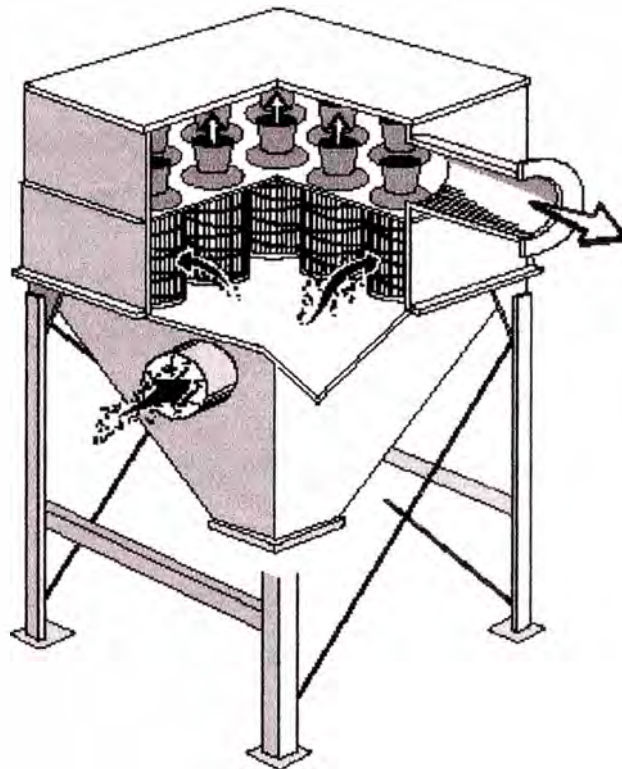


Figura 5.4: Filtro de Tela con Cartuchos Montados Verticalmente

5.1.4 Limpieza Sónica

Debido a que la limpieza con aire al inverso es un método de baja energía comparado con la limpieza con agitación o propulsión a pulso, se pudiera requerir energía adicional para obtener una remoción adecuada del polvo. La agitación, tal como se describe con anterioridad, es una de tales maneras de añadir energía, pero otra manera es añadir energía vibracional en el extremo inferior del espectro acústico.

Las bocinas sónicas accionadas por aire comprimido son una forma típica de aplicar esta energía. Las bocinas (de 1 a varias por compartimento para casas de bolsas grandes) operan típicamente en el rango de 125 a 550 Hz (con mayor frecuencia en el rango de 125 a 160 Hz) y producen presiones de sonido de 120 a 140 decibeles. Cuando se aplica correctamente, la energía sónica puede reducir la masa de polvo sobre las bolsas de

manera considerable, pero también puede conducir a un aumento en la penetración de polvo a través de la tela. La penetración aumentada reduce la eficiencia de la casa de bolsas. Las bocinas sónicas son efectivas como equipo suplementario para algunas aplicaciones que requieren energía adicional para una limpieza adecuada. En ocasiones las bocinas sónicas son usadas como la única fuente de energía para la limpieza.

La construcción de las bocinas incluye una salida con forma de bocina unida a una cámara de entrada que contiene un diafragma. Aire comprimido de 45 a 75 psig (libras estándar por pulgada cuadrada) entra a la cámara, vibra el diafragma, y escapa por la bocina. Ondas sonoras saliendo de la bocina hacen contacto y vibran la tela conteniendo polvo con energía suficiente para aflojar o desprender parches de polvo que caen a través de la bolsa hacia la tolva debajo. El consumo de aire comprimido varía de 45 a 75 scfm (pies cúbicos estándares por minuto) dependiendo del tamaño de la bocina. Las bocinas pueden ser montadas a la pestaña a través de las paredes de la casa de bolsas con la pestaña ya en el extremo de salida de la bocina o en la cámara de entrada. Las bocinas también pueden ser suspendidas dentro de la estructura de las casas de bolsas.

5.2 Equipo Auxiliar

Junto con el filtro de tela en sí, un sistema de control típicamente incluye el equipo auxiliar siguiente: un dispositivo de captura (una campana de ventilación o una conexión de escape directa); tubería; equipo para la remoción de polvo (transportador de tornillo, etc.); ventiladores, motores, y encendedores; y una chimenea.

Además, se pueden necesitar cámaras de aspersion, recolectores mecánicos, y puertos de aire de dilución para pre-acondicionar el gas antes de que llegue al filtro de tela. Los dispositivos de captura son por lo general campanas de ventilación o acoplamientos de escape directos unidos a un recipiente de proceso.

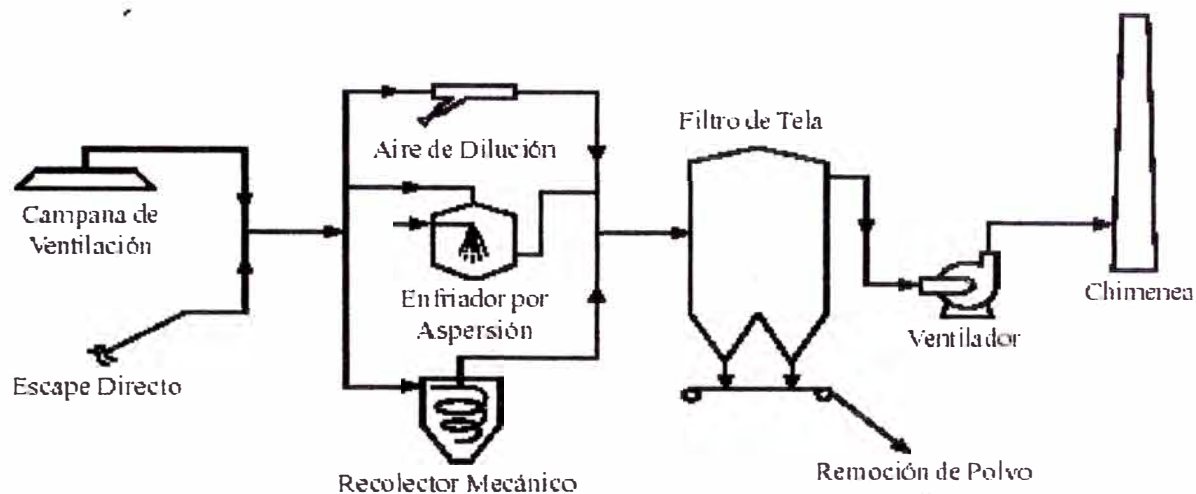


Figura 5.5: Equipo auxiliar alternativo usado con filtros de tela

Los acoplamientos de escape directos son menos comunes, requiriendo que se aspire aire a través del recipiente de proceso, y pudiera no ser factible en algunos procesos. La tubería (incluyendo los amortiguadores) se usa para contener, y regular el flujo de, la corriente de escape a medida que se mueve desde la fuente de emisiones hasta el dispositivo de control y la chimenea. Las cámaras de aspersión y los puertos de aire de dilución disminuyen la temperatura de la corriente de contaminante para proteger al filtro de tela de las temperaturas excesivas. Cuando una porción sustancial del cargamento de contaminante consiste de partículas relativamente grandes (más de alrededor de $20\ \mu\text{m}$), se usan recolectores mecánicos tales como los ciclones para reducir la carga sobre el filtro de tela. Los ventiladores proporcionan potencia motora para el movimiento del aire y pueden ser montados antes (casa de bolsas a presión) o después (casa de bolsas con succión) del filtro. Las chimeneas cuando son usadas, ventilan la corriente limpiada hacia la atmósfera. Los transportadores de tornillo se usan con frecuencia para remover el polvo capturado del fondo de las tolvas por debajo del filtro de tela y (si se usa) el recolector mecánico. Los sistemas (neumáticos) de transportación de aire y la descarga directamente dentro de recipientes también se usan como medios alternativos para la remoción del polvo de las tolvas.

Tabla 5.1 – Aplicaciones Industriales Típicas de los Filtros de Tela

Aplicación	Telas Típicas
Calderas de Servicios Públicos (Carbón)	Fibra de Vidrio, Teflón, Vidrio tratado con Teflón
Calderas Industriales (Carbón, Madera)	Fibra de Vidrio, Teflón, Vidrio tratado con Teflón
Calderas Comerciales/Institucionales (Carbón, Madera)	Fibra de Vidrio, Teflón, Vidrio tratado con Teflón
Procesamiento de Metales No Ferrosos (Primario y Secundario)	
Cobre	Fibra de Vidrio, Dacrón, Polipropileno, Nomex, Teflón
Plomo	Polipropileno, Nomex, Teflón, Dacrón, Orlón
Zinc	Polipropileno, Nomex, Teflón, Dacrón
Aluminio	Nomex, Dacrón, Teflón, Polipropileno
Otros	Nomex, Dacrón, Teflón, Polipropileno
Procesamiento de Materiales Ferrosos	
Producción de Coque	Combinaciones de Dacrón, Teflón
Producción de Ferroaleación	Fibra de Vidrio (recubierta con grafito, silicón, teflón), Dacrón, Nomex
Producción de Hierro y Acero	Fibra de Vidrio lubricada (silicón, grafito, teflón)
Fundiciones de Hierro Gris	Fibra de Vidrio (con silicón), Nomex, Orlón
Fundiciones de Acero	Fibra de Vidrio, Nomex, Dacrón, Teflón
Productos Minerales	
Manufactura de Cemento	Dacrón, Algodón, Lana, Nomex, Fibra de Vidrio
Procesamiento de Piedra	Algodón, Orlón, Dacrón
Otros	Fibra de vidrio, Nomex, Teflón, Orlón, Nylon, Dacrón, Dynel, Algodón
Manufactura de Asfalto	Nomex, Fibra de Vidrio
Molienda de Grano y Alimento	Dacrón

