

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería

Guía de operación y mantenimiento de Precipitador  
Electrostático (ESP), Clydebergemann India.

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por  
Edward Daniel Mata Estrada  
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en  
Tecnología Industrial

Guatemala,  
2017



**Guía de operación y mantenimiento de Precipitador  
Electrostático (ESP), Clydebergemann India.**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



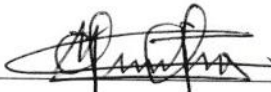
Guía de operación y mantenimiento de Precipitador  
Electrostático (ESP), Clydebergemann India.

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por  
Edward Daniel Mata Estrada  
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en  
Tecnología Industrial

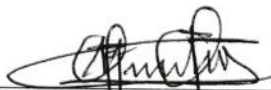
Guatemala,

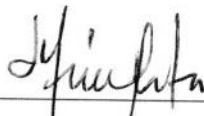
2017

Vo. Bo.:

(f).   
Ingeniero Sergio Barrera

Tribunal Examinador:

(f).   
Ingeniero Sergio Barrera

(f).   
Ingeniero Jorge Méndez

(f).   
Ingeniero Fernando Rivera

Fecha de aprobación: Guatemala, 19 de Enero 2017.

# ÍNDICE

LISTADO DE CUADROS.....	vii
LISTADO DE GRÁFICOS.....	viii
RESUMEN.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	2
III. JUSTIFICACIÓN .....	3
IV. MARCO TEÓRICO .....	4
A. INTRODUCCIÓN .....	4
B. DEFINICIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL PRECIPITADOR ELECTROSTÁTICO .....	4
1. Definición .....	4
2. Funcionamiento .....	5
C. TIPOS DE PRECIPITADORES MÁS COMUNES .....	6
D. COMPONENTES Y SISTEMA .....	7
1. Boquilla de entrada con placas de distribución. ....	7
2. Carcasa y elementos internos. ....	8
3. Electrodo colectores.....	10
4. Electrodo de descarga o Rigitrodes.....	11
5. PENT HOUSE .....	12
6. Tolda y accesorios.....	14
V. METODOLOGÍA .....	15
VI. RESULTADOS .....	17
A. PRECAUCIONES DE SEGURIDAD .....	17
1. Precaución general .....	17
B. GUÍA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	18
1. Procedimiento para poner en marcha el ESP.....	18
2. Procedimiento para apagar el ESP:.....	19
a) Precaución antes de entrar al PENT HOUSE.....	20
3. Inspección diaria. A raíz de las cosas que hay que hacer sobre una base diaria son:.....	21
4. Inspección de mantenimiento semanal: .....	21
5. Inspección de mantenimiento mensual: .....	22
6. Inspección de mantenimiento semi-anual:.....	22

a) ESP–techo frio: .....	22
b) Partes internas del PENT HOUSE: .....	22
c) Entrada boquilla y salida de la boquilla:.....	23
d) Paredes internas carcasa y ESP: .....	23
e) Tolva y sistema de manejo de ceniza: .....	24
C. QUÉ HACER Y NO HACER.....	24
1. Hacer .....	24
2. No hacer .....	25
D. GUÍA PARA DETERMINAR POSIBLES FALLAS ESP.....	26
1. Posibles fallas en base a lecturas eléctricas. ....	26
2. Problemas relacionados con tolva. ....	28
3. Distribución de gas y fugas de aire.....	28
4. Cambio de estado de entrada de gas. ....	28
E. Stock de repuestos críticos .....	29
VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	30
VIII. CONCLUSIONES .....	31
IX. RECOMENDACIONES .....	32
X. BIBLIOGRAFÍAS .....	33
XI. ANEXOS .....	34
A. Hojas de control del ESP:.....	34
1. TR-set: .....	34
2. Equipos eléctricos.....	34
XII. GLOSARIO.....	48

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Temperatura del azufre. ....	26
Cuadro 2. Lecturas eléctricas del TR-SET, fallos probables.....	26
Cuadro 3. Stocks repuestos críticos.....	29
Cuadro 4. Hoja de control del ESP.....	34
Cuadro 5. Hoja de control de equipos eléctrico.....	34
Cuadro 6. Hoja de ruta de marcha del ESP. ....	42
Cuadro 7. Procedimiento para apagar del ESP.....	43
Cuadro 8. Hoja de ruta de inspección diaria. ....	44
Cuadro 9. Hoja de ruta de inspección semanal.....	45
Cuadro 10. Hoja de ruta de inspección de mantto mensual.....	46
Cuadro 11. Hoja de ruta de inspección de mantto semi-anual.....	47

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfica 1. Precipitador electrostático.....	5
Gráfica 2. Vista típica de entrada recta.....	7
Gráfica 3. Vista típica de entrada superior.....	7
Gráfica 4. Vista típica del dispositivo de placa que cuelga de la recogida CBBC.....	7
Gráfica 5. Vista superior e inferior de los colectores.....	9
Gráfica 6. Módulo de electrodos colectores, no requieren soldadura. ....	9
Gráfica 7. Vista superior e inferior del Rigitrode con su apoyo. ....	10
Gráfica 8. Arreglo interno típico del PENT HOUSE. ....	11
Gráfica 9. Ventilador del aire de purga típica CBEEC.....	12
Gráfica 10. Filtro típico CBEEC purga de aire en la capilla. ....	12
Gráfica 11. Diseño de los Rapper.....	34
Gráfica 12. Planta de cogeneración.....	35
Gráfica 13. Paneles de Rappers, Hopper, TR-set.....	36
Gráfica 14. Panel de los TR-set 1,2.....	37
Gráfica 15. Panel de los TR-set 3,4.....	38
Gráfica 16. Panel de control de Rappers.....	39
Gráfica 17. Vibradores de la tolva.....	40

## RESUMEN

En este trabajo se dará a conocer una guía de operación y mantenimiento del precipitador electrostático (ESP) ClydeBergemann India, en respuesta a los diversos problemas que se presentan en la planta de cogeneración del Ingenio Palo Gordo, tales como la ineficiencia en la operación del dispositivo por alta rotación de personal, excesivos gastos de asesoría técnica y falta de parámetros o especificaciones técnicas para que funcione el ESP en condiciones óptimas.

La guía describe las partes eléctricas y mecánicas que integran el equipo de filtrado y su correcto funcionamiento con el afán de buscar la mejora continua de los procesos generación para volverlos más eficientes. Da a conocer los problemas más comunes que se presentan en el momento de operación permitiendo definir el procedimiento a seguir para solventarlos cuando estos ocurran. Indica las pautas que deben cumplirse para darle un correcto mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo al equipo desde la solicitud de la reparación o intervención mecánica eléctrica de un operario hasta tener en el inventario un stock de repuestos críticos, todo para no afectar la generación de electricidad por quema de carbón mineral y bagazo de caña con paros fortuitos. Es también una propuesta para mejorar la eficiencia de procesos productivos de otras industrias que tengan un proceso de filtrado de partículas y utilicen un precipitador electrostático para realizarlo, con beneficios económicos y ambientales significativos para la empresa y la comunidad donde este instalada la planta.

# I. INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo de graduación desarrolla una guía de operación y mantenimiento de un precipitador electrostático (ESP) utilizado por una generadora de electricidad en la costa sur de Guatemala a base de quema de carbón mineral. Este equipo industrial captura la ceniza producidos por la combustión del carbón mineral en la caldera, material particulado que resulta dañino para la salud de las personas, animales y plantas, y muchas veces también entorpecen el buen funcionamiento del equipo. La guía da respuesta a la necesidad que tiene la empresa de asegurar el buen funcionamiento del ESP y al mismo tiempo cumplir con los más altos estándares del ambiente.

En la elaboración de la guía se determinan los parámetros críticos que afectan el funcionamiento del ESP con la finalidad de establecer los principales problemas que pueden ocurrir en su uso y así tener un inventario que tenga los repuestos críticos de la máquina. Al tener los repuestos disponibles se puede realizar un mantenimiento correctivo sin demoras y con la descripción del equipo y los principios bajo los cuales funciona el ESP se asegura que los operarios de la maquinaria y los mecánicos hagan un buen uso del mismo.

En el trabajo se utiliza una metodología cualitativa descriptiva que utiliza la observación y la entrevista como principales técnicas para la recolección de la información.

La primera parte de este estudio describe la teoría básica del precipitador electrostático, las partes eléctricas y mecánicas que integran el equipo y su correcto funcionamiento. En las siguientes secciones se indican los procedimientos que deben seguirse para operar y dar un correcto mantenimiento al equipo, con los principales problemas que se pueden presentar y lo que el operario tiene que hacer y no hacer.

Finalmente se concluye que dos de los principales problemas que deben controlarse en el momento de la operación del ESP son el reingreso de las partículas a la corriente de gas que sale de la caldera una vez éstas se hayan capturado por el precipitador y el efecto disminuye la eficiencia del equipo. Esto se logra controlar, por el alto grado de automatización que tiene el equipo y solamente requiere que el operador tome los registros de los controladores de los tableros electrónicos para que se cumplan con los parámetros establecidos.



## II. OBJETIVOS

### A. General

Determinar los parámetros críticos que afectan el funcionamiento óptimo del precipitador electrostático para garantizar la continuidad del proceso de generación eléctrica.

### B. Específicos

- Comprender la teoría de la precipitación electrostática y su relación con los componentes del equipo usado en el control de material particulado que se produce en el proceso de generación eléctrica.
- Diagnosticar las condiciones de operación y mantenimiento actuales que tiene el precipitador electrostático.
- Evaluar los registros y hojas de control de la operación del equipo.
- Definir el stock de repuestos críticos para asegurar el mantenimiento correctivo o preventivo del equipo de una forma inmediata.
- Elaborar una guía de operación y mantenimiento del Precipitador Electrostático (ESP) que incluya los principales problemas típicos que se presentan en su funcionamiento y especificar los diferentes sistemas que conforman sus principales componentes y su equipo auxiliar.

### III. JUSTIFICACIÓN

La guía del ESP es necesario elaborarla por las siguientes razones:

- El manual técnico proporcionado por el fabricante del equipo no especifica cómo se debe realizar el mantenimiento correctivo y preventivo del equipo, ya que este solo da a conocer las partes que lo componen y una breve descripción de su funcionamiento.
- Es un material escrito que indicará cómo realizar la correcta operación y mantenimiento del precipitador electrostático (ESP) en la planta de cogeneración por quema de carbón mineral o bagazo de caña, reduciéndose de esta manera los problemas ocasionados en la operación del equipo con nuevo personal en proceso de capacitación. También se reducen las pérdidas económicas por fallos inesperados o por el pago de horas extras innecesarias por la deficiente operación del equipo.
- Mejorar el proceso de gestión para dar mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo del electrofiltro o ESP.
- Asegurar el cumplimiento con normas internacionales de emisión de gases o partículas al ambiente para no afectar la calidad del aire. Esto redundará en la disminución de enfermedades respiratorias de trabajadores o personas que vivan en comunidades aledañas a la planta de generación eléctrica

## IV. MARCO TEÓRICO

### A. INTRODUCCIÓN

En la actualidad se hace necesario el control de las partículas contenidas en el gas emitidas al ambiente por un proceso de generación eléctrica, para que no se contamine el aire y no lleguen a acumularse en concentraciones lo suficientemente altas en la atmósfera terrestre sustancias dañinas que afectan la salud humana o el bienestar de animales, plantas u otros bienes materiales. Los principales contaminantes del aire son: Materia particulada (MP), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), compuestos orgánicos volátiles (VOCs) y monóxidos de carbono (CO) y estos a su vez pueden ser primarios si se emiten directamente al aire o secundarios cuando son el resultado de reacciones que ocurren en la atmósfera.

Para el control de las emisiones se utilizan diferentes métodos y dispositivos dependiendo de las características de la emisión. Es de nuestro particular interés el uso de precipitadores electrostáticos (ESP) ya que es el equipo más simple y barato que incorporan las industrias generadoras de electricidad a base de carbón. Estos se incorporan después de la caldera para filtrar las partículas que van en los gases de combustión por la quema de carbón mineral (**ver Gráfica 12 en anexo**).

Los precipitadores electrostáticos al igual que otros dispositivos de control de material particulado tienen como finalidad principal atrapar la mayor cantidad de material potencialmente dañino en las emisiones de gases producidos en la generación eléctrica. Es por esta razón que se hace necesario mejorar su eficiencia de recolección a través de la operación y mantenimiento adecuados para que el equipo funcione en condiciones óptimas.

### B. DEFINICIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL PRECIPITADOR ELECTROSTÁTICO

1. **Definición.** Dispositivo electromecánico que se utiliza para el control de partículas usando fuerzas eléctricas para retirar las partículas cenizas de la corriente de gas y hacia las placas del colector. El campo eléctrico que guía las partículas cargadas hacia las paredes, proviene de electrodos que se mantienen a un alto voltaje en el centro de la línea de flujo. Estas partículas luego son removidas sin que se vuelvan a reintroducir en la corriente de gas por un golpeteo constante y en diferentes puntos de las placas colectoras, para que se deslicen hacia una tolva desde la cual son evacuadas.

2. **Funcionamiento.** El funcionamiento del precipitador electrostático consta de tres pasos fundamentales:

- (I) carga de partículas.
- (II) recolección de partículas.
- (III) La eliminación del polvo recolectado.

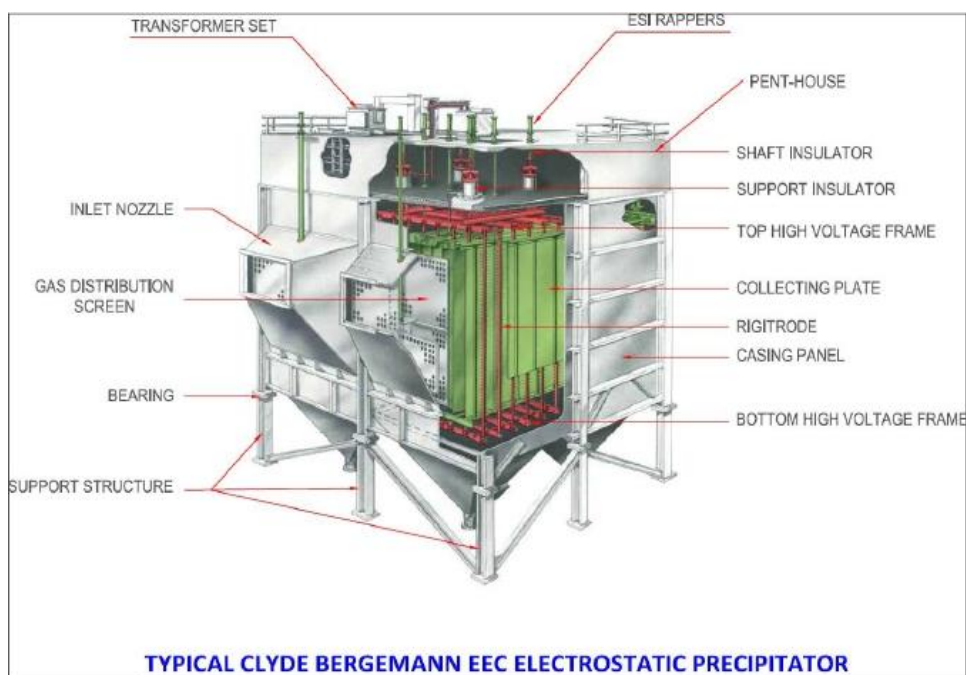
La carga de partículas en los ESP se lleva a cabo por medio de una carga positiva y negativa, llevando una tensión de Corriente Directa (DC), aplicada a los electrodos de descarga colocados entre electrodos colectores. Los electrodos de descarga de diseño ClydeBergemann están en forma de picos afilados soldados a las tuberías largas, colocados a lo largo de la altura del campo, mientras que los electrodos colectores se perfilan placas, eléctricamente a tierra de tensión cero. Cuando la tensión alta DC se aplica al espacio entre el electrodo colector y electrodo de descarga, se hace lo siguiente. **(para una mejor observación del precipitador ver la siguiente imagen).**

- Se produce un campo eléctrico de alta resistencia entre el electrodo de descarga y en el electrodo colector.
- El campo eléctrico de alta resistencia en la proximidad del electrodo de descarga produce un gran número de electrones que se emite a una velocidad muy alta.
- Tales electrones de alta velocidad bombardean las moléculas de gas cerca de los electrodos de descarga y producen muchos más electrones que son relativamente más bajos en la velocidad.
- Los electrones secundarios generados de esta manera aún más bombardean más moléculas de gas y esta serie de acontecimientos continúan hasta que los electrones generados pierden mucha energía y no son más capaz de generar un electrón más.
- Al final del proceso anterior, el espacio entre el electrodo está lleno de un mar de electrones que migran a la placa a lo largo de la dirección de las líneas de campo eléctrico.
- Durante la migración a los electrodos colectores de algunos de los electrones libres se ionizan las moléculas gas y producen iones negativos.
- Algunos de los iones de gas cargados negativamente se adhieren a sí mismos a las superficies de las partículas de polvo en los gases de combustión y provoca que las partículas de polvo que poseen superficies cargadas

negativamente, las partículas de polvo viajan hacia los electrodos puestos a tierra y al llegar a las placas, pierden su carga y se convierte en neutral. Una buena parte de tales hace que el polvo se pegue a la placa a causa de la atracción causada por algunas cargas residuales, así como, entre fuerzas adhesivas moleculares.

- El polvo recogido se retira periódicamente por golpear los electrodos colectores en un contador de tiempo operación basada de lo que se conoce como los Rapper. (Para una mejor observación de los Rappers ver la Gráfica 11 en anexos).

Gráfica 1. Precipitador electrostático.



Fuente: Ing. Palo Gordo S.A.