Tabla 5.2 - Intervalos de Temperatura y Resistencias Físico-Químicas de Telas Industriales Comunes

Tipo de Tela	Temperatura Máxima de Operación (°F)	Resistencia Física					Resistencia Química				
		Calor Seco	Calor Húmedo	Abrasión	Agitación	Flexión	Acidos Minerales	Acidos Organicos	Alcalies	Oxidadores	Solventes
Algodón	180	B	B	S	B	B	P	B	S	S	E
Dacrón	275	B	S	B	E	E	B	B	S	B	E
Orlón	275	B	B	B	B	E	B	B	S	B	E
Nylon	225	B	B	E	E	E	P	S	B	S	E
Dynel	160	S	S	S	S-P	B	B	B	B	B	B
Polipropileno	200	B	S	E	E	B	E	E	E	B	B
Creslan	275	B	B	B	B	E	B	B	S	B	E
Vycron	300	B	S	B	E	E	B	B	B	B	E
Nomex	400	E	E	E	E	E	S-P	E	B	B	E
Teflón	450	E	E	S-P	B	B	E	E	E	E	E
Nextel	1000	E	E	ND	ND	ND	E	E	E	E	E
Land	215	S	S	B	S-P	ND	S-P	S	P	P	S
Vidrio	550	E	E	P	P	S	E	E	B	E	E

Legenda: E = Excelente, B = Bueno, S = Satisfactorio, P = Pobre, ND = No disponible

CAPITULO VI

TEORIA DE OPERACIÓN DE LOS FILTROS DE TELA

6.1 Recolección de Partículas y Mecanismos de Penetración

La captura de partículas durante el filtrado por tela se debe principalmente a alguna combinación de impacto inercial, difusión e interjección directa. La recolección también puede ocurrir debido a la sedimentación gravitatoria y la atracción electrostática, pero generalmente en un menor grado.

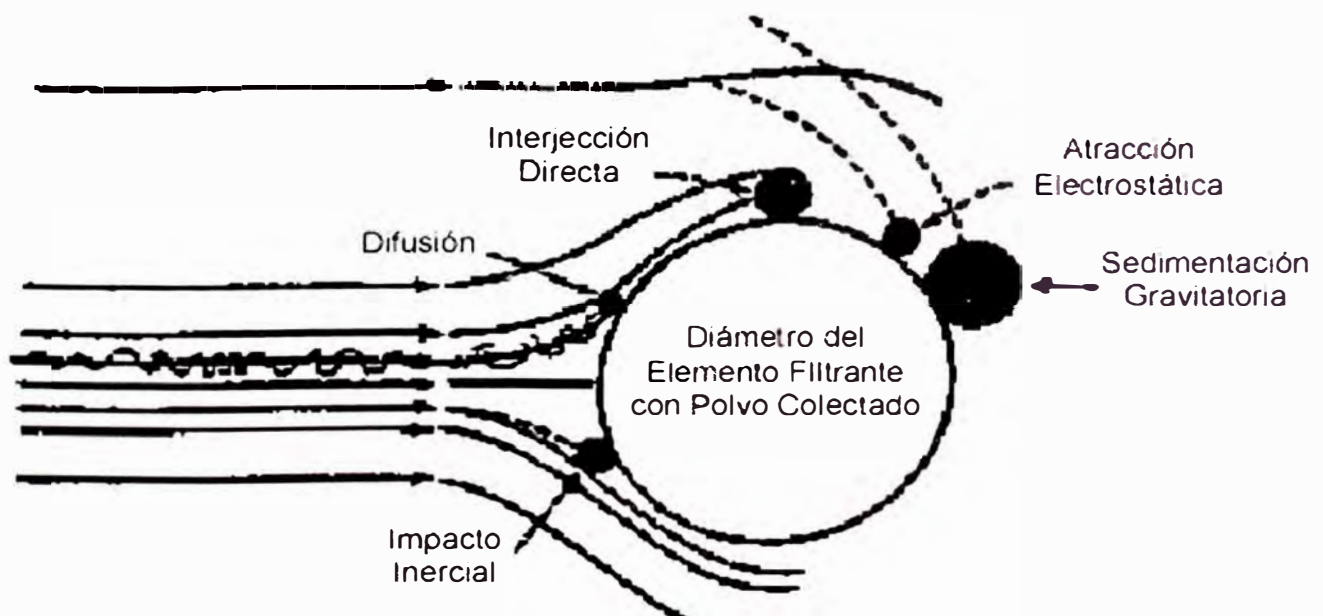


Figura 6.1: Mecanismos de Recolección del Filtrado por Tela.

El impacto inercial ocurre como resultado de un cambio en la velocidad entre un fluido, tal como el aire, y una partícula suspendida en el fluido. A medida que el fluido se acerca a un obstáculo se acelerará y cambiará de dirección para pasar alrededor del objeto. Dependiendo de la masa de la partícula, podría no ser capaz de adaptarse a la aceleración del fluido y se desarrollará una diferencia en velocidad entre la partícula y la corriente de fluido.

La inercia mantendrá el movimiento hacia adelante de la partícula hacia el objeto, pero el fluido tratará de arrastrar la partícula alrededor del obstáculo. El movimiento resultante de la partícula es una combinación de estas fuerzas de arrastre del fluido y de inercia. Esto resulta en un impacto en el caso de las partículas en donde domina la inercia, y el paso libre para aquellas partículas abrumadas por el arrastre del fluido.

La recolección por difusión ocurre tanto como resultado del movimiento del fluido como y del movimiento browniano (al azar) de las partículas. Los efectos de la recolección por difusión son más significativos para partículas menores de 1 micra (μm) de diámetro. Otro mecanismo de recolección, la intersección directa, ocurre cuando una partícula se encuentra dentro de un radio de una partícula de distancia de un obstáculo. El camino que esta partícula tome puede ser el resultado de inercia, difusión, o movimiento de fluidos.

La sedimentación gravitacional, es decir la caída de partículas individuales o aglomeradas, es un mecanismo de recolección menor para las operaciones de filtro de tela. La carga electrostática puede jugar un papel importante en la recolección y la aglomeración de las partículas en algunas situaciones. Si lo que se desea es maximizar el efecto electrostático, deben estudiarse y comprenderse de manera profunda las características de las partículas antes de seleccionar la tela.

Debido a la física de cada mecanismo de recolección, el tamaño de las partículas determinará la predominancia de un mecanismo de recolección sobre otro. Por lo general, a medida que el tamaño de las partículas aumenta, la predominancia del mecanismo de

recolección por difusión aumenta, suponiendo que los otros parámetros permanezcan constantes. A medida que el tamaño de las partículas aumenta, el mecanismo de recolección por impacto aumentará con mucha probabilidad. La combinación de estos dos efectos principales de recolección contribuye a una eficiencia mínima a un tamaño de partículas determinado.

La tela en sí también es un factor en la recolección y la penetración de las partículas. En las etapas de filtración iniciales en donde la tela generalmente se encuentra expuesta, la tela es responsable de cierta filtración. Sin embargo, con mayor relevancia, éste actúa como un soporte para la capa de polvo que se acumula durante el curso de la operación del filtro de tela. El polvo o plasta es un filtro altamente eficiente, aún para partículas sub-micrométricas. En términos del tipo de tela, las telas tejidas dependen de las capacidades de filtración de la plasta mucho más que las telas afelpadas.

La estructura de la tela, particularmente para las telas tejidas, también es muy importante en la recolección de partículas. Los poros grandes y una superficie con un gran espacio libre dentro de la tela contribuyen a una eliminación baja de las partículas. La captura de partículas en las telas tejidas es mejorada por las fibras pequeñas (conocidas como fabriles) las cuales se proyectan dentro de los poros.

El polvo se puede depositar sobre los fabriles y hacer puente atravesando los poros, lo cual permite que se acumule una plasta y aumente la eficiencia de recolección. Las telas pueden tener tamaños de poro similares y características de recolección muy diferentes debido al número de fabriles que poseen.

Las propiedades electrostáticas de las fibras también son críticas. Las diversas fibras tienen diferentes características electrostáticas y de superficie. La intensidad de la carga electrostática de la tela tiene un efecto particular sobre la eficiencia de recolección de partículas y es una función de las propiedades de la tela y de la aspereza de la superficie.

La velocidad de la disipación de la carga afecta cómo se libera el polvo de la tela y que tan fácilmente se puede limpiar la tela.

La relación gas a tela (G/T) es una consideración de diseño importante y tiene un efecto primordial en los mecanismos de recolección de partículas. Esta es una relación de la velocidad de flujo volumétrico del gas por unidad de superficie filtrante, y generalmente se expresa en unidades de pies cúbicos por minuto de gas por pie cuadrado de tela $[(ft^3/min)/ft^2]$. Puesto que estas unidades pueden ser reducidas a pies por minuto (ft/min), a la relación G/T también se le refiere como velocidad del frente. En general, a medida que la velocidad del frente aumenta, la eficiencia de la recolección por impacción aumenta y la eficiencia de recolección por difusión disminuye. Las velocidades de superficie más altas permiten el uso de filtro de telas más pequeños, siempre que todo lo demás permanezca constante. Sin embargo, a medida que la velocidad del frente aumenta, hay un aumento de caída de presión, un aumento de la penetración de las partículas, una mayor cobertura de la tela, una limpieza más frecuente, y una vida reducida de las bolsas.

La mayoría de polvos que penetra el filtro son resultado de polvo que se desprende durante la limpieza y penetra en el lado limpio, y de polvo que se afloja durante la limpieza y no puede resistir desprenderse cuando resume el flujo. La mayoría de las partículas sub-micrométricas penetran la tela pasando directamente a través de los poros o debido a una fuga. Las fugas ocurren cuando las partículas emigran a través de la plasta o masa espesa del filtro y de la tela mediante la captura y el re-encauzamiento continuos. Las fugas son más comunes con las partículas lisas y con la ausencia de fuerzas electrostáticas significantes.

6.2 Características de la Tela

La selección de la tela es un aspecto muy importante de la operación del filtro de tela. Existen muchas fibras que pueden ser usadas efectivamente como filtros, con propiedades

diversas que determinan sus aplicaciones apropiadas. En general, las fibras pueden ser convertidas en telas tejidas o afelpadas. El método de limpieza afecta la selección de la fibra, ya que algunas fibras se desgastan rápidamente y pierden su efectividad como resultado de la flexión o la agitación frecuentes. El tipo de tela también debe conformarse al método de limpieza, y a las características de la corriente y de las partículas.

Las telas tejidas son preferidas para los filtros de tela con agitador y de aire invertido. Las telas afelpadas son recomendadas para los filtros de tela con pulsorreactor y propulsión invertida. El uso de la felpa se limita por lo general a los estilos de recolección de polvo en superficies externas.

Las características principales de la corriente de gas a considerar cuando se seleccionan las telas son la temperatura y la composición química. La mayoría de las telas son degradadas por las temperaturas altas. Entre la variedad de telas disponible, existe un amplio rango de temperaturas máximas de operación que pueden ser igualadas al rango de temperaturas en las diferentes aplicaciones. Algunas telas también son fácilmente degradadas por ácidos, mientras que otras son altamente resistentes a los ácidos. Los álcalis, oxidantes y solventes son otros tipos de sustancias químicas que pueden dañar los materiales para filtro. Las fibras nuevas, tales como el Ryton®, el Gore-Tex® y el Chem-Pro®, están continuamente en desarrollo para aplicaciones de alta temperatura y otras aplicaciones exigentes. Las fábricas de cerámica, como por ejemplo el Nextel®, se han desarrollado recientemente y pueden funcionar a temperaturas de hasta 1000°F (538°C).

Las características importantes de las partículas a considerar en la selección de la tela son el tamaño, el potencial de abrasión, y el potencial de liberación. Los tamaños promedio de las partículas pueden ser un factor en la selección del tipo de tejido o felpa que se seleccione para una aplicación particular. Con polvos muy abrasivos, se debe tomar la precaución de asegurarse que la tela no se desgastará demasiado rápido. Los polvos

húmedos o pegajosos requieren una tela que liberará la pasta de polvo con facilidad, o que esté recubierta con algún tipo de capa lubricante.

Se han desarrollado varios acabados y texturas diferentes para las telas de fibra de vidrio para aumentar su uso en la filtración. También existen muchos recubrimientos y tratamientos químicos disponibles para proporcionar lubricación y otras propiedades a las fibras y de este modo mejorar su rendimiento.

6.3 Eficiencia de Recolección

Los filtros de tela bien diseñados y mantenidos que son operados correctamente deben recolectar por encima del 99 por ciento de las partículas que varían en tamaño desde sub-micras a cientos de sub-micras.

Hay varios factores que pueden afectar la eficiencia de recolección de los filtros de tela. Estos factores incluyen la velocidad de filtración del gas, las características de la tela, y el mecanismo de limpieza. En general, la eficiencia de recolección aumenta con el aumento de la velocidad de filtración y del tamaño de las partículas. Otras características de las partículas, tanto como el tipo de método de limpieza, son variables claves en el diseño de un filtro de tela. Un filtro de tela diseñado incorrectamente no funcionará tan bien como es posible y con cierta frecuencia impactará la eficiencia.

Para una determinada combinación de diseño de filtro y de polvo, la concentración efluente de partículas proveniente de un filtro de tela es casi constante mientras que la eficiencia en total de un filtro de tela varía con mayor probabilidad de acuerdo a la carga del particulado. Por esta razón, los filtros de tela pueden ser considerados como dispositivos de salida constante que como dispositivos de eficiencia constante. La concentración constante de efluente se logra porque a cualquier tiempo determinado una parte del filtro de tela está siendo limpiado. A diferencia de los ciclones, los absorbentes, y los precipitadores

electrostáticos, los filtros de tela nunca alcanzan verdaderamente un estado de equilibrio en la recolección de partículas. Como resultado de los mecanismos de limpieza usados en los filtros de tela, la eficiencia de recolección a un tiempo determinado siempre está cambiando. Cada ciclo de limpieza remueve al menos algo de pasta del filtro y afloja las partículas que permanecen sobre el filtro.

Cuando la filtración continúa, la capacidad de filtrado ha sido reducida debido a la pasta de filtro perdida y las partículas sueltas son empujadas a través del filtro por el flujo de un gas. Esto reduce la eficiencia de recolección. A medida que las partículas son capturadas la eficiencia aumenta hasta el siguiente ciclo de limpieza. Las eficiencias promedio para los filtros de tela son generalmente determinadas por pruebas que cubren un número de ciclos de limpieza a una carga de entrada constante.

CAPITULO VII

MANTENIMIENTO APLICADO A FILTROS DE TELA

El aumento de la caída de carga o de presión ocurre como resultado de la disminución del flujo de aire. La caída de presión en el filtro de tela se produce debido a la restricción en el paso de aire a través del material filtrante.

Si la limpieza de las mangas se realiza adecuadamente, no debería detectarse ninguna anomalía y la lectura de los manómetros debería mantenerse en un rango constante. Sin embargo en caso de producirse anomalías o problemas en los filtros de tela, estos pueden identificarse rápidamente gracias a las lecturas que dan los manómetros.

7.1 Mantenimiento Sugerido por Fabricantes

La frecuencia de inspección debe determinarse mediante un procedimiento de mantenimiento en planta, sin embargo para tomar un punto de partida como referencia los fabricantes recomiendan procedimientos y periodos de mantenimiento para filtros de tela típicos, los cuales se detallan en la siguiente Tabla.

Tabla 7.1 – Lista de Mantenimiento Preventivo para un Filtro de Tela Típico

Frecuencia Diaria
Comprobar la caída de presión.
Comprobar el sistema de limpieza.
Comprobar todas las válvulas y compuertas.
Comprobar el desalojo del polvo
Comprobar las emisiones
Realizar un repaso superficial.
Frecuencia Semanal
Comprobar todas las piezas en movimiento en los sistemas de descarga.
Comprobar el funcionamiento, conexión y aislamiento de la compuerta.
Comprobar el tensado de las mangas y de sacudido.
Limpiar y rellenar los manómetros de Tubos.
Comprobar la precisión de los manómetros.
Comprobar la secuencia de limpieza (válvulas colocadas apropiadamente).
Comprobar los componentes del impulsor del ventilador.
Frecuencia Mensual
Comprobar de cerca la situación de las conexiones de las mangas.
Comprobar las piezas móviles en los filtros por sacudido.
Comprobar el ventilador buscando la aparición de corrosión y el desgaste de las hojas.
Comprobar todas las mangueras y abrazaderas.
Comprobar "in situ" la aparición de fugas y agujeros en las mangas.
Inspeccionar la estructura del filtro por si existe corrosión.
Frecuencia Trimestral
Inspeccionar a conciencia las mangas.
Comprobar los conductos por si existe acumulación del polvo.
Observar las válvulas de las compuertas para un funcionamiento correcto.
Comprobar las juntas en todas las puertas.
Inspeccionar la pintura del filtro de mangas.
Calibrar el medidor de emisión de partículas, si es necesario.
Inspeccionar el desgaste de las barras difusoras.
Frecuencia Anual
Comprobar todas las soldaduras y pernos.
Comprobar el desgaste de la tolva.
Sustituir las piezas de alto desgaste del sistema de limpieza.

7.2 Plan de Mantenimiento

Dada la poca complejidad que presentan los Filtros de Tela, un programa de Mantenimiento Preventivo implicará formatos de Inspección y Programas de Mantenimiento más sencillos.

La tentativa inicial abarca las recomendaciones de los fabricantes.