## C. TIPOS DE PRECIPITADORES MÁS COMUNES

1. Placa-Alambre: En ellos el gas fluye entre placas paralelas de metal y electrodos a alto voltaje. Estos electrodos son alambres largos con pesas, que cuelgan entre las placas o están soportados por estructuras fijas. Se utilizan principalmente en calderas que queman carbón, hornos de cemento, incineradores, unidades de refinación de petróleo, etc.
2. Placa-Plana: Funcionan de manera similar que los precipitadores de placa-alambre, solamente que en lugar de alambres para los electrodos a alto voltaje usa placas planas que incrementan el campo eléctrico promedio, aumentan la superficie de recolección de partículas, operan bien con polaridad positiva o negativa y con poca o ninguna corriente de corona.
3. Tubulares: Estos precipitadores se usan ampliamente en plantas de adición de ácido sulfúrico, de sinterización de hierro y acero, y en hornos de coque. Los tubos pueden tener forma como de panal circular, cuadrado o hexagonal con el gas fluyendo hacia arriba o hacia abajo como una unidad de una sola etapa, atravesando la región del electrodo a alto voltaje en toda la longitud del tubo.

## D. COMPONENTES Y SISTEMA

Básicamente el precipitador está conformado por todas las placas de acero y barras de soporte usadas para cubrir y soportar, a los electrodos y sus componentes, en un marco rígido para mantener el alineamiento y configuración adecuada de los electrodos. También la fuente de poder de alto voltaje que incluye transformadores/rectificadores (ver Gráfica 13 en anexos), controles de voltaje automáticos, reactores limitadores de corriente y rectificadores controlados de silicón.

1. Boquilla de entrada con placas de distribución de gas. Este es el componente principal del ESP en el lado de la entrada. El gas de combustión en el conducto de entrada se desplaza a una velocidad (típicamente de aproximadamente 15 m/s) demasiado grande para la operación del ESP. Las velocidades dentro del ESP tienen que ser mucho más bajas (alrededor de 1 m/s, o inferiores) de garantizar un adecuado tratamiento electrostático. La reducción de velocidad es conseguida a través de la sección transversal del área del cono conformado de la boquilla, la cual se incrementa en la dirección del flujo de gas. Para una observación de las diferentes entradas ver la gráfica siguiente.

Puede haber diferentes tipos de entradas de gas en un ESP, así como:

- Entrada superior
- Entrada inferior
- Entrada lateral
- Entrada recta

Gráfica 2. Vista típica de entrada recta.



Fuente: CLYDEBERGEMANN INDIA.

Gráfica 3. Vista típica de entrada superior.



Fuente: CLYDEBERGEMANN INDIA.

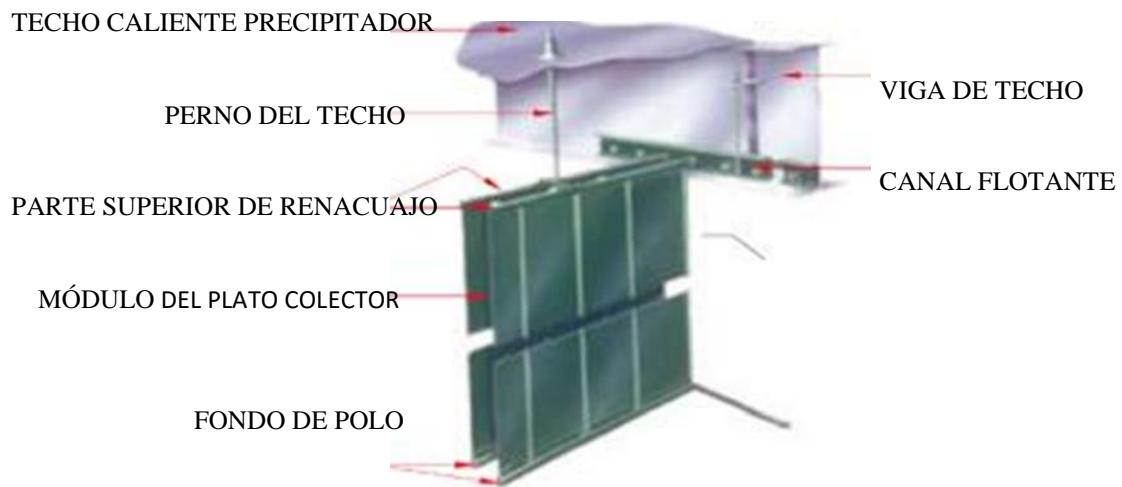
En cada uno de los tipos anteriores el objetivo básico es reducir la velocidad del gas de combustión. Por lo tanto, boquillas en forma de cono de alguna forma, el tamaño y la orientación tendrán que estar presentes en la entrada para lograr esto.

Otro aspecto importante a tener es asegurar el flujo de gas uniforme dentro de la zona de tratamiento del ESP. Para lograr esto varios tipos de dispositivos de corrección de flujo de gas como paletas, paletas de giro del divisor, hojas perforadas etc. La orientación y el número de dichas placas están determinados por el tipo de entrada.

Comprobarán la uniformidad del flujo de gas antes de la puesta. En ella se puede requerir alguna pequeña corrección que se hará en la porosidad (apertura fraccional) de las láminas perforadas.

**2. Carcasa y elementos internos.** La carcasa del ESP es un recinto cerrado rectangular donde se contiene los electrodos y todos los componentes internos. **Ver la siguiente gráfica.**

Gráfica 4. Vista típica del dispositivo de placa que cuelga de la recogida CBBC.



Fuente: CLYDEBERGEMANN INDIA.

Los electrodos colectores y electrodos de descarga son soportados desde la parte superior puesto que los elementos cuelgan verticalmente bajo la fuerza de la gravedad. Esto permite que los elementos que se expanden o contraen con los cambios de temperatura no tengan trabas ni distorsiones. **Para una mejor observación ver la gráfica siguiente.**

Estructuras de soporte y fundaciones de todo el precipitador y la conexión de los conductos están diseñados adecuadamente para las cargas. La estructura de soporte es especialmente crítico para los precipitadores calientes debido a las grandes expansiones de temperatura de los componentes del precipitador. tensiones excesivas de temperatura, literalmente, puede desgarrar la cáscara y la tolva juntas y soldaduras.

Los depósitos, tolvas y conductos de conexión deben ser cubiertas con aislamiento para conservar el calor y para evitar la corrosión debido a la condensación de la humedad y el ácido en los componentes internos del precipitador. Aislamiento también ayudará a minimizar las tensiones diferenciales de temperatura, especialmente en los precipitadores del lado caliente. tolvas de cenizas deben ser aislados y con calefacción.

Cenizas volantes en frío tiene una tendencia a volverse sólidas, por lo que la eliminación extremadamente difícil.

El diseño del precipitador proporciona un fácil acceso a los puntos estratégicos del colector. Esto permite la inspección interna de la alineación de electrodo; facilita el mantenimiento y permite la limpieza de los electrodos, tolvas y conductos de conexión durante la interrupción.

Principales componentes encerrados en la caja son:

- Extremo superior de los paneles y vigas de soporte del techo.
- Paneles extremo inferior y vigas de soporte de tolvas.
- Pernos de techo.
- Canales flotantes que soportan electrodos colectores.
- Electrodos colectores con soporte inferior y superior.
- Marco de alta tensión.
- Electrodos de descarga.
- Marco Guía inferior para electrodo de descarga.

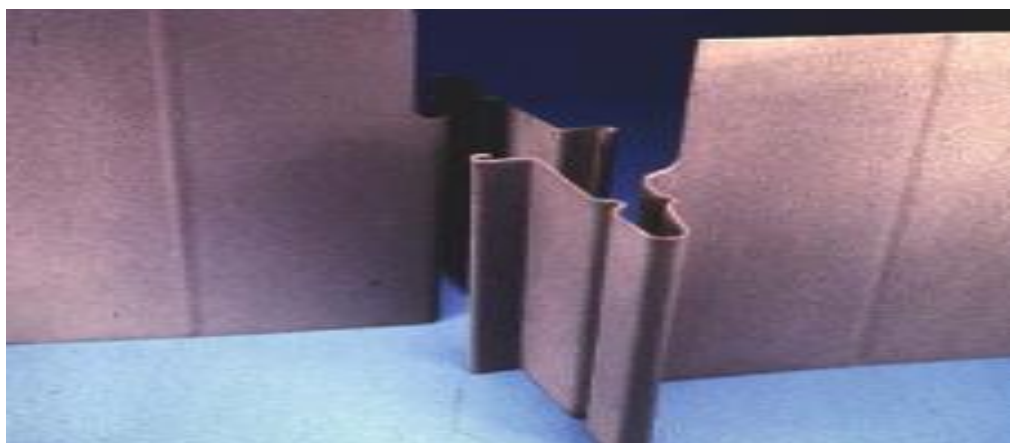
Gráfica 5. Vista superior e inferior de los colectores.



Fuente: CLYDEBERGEMANN INDIA.