FORMATOS DE INSPECCIÓN

INFORME DE MANTENIMIENTO DE COLECTOR/FILTRO DE MANGAS

Fecha : _____
 Inspector : _____
 Equipo : _____
 N° de Mangas : _____
 Sistema de Limpieza : _____
 Trabajo N° : _____

CONDICIONES DEL COLECTOR /FILTRO DE MANGAS

	1	2	3	OBSERVACIONES
TOLVAS				
1. Paredes Laterales				
2. Acumuladores de Materiales				
3. Vibradores				
4. Cinta Sin Fin				
5. Válvula para Eliminación de Materiales				
6. Deflectores				
CARCASA				
1. Paredes				
2. Fugas en las Costuras				
3. Techo				
4. Placas Portamangas/Separadora				
5. Pintura				
PUERTAS DE ACCESO				
1. Bisagras/Seguros				
2. Juntas				
3. Marco				
4. Panel de Puerta				
5. Pintura				
LIMPIEZA POR PULSOS				
1. Válvula Solenoide Piloto				
2. Válvulas de Pulso de Diafragma				
3. Presión de Aire: _____ psi				
4. Venturis				
5. Flautas				
6. Filtro de Agua/Aceite				
7. Controlador				
MANGAS (Y CONEXIONES)				
1. Mangas (Anotar el modelo)				
2. Jaulas				
3. Abrazaderas				
4. Elementos de Sujeción				
5. Pre-capa de Polvo/Aspecto				
6. Resultado de la Prueba con Visolite				

INFORMACION DEL CICLO DE LIMPIEZA

Aislamiento _____ s.
 Sacudido _____ s.
 Primer Periodo de Espera _____ s.
 Sacudido _____ s.
 Periodo de Espera Final _____ s.
 Re-inflado _____ s.

LEYENDA	
1	Excelente
2	Aceptable
3	Reparar/Reemplazar

SECUENCIA DE LIMPIEZA POR COMPARTIMIENTO

_____ - _____ - _____ - _____ - _____ - _____

LECTURA DEL MANOMETRO/MEDIDOR MAGNEHELIC

_____ mm ca. (Antes de la limpieza)
 _____ mm ca. (Durante el lapso de espera)
 _____ mm ca. (Después de la limpieza)

INSPECCION DE MANGAS DEFECTUOSAS

FILTRO : _____

PREPARADO POR : _____ FECHA : _____

NUMERO DE MANGAS

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	
01	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
02	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
03	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
04	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
05	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
06	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
07	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
08	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
09	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
10	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
11	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
12	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
13	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
14	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
15	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
16	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
17	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
18	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
19	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
20	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
21	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
22	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
23	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
24	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
25	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
26	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
27	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
28	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
29	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
30	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

NUMERO DE FILA

↓

LEYENDA:

- Manga con agujeros sin cambiarse.
- Fuga corregida.
- Manga reparada.
- Manga a ser retensada.
- Manga reemplazada en la presente inspección.
- Manga caída a instalar nuevamente.
- Agujero en la estructura.

INSTRUCCIONES:

1. Orientar los números de filas como indica el gráfico.
2. Mostrar la orientación de las puertas de acceso (entrada y salida).

MANTENIMIENTO PREVENTIVO

TAREAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

MAQUINA / EQUIPO FILTRO DE TELA					CODIGO: FT - C01	
Parte	Descripción	Frecuencia	Duración Horas	Operación	Parada	Renovación
UNIDAD DE LIMPIEZA	Revisión de las mangas/telas	mensual	2.00	X		
	Revisión de las lecturas de los manómetros	diario	0.50	X		
	Inspección del sistema de sacudido	2 días	0.50	X		
	Inspección en búsqueda de fugas	diario	0.50	X		
	Inspección general de la instalación	anual	3.00			X
MOTORES	Inspección del Nivel de Vibración, Nivel de Ruido.	2 días	0.50	X		
	Inspección del Nivel de Corriente, Nivel de Temperatura	2 días	0.50	X		
	Cambio de grasa de los rodamientos.	2 meses	0.33		X	
	Medición de Aislamiento.	2 meses	0.50		X	
	Mantenimiento al estator.	anual	2.50			X
	Mantenimiento al rotor.	anual	1.50			X
	Verificación de paralelismo de eje.	anual	0.25			X
	Cambio de rodamientos.	anual	0.50			X
	Revisión de los asientos de rodajes.	anual	0.25			X
	Balanceo del rotor.	anual	1.50			X
VENTILADORES	Mantenimiento al rotor.	semestral	1.50		X	
	Cambio de grasa de los rodamientos.	2 meses	0.33	X		
	Balanceo del rotor.	semestral	2.00		X	
	Verificación de paralelismo de eje.	anual	0.25		X	
	Cambio de rodamientos.	anual	0.50		X	
	Revisión de los asientos de rodajes.	anual	0.25		X	
	Limpieza e inspección general	anual	2.00			X

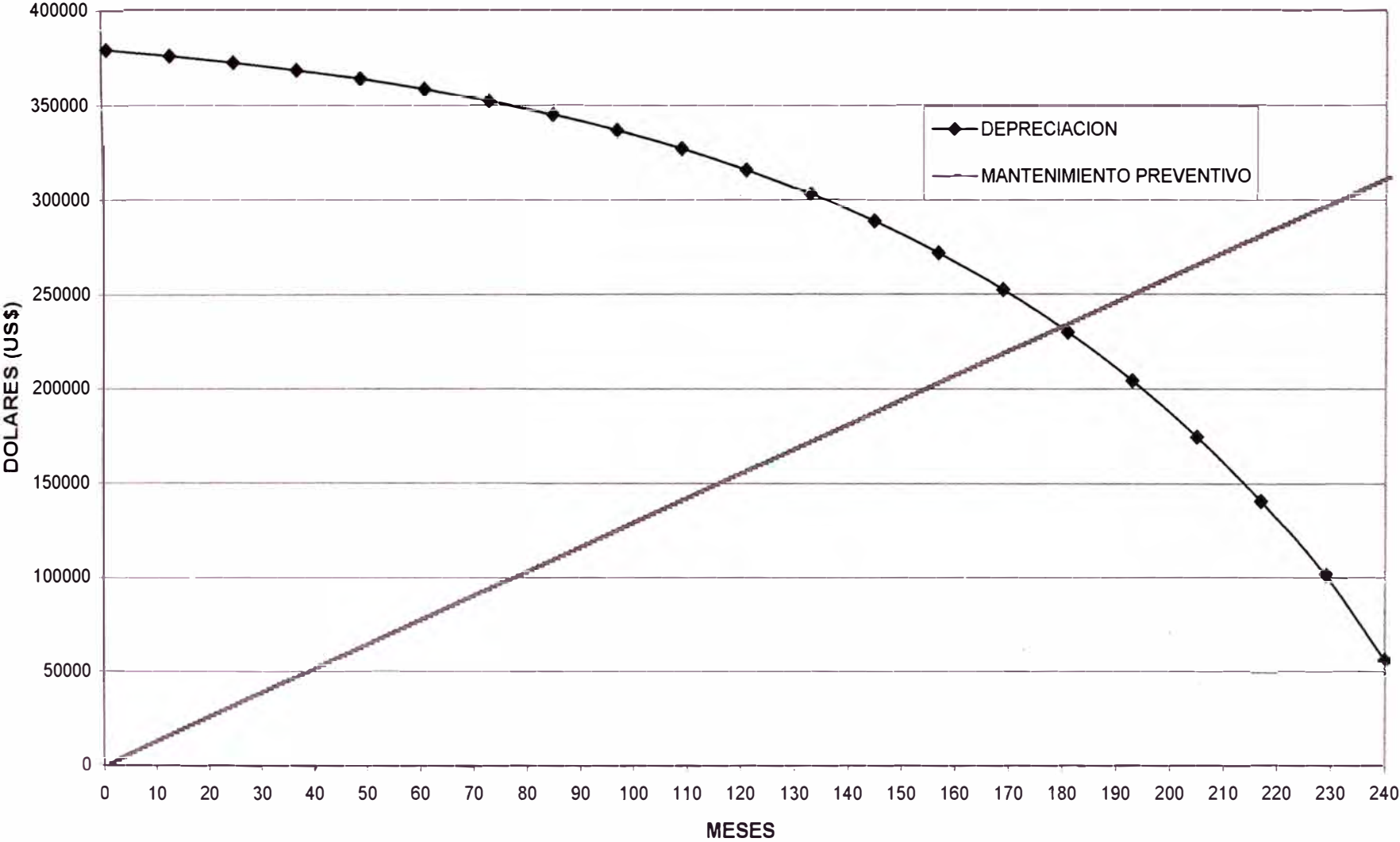
TAREAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

MAQUINA / EQUIPO		FILTRO DE TELA			CODIGO: FT - C01	
Parte	Descripción	No. Operar.	No. Hrs-Hm	Costo M. Obra	No. Horas Prod.	Costo Horas Prod.
UNIDAD DE LIMPIEZA	Revisión de las mangas/telas	2	2.00	15.00	0.00	0.00
	Revisión de las lecturas de los manómetros	2	0.50	3.75	0.00	0.00
	Inspección del sistema de sacudido	2	0.50	3.75	0.00	0.00
	Inspección en búsqueda de fugas	3	0.50	5.63	0.00	0.00
	Inspección general de la instalación	5	3.00	56.25	0.00	0.00
MOTORES	Inspección del Nivel de Vibración, Nivel de Ruido.	1	0.50	1.88	0.00	0.00
	Inspección del Nivel de Corriente, Nivel de Temperatura	1	0.50	1.88	0.00	0.00
	Cambio de grasa de los rodamientos.	2	0.33	2.50	0.00	0.00
	Medición de Aislamiento.	2	0.50	3.75	0.00	0.00
	Mantenimiento al estator.	2	2.50	18.75	0.00	0.00
	Mantenimiento al rotor.	2	1.50	11.25	0.00	0.00
	Verificación de paralelismo de eje.	2	0.25	1.88	0.00	0.00
	Cambio de rodamientos.	2	0.50	3.75	0.00	0.00
	Revisión de los asientos de rodajes.	2	0.25	1.88	0.00	0.00
Balanceo del rotor.	2	1.50	11.25	0.00	0.00	
VENTILADORES	Mantenimiento al rotor.	3	1.50	16.88	0.00	0.00
	Cambio de grasa de los rodamientos.	1	0.33	1.25	0.00	0.00
	Balanceo del rotor.	2	2.00	15.00	0.00	0.00
	Verificación de paralelismo de eje.	2	0.25	1.88	0.00	0.00
	Cambio de rodamientos.	2	0.50	3.75	0.00	0.00
	Revisión de los asientos de rodajes.	2	0.25	1.88	0.00	0.00
	Limpieza e inspección general	4	2.00	30.00	0.00	0.00