3. Electrodo colector. Electrodo colector son usados para una gran capacidad de volumen de gases y grandes eficiencias de recolección. Las placas son fabricadas generalmente de acero al carbono. El rango de espesor de las placas va de 1 mm a 1,6 mm. Las placas están espaciadas a 300 o 400 mm de distancia. Normalmente el Espaciado para unidades de alta eficiencia es de 400 mm. Las placas están usualmente en el rango de 6 a 15 m de altura. Consisten en placas de lámina sólida con refuerzos estructurales. En algunos diseños de los refuerzos tienen contornos diseñados para mejorar el flujo de gas y para reducir la turbulencia en los espacios de los recolectores cerca de las superficies de las placas. Los deflectores se utilizan comúnmente para minimizar las pérdidas de partículas por arrastre. La rigidez estructural de las placas es suficiente para mantener la distancia entre electrodos. Electrodo torcidos o mal alineados contribuyen a la reducción de voltajes de operación y perdidas en la eficiencia de recolección. **En la gráfica siguiente se observa la base del electrodo colector.**

Gráfica 6. Módulo de electrodos colectores, no requieren soldadura.



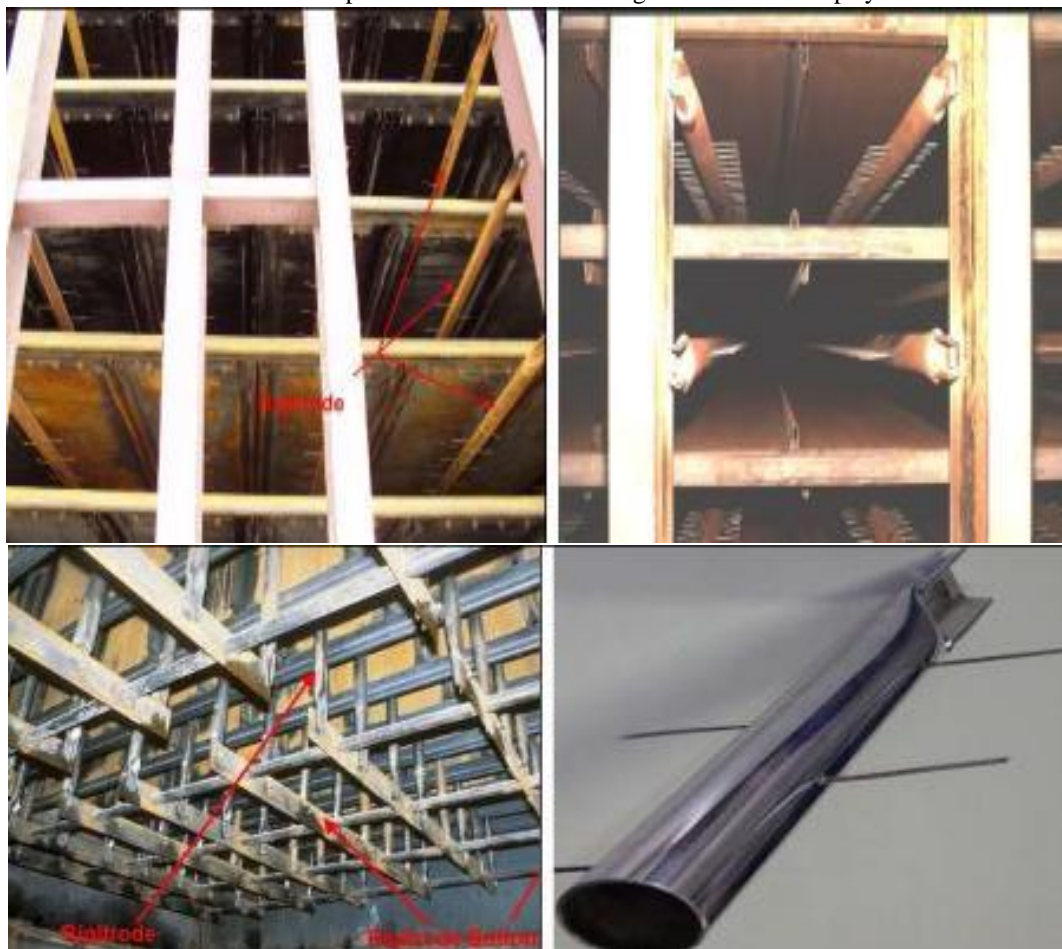
Fuente: CLYDEBERGEMANN INDIA

4. Electrodo de descarga o Rigitrodes. Están hechos de tubo rígido REG (IS 3601) con los pernos escalonados soldados a la misma. Se patentó como Rigitrode. Los bordes afilados proporcionan una excelente propiedad para la descarga de electrones. El electrodo de descarga (RIGITRODE) posee excelentes características de rendimiento en una amplia gama de aplicaciones. **En la gráfica siguiente se podrá observar los Rigitrodes.**

Otras características de Rigitrode son:

- Matriz estructural rígido.
- Fabricado a partir de una tubería estructural con pines uniformemente espaciadas para optimizar la relación tensión / corriente.
- Espárragos suaves para evitar agrietamiento por fatiga.
- Configuración de diseño minimiza la formación de arco y permite que la tensión considerablemente este elevada antes de que la chispa se produce más.

Gráfica 7. Vista superior e inferior del Rigitrode con su apoyo.



Fuente: CLYDEBERGEMANN INDIA.

5. PENT HOUSE: Es la carcasa que va justo por encima de la cubierta principal. Mientras que la carcasa principal expuesta a procesar gases de combustión, el pent house se presuriza con aire limpio del ambiente. (Ver Gráfica siguiente).

Gráfica 8. Arreglo interno típico del PENT HOUSE.



Fuente: CLYDE BERGEMANN INDIA.

Varios componentes vitales son colocados en el Pent House como:

- Aisladores de soporte (esto puede ser 2 por campo o 4 por campo dependiendo del tamaño del campo.)
- Plato de desplazamiento de la base de apoyo para los aisladores metálicos o no metálicos juntas colocado en la parte superior e inferior de los aisladores de soporte.
- Suspensión de la placa base con hiperbólicos tubos.
- Las placas del aislante de la brida con los codos proporcionados a 120 grados de distancia y en la misma dirección para la limpieza interior del aislador de soporte en las condiciones de rodaje.
- Triple retención de muelle, junto con los resortes se prevé la realización del electrodo de descarga completa en forma de matriz.
- Eje aislante para el aislamiento de la alta tensión negativa del ESP y los sistemas Rappers.
- La barra de golpeo de acoplamiento entre la barra y los aisladores de alta tensión de eje.
- Bota de ensamblaje de montaje para los electrodos colectores.

La altura, si el Pent House es de alrededor de 1,8 a 2 metros. Esto siempre se pone a presión positiva a través del soplador de aire de purga proporcionada en la parte fría del techo del ESP. Las posiciones o ubicaciones de los componentes principales se pueden observar en las siguientes gráficas.

Gráfica 9. Ventilador del aire de purga típica CBEEC.



Fuente: CLYDEBERGEMANN INDIA.

Gráfica 10. Filtro típico CBEEC purga de aire en la capilla.



Fuente: CLYDEBERGEMANN INDIA.

6. Tolva y accesorios. Las tolvas están hechas de placas de acero al carbón (IS 2062), de 4 mm / 5 mm / 6 mm de espesor. Que convergen hacia abajo y proporcionan alcanzar un punto de descarga para el polvo desprendido de los colectores. La tolva nunca debe utilizarse como dispositivos de almacenamiento para el polvo recogido de ESP. Sistemas de eliminación de cenizas continuas o inadecuadas no pueden permitir acumulaciones en las tolvas de punto de desbordamiento.

Las principales causas de los problemas de eliminación de cenizas se encuentran la temperatura baja de gas (esto promueve la condensación de la materia condensables del vapor de agua libre), un aislamiento insuficiente, calor en la tolva, obstrucciones internas, las fugas de aire, funcionamiento incorrecto de los vibradores, ángulos poco profundos, detectores de nivel defectuosos y las fallas del sistema de evacuación.

La fuga de aire es más común en las puertas de acceso y en las válvulas de descarga. Empaques de las puertas de acceso dañadas por lo general por un apriete excesivo, y por lo tanto deben ser inspeccionadas regularmente y deben ser sustituidas en caso de desgaste. Válvula de descarga y compuertas deberán ser revisadas por erosión y reemplazadas en caso de fugas de aire puede ser escuchado en esta zona durante el funcionamiento normal.

Los vibradores, si se utilizan, nunca deben ser operados cuando la descarga de polvo se detiene en cualquier momento. Los interruptores de nivel se colocan en la tolva para la detección de niveles altos y de disparo transformadores de voltaje, para retrasar aún más la acumulación (**Ver Gráfica 17 en anexos**). En caso de los reflectores de la tolva, interruptores de nivel se pueden proporcionar a ambos lados de la tolva.

Calentadores de la tolva son una manera eficaz para asegurar que cuando la parte inferior de las placas de la tolva siempre se mantiene caliente por lo que no hay condensación de la humedad y el endurecimiento de polvo que establece que se asiente en las paredes interiores de la tolva.

Hacer agujeros es útiles para romper manualmente la posible de formación de grumos y que la garganta de la tolva se libera de asfixia. Lo importante para recordar es que la tapa del orificio del empuje se sustituye después de su uso de manera que no hay fugas de aire se lleva a cabo.

Componentes principales son:

- Placas deflectoras de la tolva.
- Equipos eléctricos como calentador del tanque, sondas interruptor de nivel, vibradores, puerta deslizante, válvulas de bloqueo de aires rotativos, paneles de Rappers, paneles de los TR-set, paneles de control de Rapper. (**Para una mejor vista de estos equipos ver anexos Gráfica 14, 15,16**).

## V. METODOLOGÍA

Las estrategias, métodos y procedimientos seguidos para la elaboración de la guía de operación y mantenimiento con la finalidad de alcanzar los objetivos planteados en este trabajo de graduación son los siguientes:

### A. Tipos de datos y población-muestra

La población estudio está integrada por 6 operarios de máquina, 6 técnicos de mantenimiento, 1 supervisor, 1 jefe de mantenimiento, el precipitador electrostático y los paneles de TR-set.

Los datos que se obtienen son de tipo cualitativo descriptivo en cuanto al proceso de funcionamiento del equipo estudiado a lo largo del primer semestre de 2016.

### B. Estrategias para recolectar y registrar datos

1. Consultas bibliográficas de la teoría básica del precipitador electrostático utilizado en una industria de generación eléctrica por quema de hidrocarburos. Entre los principales resultados obtenidos en la revisión de la literatura correspondiente al funcionamiento de los precipitadores electrostáticos resulta importante resaltar que este debe alcanzar su mayor eficiencia si se cumplen a cabalidad los pasos de generación de campo eléctrico, generación de cargas eléctricas, transferencia de cargas eléctricas a las partículas de polvo que se encuentran en los gases de combustión, migración de las partículas de polvo cargadas al electrodo colector con su respectiva adhesión a la misma y la separación de la capa de polvo de la superficie de la placa colector. Se observó y verificó que la temperatura de entrada y salida de los gases de combustión al ESP es un parámetro indicador de la eficiencia y muestra si el dispositivo cumple con los pasos de funcionamiento recomendado por la teoría.

2. Uso de la técnica de observación documental y observación directa, que consistió en la revisión de los documentos tales como las hojas de control operativo y de mantenimiento (ver con más detalle en anexos Hojas de control ESP) correspondientes al período de enero a junio de 2016. Además de las situaciones de la realidad necesarias para la obtención de los datos requeridos en la ejecución de las actividades de mantenimiento y operación del dispositivo. En la observación de las principales hojas de control resultó clave llevar el historial de las lecturas eléctricas TR-set, porque posibilita de una manera rápida detectar las posibles fallas que están afectando el normal funcionamiento del equipo y sus sistemas componentes. Dichas fallas dependen de las posibles combinaciones que se dan entre la tensión y la corriente tanto primaria como secundaria.

Los principales problemas de eliminación de cenizas tales como temperatura baja del gas de combustión (por la condensación del vapor de agua libre y otros materiales condensables), aislamiento insuficiente, calor en tolva, obstrucciones internas, fugas de aire, funcionamiento incorrecto de vibradores, ángulos poco profundos, detectores de nivel defectuosos y fallas del sistema de evacuación; pueden darse por diferentes factores por lo que el jefe de mantenimiento de la empresa es riguroso en el cumplimiento de los protocolos de protección personal, apagado, mantenimiento y encendido de la maquinaria. El ejemplo más descriptivo que se observó y quedó anotado en la bitácora del responsable de mantenimiento del equipo es el famoso cortocircuito que se produce en los equipos que utilizan electricidad y que las causas probables son: desalineación del precipitador, falla interna de cortocircuito, conexiones HT, cerrado de interruptores de tierra, alto nivel de polvo en tolvas entre otras. El mecánico tiene que descartar una por una hasta determinar la verdadera causa del fallo.

3. Aplicación de entrevistas estructuradas a los operadores y encargados de mantenimiento para describir el funcionamiento actual del equipo y así detectar las fallas más comunes que se presentan. Las principales fallas son tipo eléctrico y por tal razón los repuestos críticos son tarjetas electrónicas de los Rappers y del TR-set.

4. En el registro de la información se utilizó notas de campo, grabaciones de audio, minutas y bitácoras de los responsables de operación y mantenimiento del equipo. Estas técnicas de recolección de información se utilizaron como se indicó en el numeral dos de esta sección y las visitas o revisiones de la documentación en planta se hizo con una frecuencia de por lo menos dos al día. Para comprender el funcionamiento del sistema de Rapper del ESP se hizo necesario grabar con el teléfono los sonidos del proceso de golpeteo para que las partículas capturadas de los humos de la combustión cayeran a las tolvas y no detuvieran el proceso de adhesión de las partículas cargadas a las placas colectoras.

5. Procesamiento de datos. Uso del programa de Excel de Microsoft para analizar los datos obtenidos en las entrevistas y hojas de control operativo para determinar los parámetros óptimos de operación, diagnóstico inicial del funcionamiento del equipo y su eficiencia en cuanto a la remoción de material particulado dañino. También se usó la estadística descriptiva para llevar el recuento de los problemas más comunes presentados en el funcionamiento del ESP. En esta fase de la metodología se organizó la información recopilada en tablas según el tipo de lectura eléctrica realizada para determinar las probables fallas y sus causas.

## VI. RESULTADOS

### A. PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

1. Precaución general. Los peligros comunes que están asociados con la inspección, mantenimiento o reparación de los ESP y con lo cual los individuos o personal que llevan a cabo los trabajos deberán estar protegidos contra:

- Las descargas eléctricas.
- Incendio y explosión.
- La deficiencia de oxígeno en espacios confinados.
- Gases tóxicos.
- Las superficies calientes y polvo caliente.
- La exposición a la asfixia, irritantes y/o polvo tóxico.
- Impacto contra superficies duras y afiladas.

Los pasos necesarios que deben tomarse antes de entrar en el ESP son:

- Asegúrese de que se siga el procedimiento de la llave de bloqueo. El bloqueo de llave está diseñado específicamente para la seguridad de trabajo del Personal en el ESP, tal que ningún miembro del personal tendrían acceso a menos que el ESP este apagado y conectado a tierra. Por la lógica inversa, el sistema también se asegura de que todas las puertas de acceso deben estar cerradas y puestas a tierra antes de que el ESP pueda estar encendido.

Nota: No anule el sistema.

- Asegúrese de que todos los equipos alimentadores eléctricos relacionados con el ESP desde el panel de MCC como, Ventilador de tiro, de purga de aire del ventilador, etc. Está en estado apagado.
- Retire los fusibles de los mismos. Y proporcionar una etiqueta como “hombres trabajando en ESP”. Y esto se debe quitar sólo en caso de que las actividades de las partes internas ESP se han completado y el Jefe de los trabajadores que indique que están concluidos los trabajos del ESP.

- Asegúrese de que usted no entre en el ESP hasta que se enfríe a temperatura ambiente mediante el control de los elementos de temperatura de entrada en el ESP, medida que la temperatura interna sería muy alta. Todos los campos deben estar conectados a tierra y asegurar que no haya tensión residual en el campo con la ayuda de las cintas de conexión proporciona en la Posición respectiva. Este procedimiento necesita ser llevado a cabo para los campos individuales de ambos el ático, así como de las puertas de acceso de la carcasa.
- Asegúrese de que el sistema de manejo de cenizas se detenga después que el polvo de la tolva es despejado.

## **B. GUÍA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

### **1. Procedimiento para poner en marcha el ESP.**

- Inspección completa del ESP interno y externo para cualquier remoción de materiales.
- Antes de pasar el gas de combustión en el ESP, Asegúrese de que el bloqueo de transporte previsto entre la estructura de soporte y la columna de la cubierta se retira.
- Comprobar individual cada tolva para cualquier material de desecho en la válvula de guillotina cuando se encuentra en estado cerrado y si es así quitar la misma y abrir la puerta de la diapositiva proporcionado para cada tolva.
- Limpieza completa de Pent House.
- Asegúrese de que el sello del conducto eléctrico este limpio y no hay acumulación de polvo en el mismo.
- Asegúrese de que todas las actividades antes de la puesta de equipos eléctricos individuales se lleven a cabo.
- Compruebe que toda la operación de enclavamiento de acuerdo con la lógica de control.
- Cerrar todas las puertas de acceso establecidas las puertas de acceso ESP, es decir, caja, puertas de acceso de entrada y salida de boquilla, puertas de acceso de las tolvas, puertas de acceso internas y externas del pent house.
- Abrir las compuertas deslizantes antes de la puesta en marcha del ventilador de tiro.
- Encienda el aislante calentador, calentador de la tolva, sopladores purga de aire, RAV y el correspondiente sistema de manejo de ceniza de 5 a 6 horas antes del paso del gas de combustión.
- Encender el panel de control de vibradores, los vibradores instalados en la tolva 1 a 2 horas antes de energizar el sistema del ESP.