COSTO DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO

MAQUINA / EQUIPO FILTRO DE TELA							CODIGO: FT - C01		
Parte	Actividad	Frec.	Costo M. Obra	Costo Herram.	Costo Mater.	Costo Repues.	Sub Total	No. Veces	Costo Total
UNIDAD DE LIMPIEZA	Revisión de las mangas/telas	mensual	15.00	5.00	10.00	100.00	130.00	12	1560.00
	Revisión de las lecturas de los manómetros	diario	3.75	2.00	5.00	0.00	10.75	365	3923.75
	Inspección del sistema de sacudido	2 días	3.75	5.00	5.00	0.00	13.75	104	1430.00
	Inspección en búsqueda de fugas	diario	5.63	10.00	5.00	0.00	20.63	365	7528.13
	Inspección general de la instalación	anual	56.25	10.00	15.00	100.00	181.25	1	181.25
MOTORES	Inspección del Nivel de Vibración, Nivel de Ruido.	2 días	1.88	3.00	0.00	0.00	4.88	104	507.00
	Inspección del Nivel de Corriente, Nivel de Temperatura	2 días	1.88	3.00	0.00	0.00	4.88	104	507.00
	Cambio de grasa de los rodamientos.	2 meses	2.50	2.00	3.00	0.00	7.50	6	45.00
	Medición de Aislamiento.	2 meses	3.75	4.00	0.00	0.00	7.75	6	46.50
	Mantenimiento al estator.	anual	18.75	5.00	20.00	0.00	43.75	1	43.75
	Mantenimiento al rotor.	anual	11.25	5.00	10.00	0.00	26.25	1	26.25
	Verificación de paralelismo de eje.	anual	1.88	5.00	5.00	0.00	11.88	1	11.88
	Cambio de rodamientos.	anual	3.75	5.00	0.00	60.00	68.75	1	68.75
	Revisión de los asientos de rodajes.	anual	1.88	5.00	0.00	0.00	6.88	1	6.88
	Balanceo del rotor.	anual	11.25	15.00	20.00	0.00	46.25	1	46.25
VENTILADORES	Mantenimiento al rotor.	semestral	16.88	10.00	0.50	0.00	27.38	2	54.75
	Cambio de grasa de los rodamientos.	2 meses	1.25	1.00	0.50	0.00	2.75	6	16.50
	Balanceo del rotor.	anual	1.88	15.00	5.00	0.00	21.88	1	21.88
	Verificación de paralelismo de eje.	anual	3.75	0.50	1.00	0.00	5.25	1	5.25
	Cambio de rodamientos.	anual	1.88	5.00	0.00	0.00	6.88	1	6.88
	Revisión de los asientos de rodajes.	anual	1.88	3.00	1.50	0.00	6.38	1	6.38
	Limpieza e inspección general	anual	30.00	10.00	15.00	0.00	55.00	1	55.00
TOTAL ANUAL (US\$)							16099.00		

MANTENIMIENTO PREVENTIVO VS. DEPRECIACION



CONCLUSIONES

Según se ha detallado en los capítulos anteriores, un precipitador electrostático es un equipo que necesita demasiada precisión para operar de manera adecuada. En resumen los factores específicos que influyen en el funcionamiento se enumeran a continuación:

Electrodos de Recolección y de Descarga

- Perfil de los electrodos de recolección y de descarga.
- Espacio entre los electrodos de recolección y de descarga.
- Alineamiento del sistema de electrodos.
- Precisión en la fabricación del sistema de electrodos.
- Mecanismo de desalojo de polvo de los electrodos de recolección y de descarga.

Eléctrico

- Fuerza de campo.
- Corriente de corona
- Tamaño del campo del precipitador energizado por cada T/R.
- Diseño del sistema eléctrico de alto voltaje.
- Acoplamiento correcto de los componentes eléctricos.

Flujo de Gas

- Densidad.
- Composición.
- Temperatura.
- Contenido de humedad (viscosidad).
- Velocidad y distribución de la velocidad en el campo.

Polvo y Partículas de Humo

- Tamaño y forma.
- Composición.
- Concentración.
- Resistividad eléctrica.
- Gravedad específica.
- Propiedades superficiales.
- Fuerzas de aglomeración entre partículas.

De los trabajos de Mantenimiento Correctivo analizados en el capítulo 4, formulamos un Diagrama de Pareto gracias al cual podemos afirmar que al ocurrir fallas continuas en las placas colectoras a lo largo del año, los gastos durante el mismo serán bastante elevados.

Con el programa de Mantenimiento Preventivo formulado se esperan reducir los gastos de Mantenimiento Correctivo en un 30% como se muestra en la Tabla correspondiente. Sin embargo, la gráfica de depreciación nos muestra que se deben reducir estos gastos de Mantenimiento Preventivo pues el tiempo de Recambio ocurre a los 17 años.

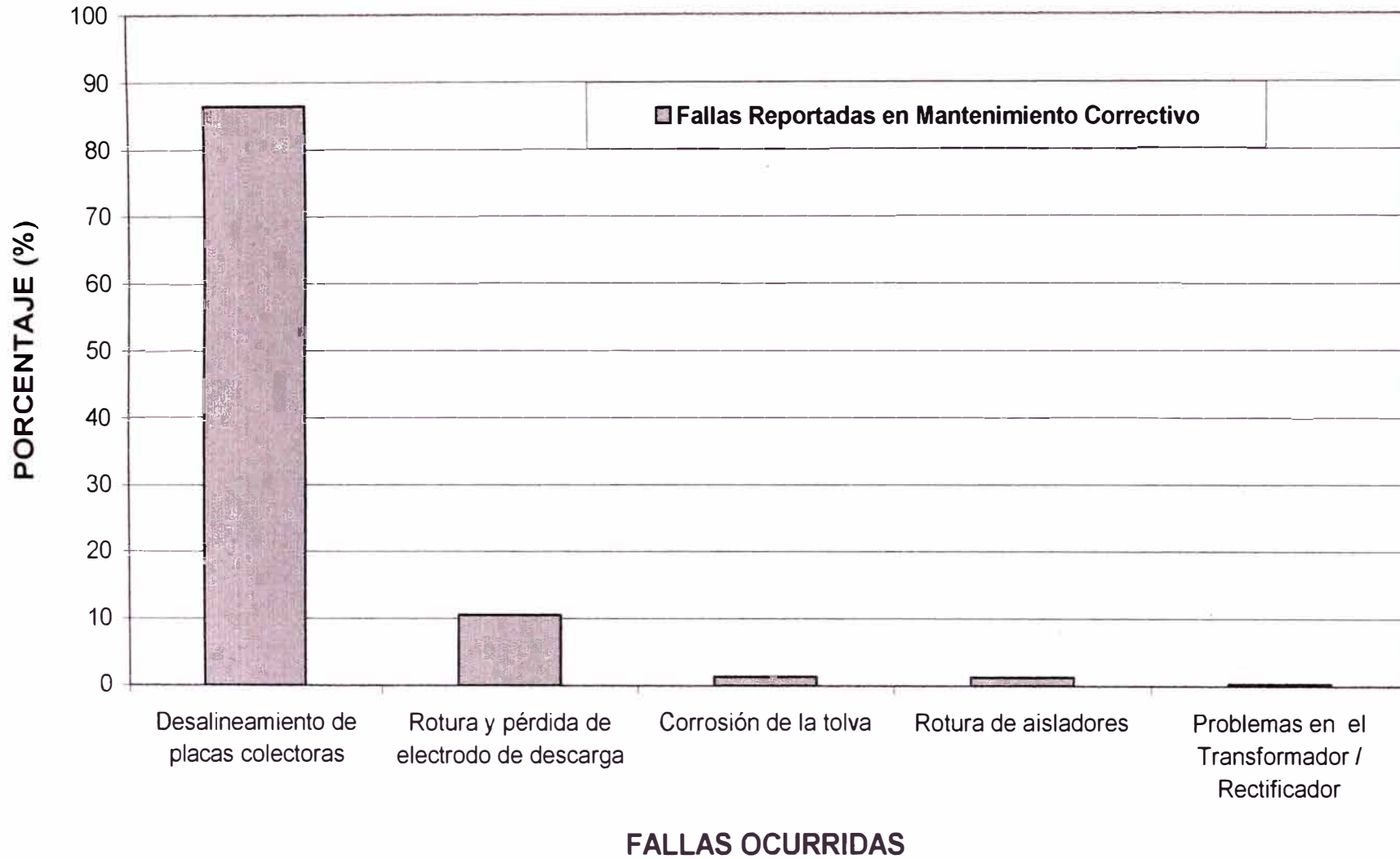
Una propuesta interesante sería la de modificar este sistema sólo en su parte más crítica. La inversión inicial contemplaría el desmontaje de los castillos suspendidos de electrodos de descarga y los de recolección.