- Asegúrese de que el sistema de manejo de cenizas junto con el RAV para cada tolva individual establecida en el ESP está en condiciones de funcionamiento.
- Controlar continuamente la temperatura de entrada del ESP hasta que se alcanza el punto de rocío ácido.
- Retire la seguridad provista por las juntas de expansión en la entrada y salida de boquillas.
- ejemplo, si la temperatura de funcionamiento de diseño específico para un ESP particular, es de alrededor de 140 °C, entonces la temperatura ESP entrada debe alcanzar un mínimo de 135 °C y debe ser constante durante un período de alrededor de 1 a 2 horas. Esto tiene que ser hecho de manera que la totalidad de la temperatura del ESP llega a la mismo.
- Una buena práctica para controlar la temperatura de salida del ESP también. El exceso de diferencia entre la temperatura de entrada y de salida (decir más de 5 a 10 grados C) es una indicación de una gran cantidad de fugas de aire falso. Fuga de aire falsa afectará al rendimiento del ESP y también puede causar posibles incendios en el ESP.
- Una vez que se alcanza la temperatura del ESP, asegúrese de que el interruptor de puesta a tierra proporcionada en el TR-set está en modo operación. (**ver anexo Gráfica 1**) Poco a poco aumentar la corriente secundaria del TR-set en pasos de 50 mA y Observe la lectura correspondiente en el medidor provisto. debe estar 1 en acenso. Trate de mantener la configuración actual en el punto donde se aprecia la formación mínima cantidad de chispas.

**NOTA:** EL TR-set debe ser operado siempre en modo AUTO

## **2. Procedimiento para apagar el ESP:**

- Apagar el proceso. Por ejemplo, el horno, caldera, etc.
- Se recomienda que el ventilador inducido (ID), debe funcionar continuamente durante unas pocas horas más después de que el proceso de apagado. Esto es particularmente importante para los procesos en los que la humedad, materia combustible o volátil está presente. funcionamiento continuo del ventilador se asegurará de que los rastros de tales materiales son totalmente eliminados y las posibilidades de asentamiento en la parte interna ESP durante el enfriamiento se elimina.
- Apague el ventilador ID y mantener el seguimiento de la temperatura de entrada al ESP.
- Eliminar todo el campo de suministro, es decir, el alto voltaje de los TR-set.
- Mantenga el equipo que golpea en el estado de funcionamiento durante más de 4 a 5 horas para que se desaloja el polvo residual sobre la placa colectora y la descarga.

- Mantener el sistema de manejo de cenizas en la condición encendido hasta que los polvos dentro de la tolva se vacíen. Esto debe estar en ejecución para alrededor de 3 a 4 horas, incluso después el panel rapper se apaga.
- Antes de abrir las puertas de acceso previstas para la tolva Por favor asegúrese de que ya no hay acumulación de polvo en la respectiva tolva. Esto se puede hacer con la ayuda del tubo bypass proporcionado por el mismo. También hay que tener el vibrador proporcionado en condiciones de funcionamiento.
- Siga el esquema de bloqueo de llave para abrir la puerta de acceso proporcionado por el ESP, así como para el TR-set.

**a) Precaución antes de entrar PENT HOUSE.**

- La alimentación principal entrante al panel de MCC del ESP debe estar en condición off (apagado) con una tarjeta en la entrada que diga personal trabajando.
- Asegúrese de que los interruptores de puesta a tierra del TR-set estén puestos en posición tierra. Esto se debe hacer para cada conjunto rectificador de transformadores proporcionados.
- Asegúrese de que la temperatura de entrada del ESP ha alcanzado la temperatura ambiente o la temperatura de lo que sería una cómoda temperatura para trabajar dentro de un ESP.
- Aunque el interruptor de puesta a tierra del TR-set está conectado a tierra. Cada campo individual tiene que ser probado por cualquier tensión residual en el campo mediante el uso de la banda de tierra proporcionada por la misma en cada puerta de acceso.

**NOTA: EL CABLE DE ATERRIZAJE NECESITA SER CONECTADO A TIERRA PRIMERO ANTES DE QUE ENTRE EN CONTACTO CON LOS MÓDULOS DEL ESP.**

- Asegúrese de que los calentadores aisladores proporcionados están en apagado (OFF), en modo que la temperatura dentro del pent house puede estar bajando a casi la temperatura ambiente.

3. **Inspección diaria.** A raíz de las cosas que hay que hacer sobre una base diaria son:

- Comprobar el funcionamiento visual individual de los Rappers.
- Comprobar visualmente si hay alguna fuga de aceite de las individuales del TR-set.
- Comprobar y controlar la temperatura del aceite de cada TR-set.
- Monitorear continuamente y registrar la lectura de todos los TR-set
- Verificar la lectura del monitor de emisión si se proporciona u observa visualmente la pila para cualquier emisión. En caso de emisión visible, compruebe los parámetros de proceso para cualquier anomalía como alteraciones en el proceso, alta temperatura, cambio de material combustible / prima utilizada, etc. Si no se observa la formación de chispas, intente aumentar la corriente secundaria de cada campo individual. En caso de que se experimenta la formación pesada observado, comprobar la respuesta de encendido del controlador y reducir el ajuste de mA secundaria, si es necesario.
- Comprobar si hay fugas de aire a través de todas las puertas de acceso, la tolva por rampas de paso, hacer agujeros, juntas de dilatación rasgados etc. En caso de cualquier fuga observada de la misma necesidad debe ser detenido en la primera para un mejor rendimiento del ESP.
- Compruebe el funcionamiento del sistema de manejo de cenizas / polvo proporcionado por debajo de la tolva. También asegúrese de que la tolva no se utiliza para el almacenamiento de polvo.

4. **Inspección de mantenimiento semanal:**

- Compruebe el funcionamiento del ventilador de aire de purga junto con el filtro de panel en seco. Y la apertura del amortiguador de la misma. En caso de cualquier gran acumulación de polvo en el filtro de panel en seco, intente limpiar el mismo o reemplazar el filtro.
- Controlar los cojinetes de motores de sopladores de aire de purga, válvula de cierre de aire rotativo y para cualquier tipo de vibración. En caso de cualquier tipo de vibración tomar medidas necesarias para eliminarlas de ser hecho a la mayor brevedad.

## **5. Inspección de mantenimiento mensual:**

- Verificar el funcionamiento de los Rappers de forma individual. También puedes ver la línea de conexión a tierra. Proporcionado por el mismo.
- Compruebe si hay flojedad de la alineación del tornillo y tuercas de los Rappers.
- Verificar visualmente los TR-Set como la fuga del aceite, etc.
- Inspeccionar para las diversas puertas de acceso previstas para el ESP para las fugas de aire. En caso de cualquier fuga de la misma necesidad debe ser atendido.
- Compruebe el aceite de las válvulas de bloqueo de aire rotativos y si es necesario el mismo. Necesita ser reemplazado.

## **6. Inspección de mantenimiento semi-anual:**

### **a. ESP –techo frío**

- Verificar todas las abrazaderas de los rapper boot que estén intactas.
- Los hules de expansión que sujeta los rapper boot que estén dañados deben ser reemplazados según sea el caso.
- Compruebe si hay un sellado adecuado en el techo frío.
- Compruebe la conexión de barra colectora de TR-set de campo. En caso de cualquier depósito de polvo sobre el casquillo o cualquier corrosión observada reemplazar el mismo.

### **b. Partes internas del PENT HOUSE:**

- Revisar el espacio libre de la barra de distribución con el conducto de alta tensión proporcionada. En caso de una pequeña luz (inferior a 175 mm) y rectificación de la misma. También puedes ver para el depósito de polvo en el sello del conducto eléctrico proporcionado.
- Compruebe si hay algún tipo de seguimiento o formación de grietas en los aisladores de soporte de alta tensión y aisladores de ejes previstos. También verificar si hay cualquier depósito de polvo en la superficie interior de los aislantes de apoyo. Si es así, limpiar la misma.
- Compruebe si las juntas previstas entre la parte superior e inferior de soporte aislante no tengan algún daño.

- Compruebe los codos provistos en la placa de bridas aisladoras. Se necesita verificar la orientación de los mismos. Básicamente se requiere que la posición de los 3 codos tenga la misma orientación. (ya sea en la dirección de las agujas del reloj o contra de las agujas del reloj).
- Compruebe si el depósito de polvo sobre los codos bloquea el flujo de aire. Si bloquea tiene que ser limpiado.
- Compruebe las paredes del ático, etc. Para cualquier tipo de fugas y también si hay alguna corrosión observada. Comprobar la acumulación de polvo en el ático. En caso de que haya acumulaciones de polvo importantes toman las medidas necesarias de la misma.
- Comprobar la conexión de alta tensión proporcionada en la placa aislante de la brida superior.
- Comprobar si el aislamiento proporcionado en la parte superior del techo frío y en caso de cualquier tipo de reparación requiere lo mismo que hacer.
- Comprobar la operación del termostato.