TRABAJOS DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO ANUAL

MAQUINARIA	PRECIPITADOR ELECTROSTÁTICO
COSTO ESTIMADO	800,000.00 US\$
VIDA UTIL ESTIMADA	240 meses

DESCRIPCION	MANO DE OBRA	MATERIAL REPUESTO	PRODUC.	TOTAL (US \$)	Nº VECES AÑO	TOTAL AÑO (US \$)	PORCENTAJE (%)
Desalineamiento de placas colectoras	40.00	1200.00	0.00	1240.00	11	13640.00	86.48
Rotura y pérdida de electrodo de descarga	35.00	150.00	0.00	185.00	9	1665.00	10.56
Corrosión de la tolva	5.00	100.00	0.00	105.00	2	210.00	1.33
Rotura de aisladores	9.00	60.00	0.00	69.00	3	207.00	1.31
Problemas en el Transformador / Rectificador	5.00	45.00	0.00	50.00	1	50.00	0.32
						15772.00	100.00

PORCENTAJE DE OCURRENCIA DE FALLAS



La instalación de un sistema de limpieza con Filtros de Tela aprovecharía la amplitud de cada una de las unidades, pudiendo inclusive crearse un circuito adicional de limpieza si fuese necesario. Este nuevo sistema necesitaría además la inclusión de ventiladores del tamaño apropiado que creen el flujo de gas necesario de la fuente de polvo al sistema de descarga.

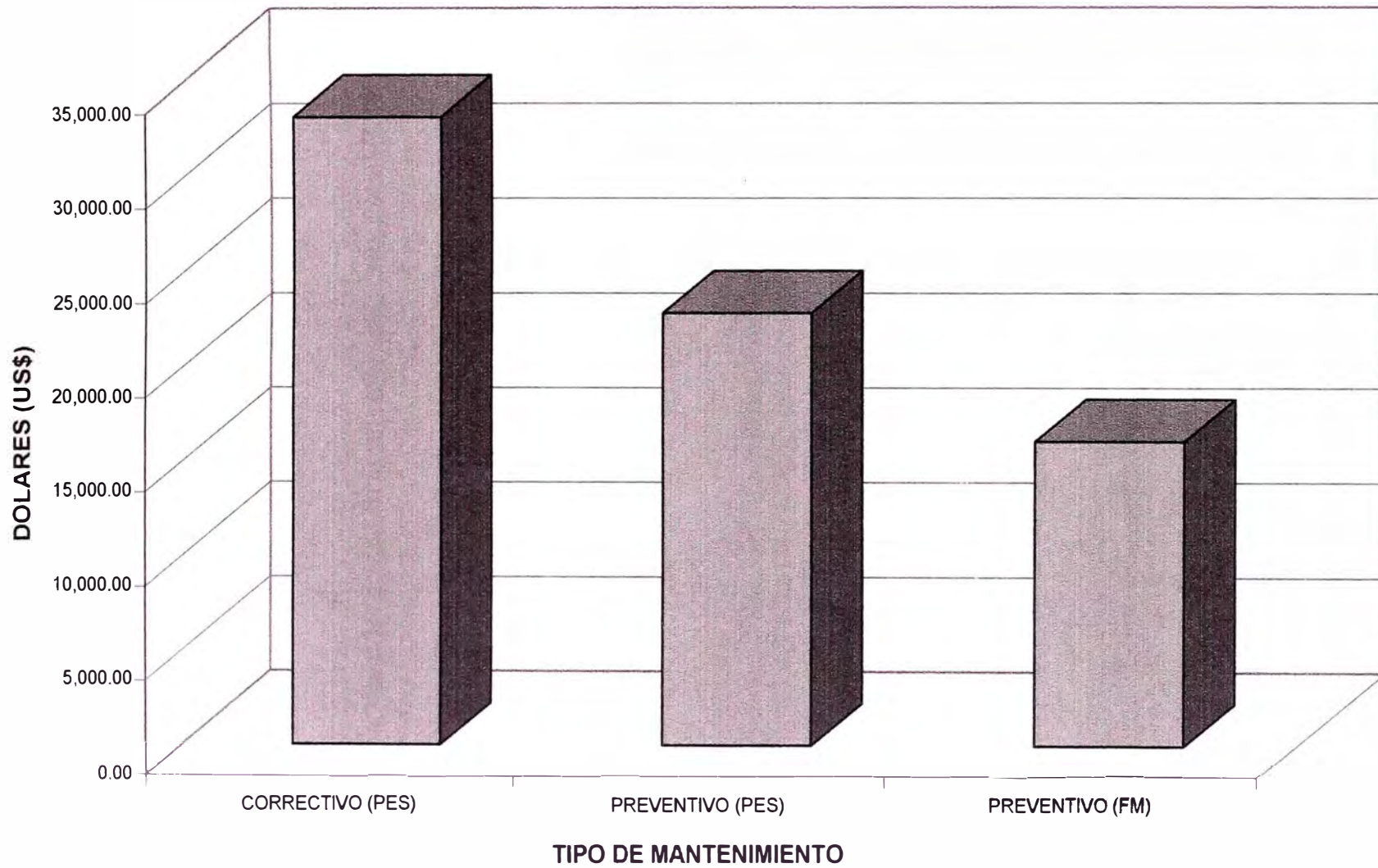
El Programa de Mantenimiento Preventivo formulado para este sistema reduciría los gastos de Mantenimiento Preventivo formulado para el Precipitador Electrostático en un 30%. Sin embargo, como sucedió en el caso anterior, estos gastos deben reducirse en mayor magnitud ya que el tiempo estimado de vida se reduce a 15 años.

Haciendo una comparación entre los gastos incurridos para el Mantenimiento Preventivo de un Precipitador Electrostático y el Mantenimiento Preventivo presentado para el Filtro de Tela veremos que de realizarse la inversión en cambiar el Sistema Antiguo de Precipitación Electrostática por uno de Filtros de Tela, se incurrirían en gastos de Mantenimiento más bajos. Sin embargo, siendo este Precipitador Electrostático un equipo bastante depreciado (data de los años 60) la inversión en un nuevo sistema de Limpieza por Filtro de Telas no está justificado ya que dicha inversión inicial se recuperaría, en el mejor de los casos, en aproximadamente 40 años.

Cabe destacar que la presente propuesta no implica que los Precipitadores Electrostáticos sean unidades obsoletas o poco convenientes. El estudio y desarrollo de estas unidades sigue en escalada y de darse las condiciones de funcionamiento adecuadas el sistema de limpieza puede ser el más conveniente.

Finalmente se puede decir que para diseñar el sistema de Limpieza más adecuado para determinada aplicación será necesaria la participación de los especialistas químicos, metalúrgicos y mecánicos para que en conjunto evalúen lo más apropiado para el Tratamiento de dichos contaminantes.

COMPARACION ENTRE PROPUESTAS DE MANTENIMIENTO



BIBLIOGRAFÍA

FUNDAMENTOS Y MANTENIMIENTO EN PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS

BHA Group. – Kansas City, Missouri – www.bha.com

MANUAL DE FUNDAMENTOS Y MANTENIMIENTO EN FILTROS DE TELA

BHA Group. – Kansas City, Missouri – www.bha.com

PERRY MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO

Robert H. Perry, Sexta Edición (3ª Edición Español) Tomo V – páginas 20-110 al 20-136
Mc. Graw–Hill 1992 / Interamericana de México

EPA AIR POLLUTION CONTROL COST MANUAL

Sexta Edición – EPA/452/B-02-001 – Office of Air Quality Planning and Standards EPA
Research Triangle Park, North Carolina 27711 – Enero del 2002

STATIONARY SOURCE CONTROL TECHNIQUES FOR FINE PARTICULATE MATTER

EPA CONTRACT N° 68-D-98-026 – Air Quality Strategies and Standards Division
Research Triangle Park, North Carolina 27711 – Octubre de 1998

POWDER AND BULK ENGINEERING INTERNATIONAL

Revista Internacional – Volumen 5 – Número 4 – Páginas 22 al 29 – Julio del 2002

APÉNDICE A

FOTOS DE INSPECCIONES EN PES

Foto A.1

Distribución General de los Precipitadores Electrostáticos mostrando las unidades (paralelo) con sus respectivos campos (serie). El Transformador Rectificador es el de color verde.



Foto A.2

Ductos de Conexión al Transformador Rectificador en las unidades.