#### c. Entrada boquilla y salida de la boquilla:

- Compruebe las láminas perforadas por la obstrucción de los orificios previstos debido a los depósitos de polvo.
- Comprobar el funcionamiento correcto del sistema de golpeo previsto de la chapa perforada.
- Compruebe si hay acumulación de polvo anormal en la boquilla.

#### d. Paredes internas carcasa y ESP:

- Comprobar si las paredes de la cubierta no tienen ningún tipo de corrosión y si es posible comprobar el espesor de la pared para cualquier reducción.
- Comprobar si hay acumulación de polvo en las tuberías de descarga de los electrodos.
- Comprobar que las placas deflectoras de la carcasa provista entre las paredes laterales y la primera placa colectora tanto en los bordes delantero y trasero de cada campo individual. En caso de cualquier desgaste rectificar la misma.
- Comprobar si los tornillos y las tuercas proporcionadas para cada Rigitrode y la placa colectora están flojos.

- Comprobar la holgura estrecha o la distancia entre la placa colectora y los picos previstos en el electrodo de descarga. La distancia mínima a mantener es de alrededor de 175 mm.
- Comprobar si la rectitud, tanto de la placa colectora y el electrodo de descarga. En caso de cualquier arco observado en cualquiera de ellos podría conducir a una baja separación eléctrica de la misma y finalmente afectar el rendimiento del ESP.
- Compruebe si hay algún camino snekage para los gases que fluyen sin tratar de ESP. Si es así detener a la misma. Esto puede ocurrir sobre todo en la columna de la carcasa y la primera y la última placa colectora de cada campo.

#### e. Tolva y sistema de manejo de ceniza.

- Comprobar la estanqueidad en las uniones de la tolva y las puertas de acceso. En caso de cualquier daño cuerdas juntas previstas las mismas necesidades de sellado deben ser reemplazado.
- Comprobar el funcionamiento de las sondas de nivel. Limpiar la sonda de nivel.
- Comprobar si las resistencias individuales para cada Calentadores de las tolvas proporcionadas y en caso de cualquier fallo de los mismos tiene que ser reemplazado.
- Comprobar que la operación de la válvula de esclusa rotativa (RAV). Compruebe si el aceite del cambio en el RAV y, si es necesario cambiar la misma.
- Verificar si el funcionamiento del sistema de manejo de cenizas / polvo proporcionado por debajo del RAV y asegurar que todos están funcionando correctamente.
- Comprobar si hay cualquier tipo de corrosión de las paredes laterales de las tolvas.
- Comprobar que las placas deflectoras, que se estipule en las tolvas, están intactos.
- Comprobar si el funcionamiento de los termostatos previstos en las tolvas individuales

**NOTA: PARA UNA MEJOR VISTA DE LOS PASOS MÁS IMPORTANTES A SEGUIR AL MOMENTO DE LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL PRECIPITADOR ELECTROSTÁTICO VER EN ANEXOS LAS HOJAS DE RUTAS.**

## **C. QUÉ HACER Y NO HACER**

### **1. Hacer**

- Panel TRCC y el panel Microtapper tienen controladores basados en microprocesadores muy sofisticados. Para garantizar un funcionamiento sin problemas es necesario que el panel debe mantenerse libre de polvo y humedad. Por eso siempre se debe mantener las puertas del panel firmemente cerrada.

- No operar el T / R debe estar en modo automático.
- Compruebe que los calentadores de la tolva y calentadores de aisladores están trabajando durante al menos 12 horas antes de poner el ESP en línea.
- Hacer uso adecuado de equipos de protección para la cabeza, los ojos y la cara y la respiración siempre que sea necesario mientras se trabaja en y alrededor de ESP
- Compruebe que todos los ganchos de conexión a tierra están correctamente conectados a tierra y que el hilo de cobre trenzado hasta terminal de tierra no este roto, antes de entrar en ESP para apagar los TR en caso de desconexión del ventilador de tiro.

## 2. No hacer

- No tome el ESP en línea hasta que la temperatura del punto de rocío ácido se haya alcanzado. Asegúrese de que los conjuntos T/R se conecta 'ON' sólo después de alcanzar el punto de rocío temperatura.
- La temperatura del punto de rocío ácido para variar el contenido de azufre en el combustible es como se da en la tabla de abajo (si es aplicable).
- No permitir el acceso a los componentes internos ESP y fuentes de alimentación a cualquier persona que no está entrenado en la operación y mantenimiento ESP.
- No entrar ESP sin asegurarse que los T/R-set estén puestos a tierra y el sistema de electrodos con la ayuda de ganchos de conexión a tierra.
- No trate de derrotar a los sistemas de enclavamiento de llave mecánicos.
- No duplicar llaves del sistema de bloqueo.
- No ajuste la intensidad de emisores de Rappers de electrodos a un valor más allá de 10 pies/lib (normal de ajuste 5 ft/lb)
- Después del mantenimiento o inspección de partes internas ESP no cambie encienda T/R establecer antes de hacer un recuento para asegurar que todo el personal que trabaja en ESP ha salido.
- No ejecute T/R establecer en modo manual.
- Gráfico que muestra la temperatura del punto de rocío ácido para diferentes contenidos de azufre.

Cuadro 1. Temperatura del azufre.

Azufre en el combustible	0,5	1	2	3	4	5
Mínimo temperatura al ESP entrada	120	128	135	138	143	150

## D. GUÍA PARA DETERMINAR POSIBLES FALLAS ESP.

### 1. Posibles fallas en base a lecturas eléctricas.

Cuadro 2. Lecturas eléctricas del TR-SET, fallos probables.

Transformador de lecturas de los contadores				
Primario voltaje (V)	Primario corriente (Amp / A)	Secundario voltaje (KV)	Secundario corriente (mA)	Fallo probable
Cero	Cero	Cero	Cero	<ul style="list-style-type: none"> <li>Falla principal de suministro</li> <li>Fallos tiristor</li> <li>falla AVC</li> <li>AC inductor O/C</li> <li>Fallo del circuito de control</li> </ul>
Cero o Bajo	Alto	Cero o Bajo	Alto	<p><b>Posible cortocircuito</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Desalineación del precipitador</li> <li>Desempolvar corto y construir.</li> <li>Alto nivel de polvo en tolvas.</li> <li>Interruptores de tierra se cerró.</li> <li>HT cable o conexión hacia abajo</li> <li>TR fallo interno cortocircuito con tierra.</li> </ul>
Alto	Bajo	Alto	Cero	<p><b>Si hay circuito abierto en:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>HT líneas de alimentación</li> <li>HT cambio de interruptores de circuito abierto si falla TR Fallo interno.</li> </ul>
Cero o Bajo	Alto	Cero o Bajo	Bajo	<ul style="list-style-type: none"> <li>TR establece fallo de algún tipo, por ejemplo, corta primaria.</li> <li>Corona invertida severa</li> </ul>
Normal	Normal	Cero	Normal	<ul style="list-style-type: none"> <li>Falla divisora de voltaje</li> <li>Falla metros</li> </ul>
Cero	Normal	Normal	Normal	<ul style="list-style-type: none"> <li>Falla metros</li> <li>Fusibles O/C en el medidor si los hubiera</li> </ul>

Continuación de cuadro 2

Primario voltaje (V)	Primario corriente (Amp / A)	Secundario voltaje (KV)	Secundario corriente (mamá)	Fallo probable
Normal	Cero o Baja	Normal	Normal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avería del transformador de corriente</li> <li>• Falla en el cableado</li> </ul>
alta o Normal	baja o Normal	Alto	Bajo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acumulación de polvo en el sistema de electrodos de retención de descarga</li> </ul>
Normal	Normal	Normal	Cero	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medidor defectuoso.</li> <li>• Derivación de corto circuito</li> </ul>
Indicación de arco excesiva en control manual o automático				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fallo en el precipitador, por ejemplo, elemento agrietado o roto HT</li> <li>• Eje rapero húmedo/contaminado el aislante</li> <li>• Condición de fallo del transformador.</li> <li>• Cambio en la condición de entrada gas.</li> </ul>
Una kV y superiores o el rendimiento se puede obtener bajo manual en lugar de control automático				<ul style="list-style-type: none"> <li>• El AVC requiere establecer hasta cumplir con las condiciones de servicio que operan o está defectuoso</li> </ul>

## **2. Problemas relacionados con tolva.**

- En cualquier unidad operativa, se acumulan en las tolvas de recogida, puede causar deficiencias de rendimiento, por lo general debido a las limitaciones resultantes de los equipos de manipulación de cenizas o los sistemas de evacuación de no remover el material recogido. Si esto ocurre, el nivel de polvo puede acumularse y eventualmente se corta el sistema de electrodos de descarga. Tendencia general de la recogida de polvo es tener un máximo en el campo de entrada debido a la gruesa y partículas más pesadas que caen bajo la gravedad. Esto puede suceder incluso cuando el campo está en condiciones de energización. Los tamaños de partícula reducen hacia el campo de salida.
- Normalmente la tolva recupera el calor de la radiación de la corriente de gas a través de la siguiente ESP. Sin embargo, las pérdidas de calor tienen lugar a pesar del aislamiento de la tolva. Además, durante paredes de la tolva son relativamente más frío. Calentadores de la tolva se proporcionan para que las paredes de la tolva se mantengan calientes durante el arranque y las pérdidas de calor son compensadas durante el funcionamiento normal. Por lo tanto, el polvo seco y caliente se mantendrá siempre y esto reduce las posibilidades de salvar del polvo en la parte inferior de la tolva.