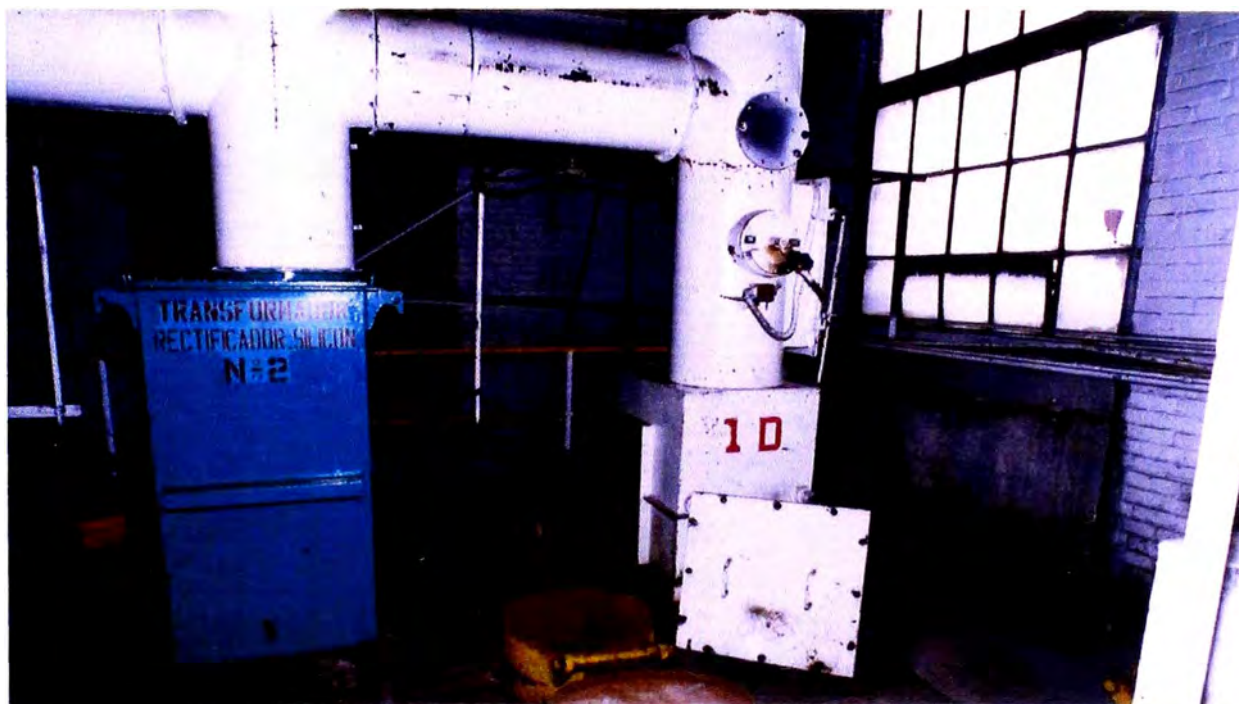


Foto A.3

El calentador (soplador color rojo y quemador en gris) evita la humedad en los aisladores.



Fotos A.4

Detalles del Interruptor en el Precipitador Electrostático.

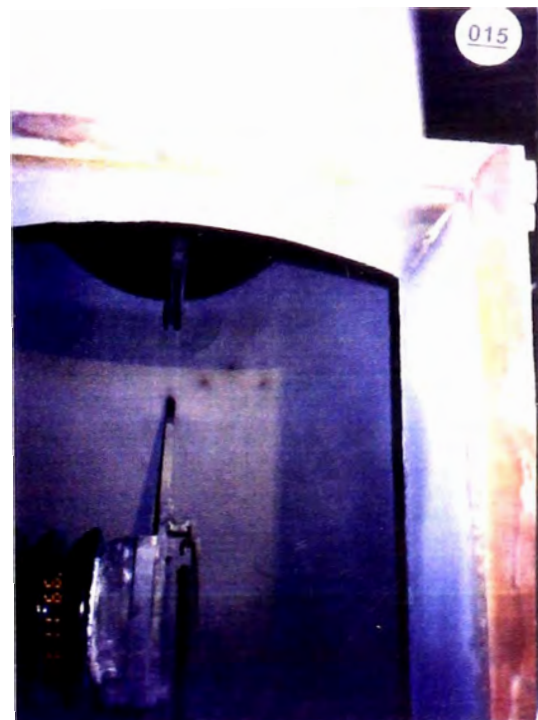


Foto A.5

Transformador Rectificador mostrando los Taps de conexión para sus 3 niveles de tensión.



Foto A.6

Aisladores base del castillo soporte de los electrodos de descarga.



Foto A.7

Vibradores Neumáticos de las Placas Colectoras.



Foto A.8

Placas Colectoras.



Fotos A.9

Vistas del Castillo Soporte de los Electrodo de Descarga.



Foto A.10

Distribución de los Electrodo de Descarga – Vista Superior.

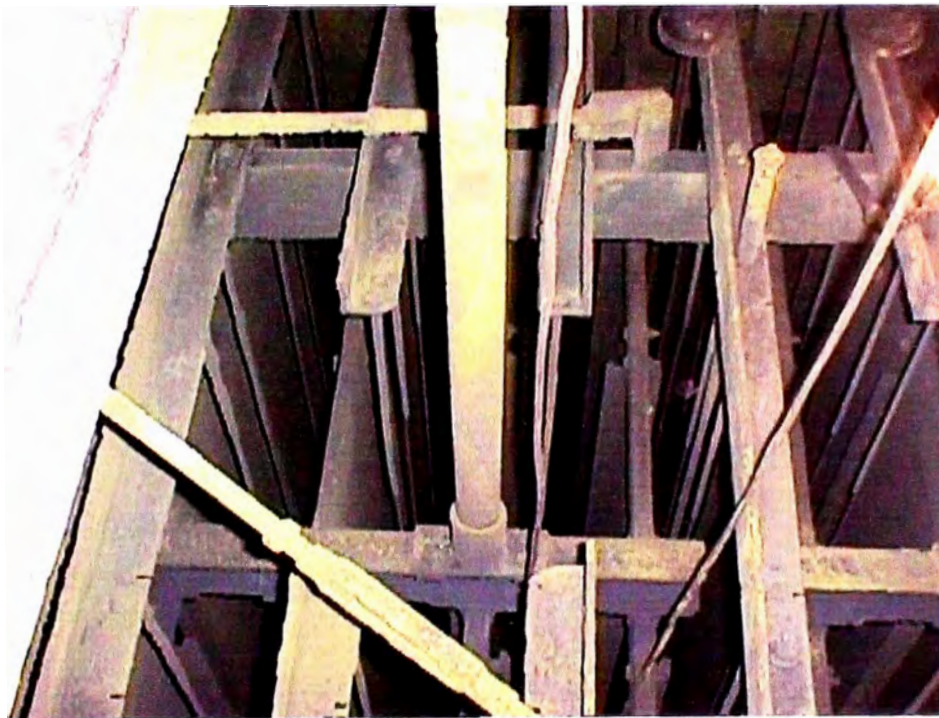
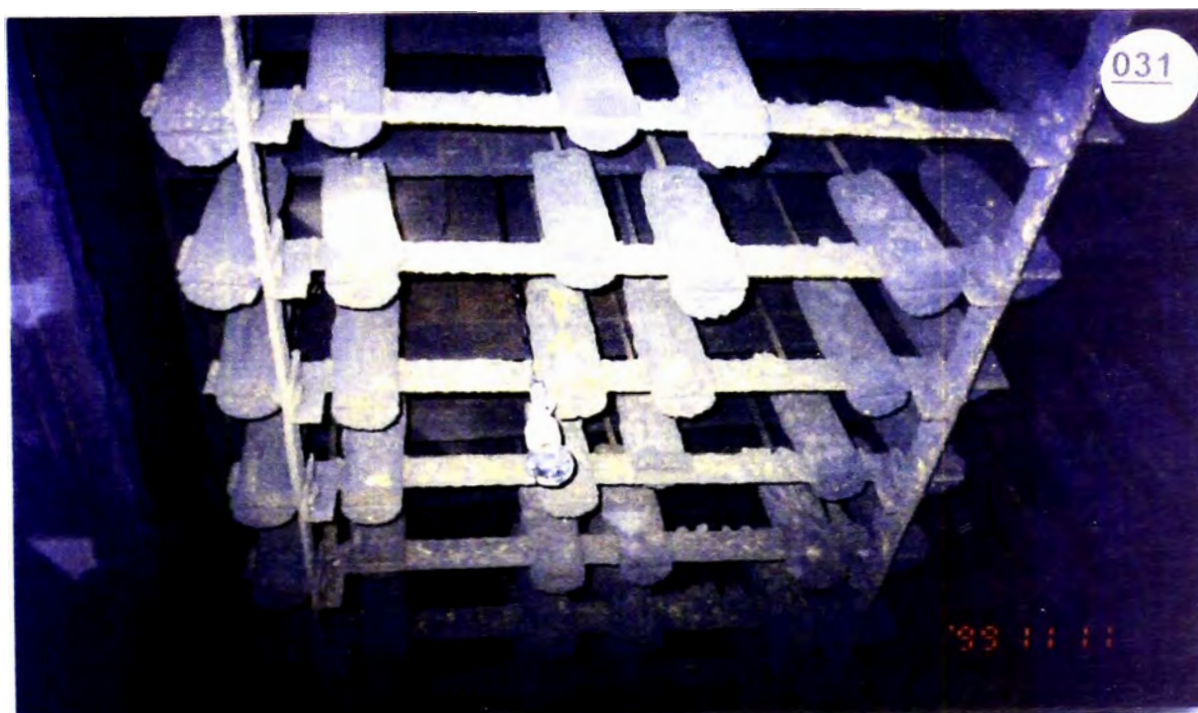


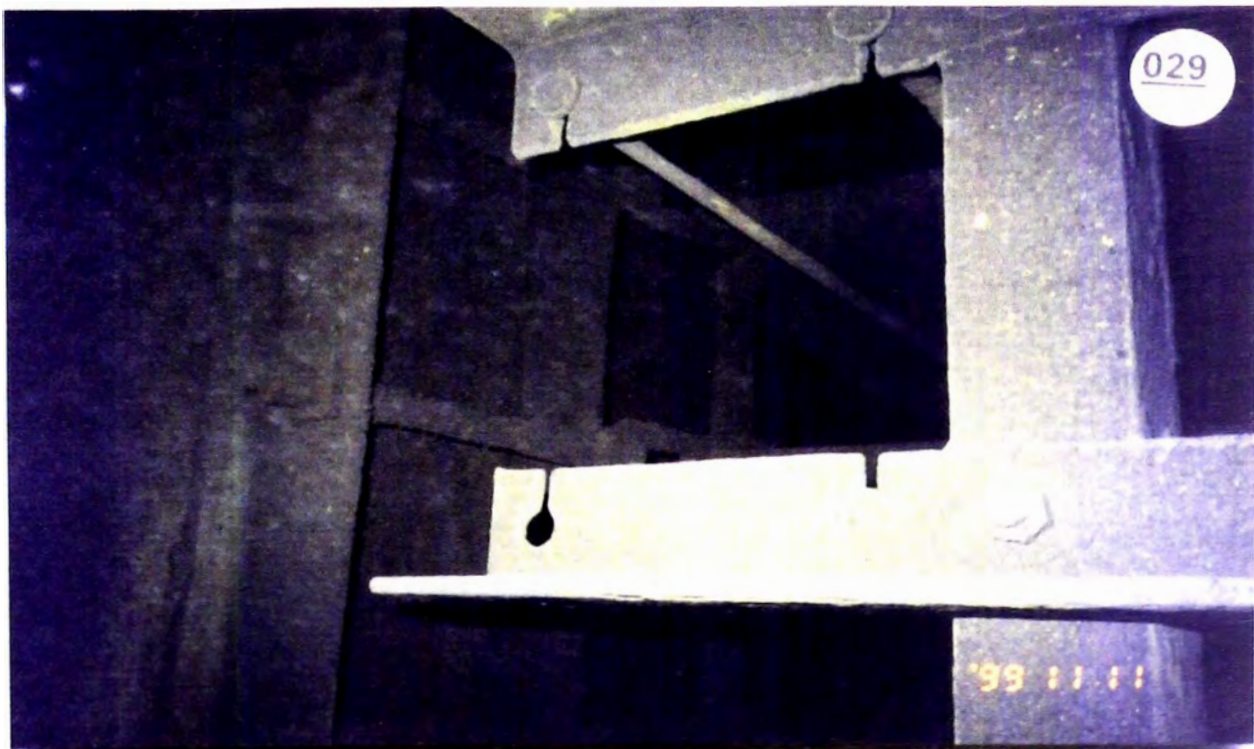
Foto A.11

Vista Inferior de los Electrodo de Descarga mostrando sus respectivos pesos.



Fotos A.12

Vistas de la Estructura soporte de las Placas Colectoras.



Fotos A.13

Agujeros en Placas Colectoras y Electrodo de Descarga desaparecidos.

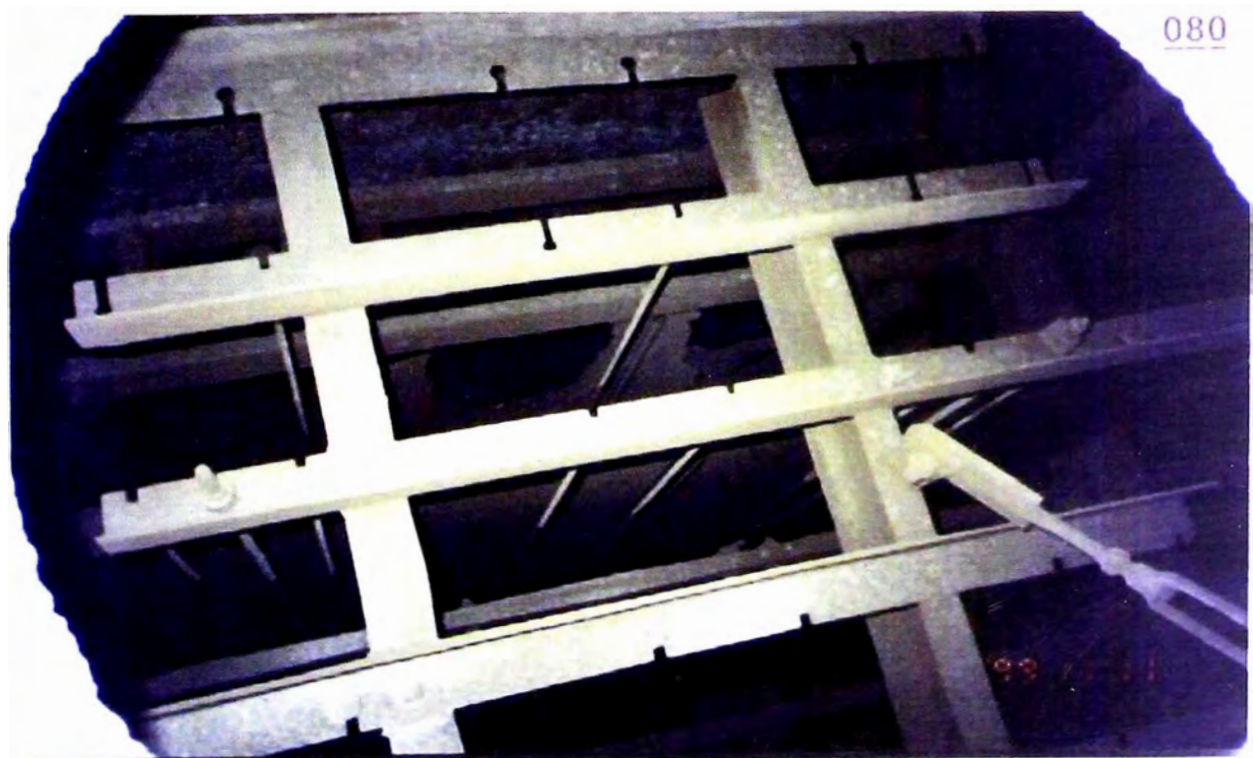


Foto A.14

Centro de Control y Mando.



Foto A.15

Transportador Sin Fin del material recuperado en las Tolvas.



Fotos A.16

Ductos de transporte de gases.



Foto A.17

Atomizadores (sprays) para el acondicionamiento de los gases.

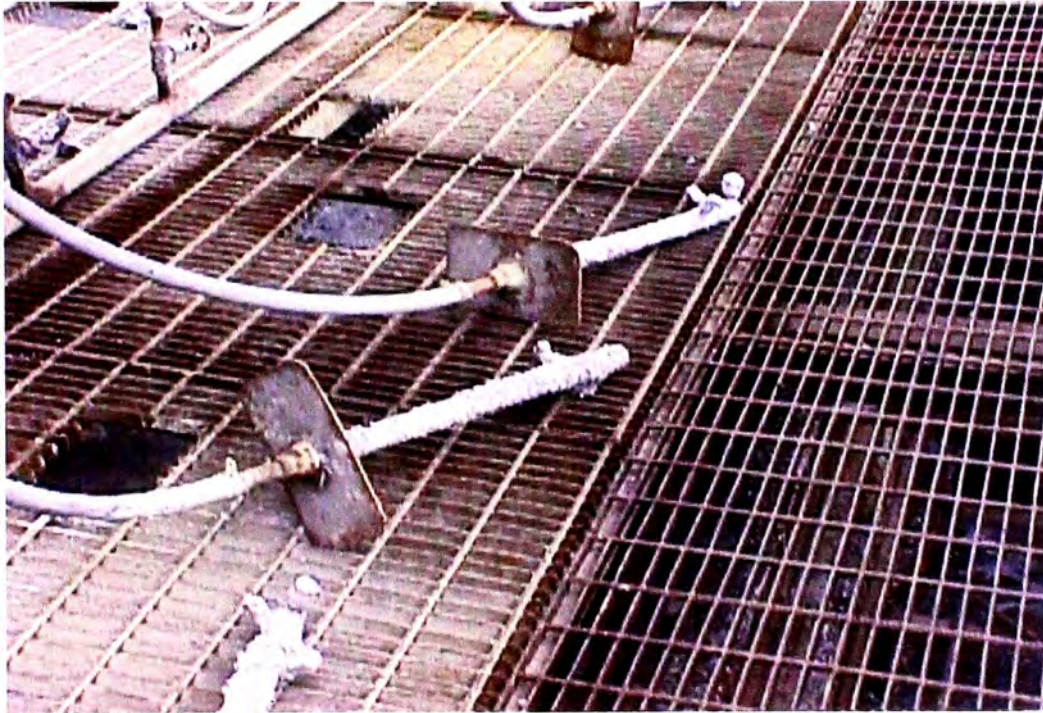


Foto A.18

Vista del Cottrell Central.