## **3. Distribución de gas y fugas de aire.**

- Incluso si no se encontró la distribución de gas en un ESP particular, para ser bueno durante la puesta en marcha, siempre puede haber el problema de la distribución de gas adquiriendo velocidad perturbado si el conducto de entrada tiene la deposición anormal de polvo. Así que, durante las paradas, la inspección conducto de entrada necesita ser llevado a cabo.
- Las fugas de aire en las puertas de acceso de la tolva o juntas de fuga en el sistema de manejo de cenizas siempre pueden volver a arrastrar el polvo en el ESP no al afectar drásticamente el rendimiento del ESP. fugas de aire también tienen un potencial de afectar a la distribución de gas.

## **4. Cambio de estado de entrada de gas.**

- Cambio de la condición de entrada de gas impacta directamente en la resistividad del polvo y, correspondientemente, las características eléctricas de los campos en el ESP se ven afectados. Por ejemplo, mayor sea la temperatura, mayor es la resistividad del polvo en el normales .
- Rango de operación y menor es la generación de corriente secundaria. Esto reduce la entrada de energía al ESP y hay afecta el rendimiento.
- Otra condición de gas que tiene un impacto en el rendimiento es el contenido de azufre en el combustible utilizado. Mayor es el contenido de azufre, más alto será el punto de rocío ácido, y menor será la resistividad. Mientras baja es la resistividad puede tener un buen impacto en el rendimiento, mayor punto de rocío significaría mayores posibilidades de corrosión de carcasa y los componentes internos.

## E. Stock de repuestos críticos

Cuadro 3. Stocks repuestos críticos.

No.	REPUESTOS Y TARJETAS ELECTRÓNICAS	DESCRIPCIÓN
1	SUPPORT INSULATOR	Soporte de aisladores
2	SHAFT INSULATOR	Eje aislante
3	HYPALON BOOT SEAL	Guarda polvo
4	HYPALON BOOT CLAMPS (SMALL & BIG)	Abrazaderas de Rappers
5	RAPPER COILS	Bobina de martillos
6	PURGE AIR FAN FILTERS	Filtros de aire del ventilador
7	LEVEL SWITCHWITH PROBE	Sensor de nivel de tolva
8	RAPPERSTUDWITH NUT (1 STUDWITH 8 NUT)	Martillos para espejar ceniza
9	INSULATOR HEATER	Aislamiento térmico
10	THERMOSTATFORHOPPER& INSULATORHEATOR	Monitoreo de temperatura
11	RTD WITH TRANSMITTER	Sensor de temperatura
12	HOPPER HEATER	Calentador de tolvas
	<b>TARJETAS ELECTRÓNICAS DE LOS RAPPERS</b>	
1	MRC-MCU CARD	Tarjetas electrónicas de control de señales que indican los movimientos y presión de golpeo de los Rappers automáticamente.
2	MRC-THY CARD	
3	MRC-DRIVE 32 CARD	
4	POWER SUPPLY CARD +5VOLTS	
5	POWER SUPPLY CARD +24VOLTS	
6	PHASE CONTROL CARD	
7	DISPLAY UNIT	

## VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La guía de operación y mantenimiento del precipitador electrostático (ESP) muestra los pasos necesarios para mantener su funcionamiento de acuerdo a los estándares de calidad exigidos por la OPS (organización panamericana de la salud). Los resultados muestran la importancia del uso del equipo de protección personal para realizar la inspección, mantenimiento y/o reparación del ESP, para minimizar los riesgos y priorizar la seguridad industrial de la maquinaria y los trabajadores.

La seguridad industrial se prioriza de la siguiente manera:

A. En el equipo:

- El personal debe asegurarse de que no haya acumulación de gases inflamables, de ceniza y fuga de aire para que no se causen explosiones, asfixias y deterioro del equipo.
- Para asegurar la remoción de material particulado del flujo de gases de combustión es necesario verificar que los rappers funcionen adecuadamente en el panel de control o directamente en la sección del ESP correspondiente.
- Es importante mantener herméticamente cerrado todas las secciones del ESP para que no haya reingreso de material particulado a la zona activa del flujo de gas y tenga que volverse a capturar las partículas en la siguiente sección o liberarse directamente al ambiente si es la última sección.

B. En el personal:

- Cada miembro del personal de mantenimiento siempre debe verificar que su equipo y herramienta de trabajo se mantenga en las mejores condiciones para evitar contratiempos y posibles accidentes.
- Es necesaria la capacitación constante de cada uno de los operarios y mecánicos que tengan relación con el ESP sobre las medidas de seguridad mínimas que permitan realizar su trabajo de una manera satisfactoria y sin poner en riesgo a la empresa ni ellos mismos.
- También se hace necesario que el encargado de mantenimiento verifique que el personal a su cargo no presente ningún inconveniente para trabajar en espacios confinados.

## VIII. CONCLUSIONES

- Una unidad elemental de precipitación electrostática formada por un electrodo colector y uno de descarga debe cumplir con eficiencia los siguientes pasos: generación de un campo eléctrico, generación de cargas eléctricas, transferencia de las cargas eléctricas a las partículas de polvo, traslado de las partículas cargadas hacia las superficies de los electrodos, adhesión de las partículas a las superficies colectoras y la separación de la capa de polvo de la superficie colectoras; para evitar por lo menos el efecto de back corona y la reentrada de partículas suspendidas al flujo de gases de chimenea y alcanzar la carga de saturación en una décima de segundo o incluso menos, así favorecer la movilidad de los iones que también se ven afectados por la intensidad de campo, la masa, carga y el recorrido libre entre dos colisiones.
- Los principales repuestos críticos que se deben tener en stock son las tarjetas electrónicas que hacen funcionar el precipitador de manera automática y correcta.
- Los principales contaminantes a analizar son material particulado (MP), dióxido de azufre y cualquier compuesto nitrogenado en los gases de combustión de carbón mineral para producción de energía eléctrica.

## IX. RECOMENDACIONES

- Con la finalidad de contribuir a elevar y mantener un buen nivel de eficiencia en la operación y mantenimiento es necesario capacitar a los trabajadores para un buen desarrollo en los trabajos prácticos siguiendo el modelo de actividades cotidianas que se realizan en el área, tomando como base la guía elaborada, presentado casos casuísticos que pueden ocurrir mediante una metodología de exposición y diálogo.
- Llevar un monitoreo y registro de parámetros de operación para poder detectar cualquier anomalía en el equipo que pueda causar una parada.
- Realizar un inventario de repuestos críticos para mantener siempre en bodega.
- Monitorear gases de chimenea para verificar que los gases estén en los parámetros permitidos por el medio ambiente.
- Evaluar las capacitaciones brindadas para eliminar posibles errores o fallos más comunes que se puedan dar en la operación.

## X. BIBLIOGRAFÍA

- Birkett, H., *A Short Course on Bagasse Boilers Operations*, F. C. Schaffer & Associates, Inc. Baton Rouge, La. 1996.
- Feal Veira, A. (2002). *Precipitadores electrostáticos (IV)*. Ingeniería Química, (387), 117-124.
- González, E., & Glaría, J. (2000). *Control en busca de extremo para precipitadores electrostáticos*.
- Mr. Kenneth Woodard. *Documento de Técnicas de Control de Materia Particulada Fina Proveniente de Fuentes Estacionarias*. E.E.U.U.
- Manso, W. *Redesigning boilers solves problems and saves Money*, Presentado al Congreso de la West Indies Sugat Techn. Asson, Trinidad & Tobago.
- Phelan, B., & Taylor, R. W. (1998). *Precipitador electrostatico Investigacion y Aplicaciones del Cemento y del Hormigon*, 69(783), 374-383.
- U.S. Environmental Protection Agency. *Operation and Maintenance Manual for Electrostatic Precipitators*, EPA-625/1-85-017, Research Triangle Park, NC.
- Villacres Montenegro, C. (1977). *Estudio de la industria relativo a la contaminación del aire y anteproyecto de un precipitador electrostático*. Doctoral dissertation, Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Veira, A. F. (2001). *Precipitadores electrostáticos (III): Parámetros de operación y equipamiento*. Ingeniería química, (385), 129-136.

## XI. ANEXOS

### A. Hojas de control del ESP:

1. TR-set:

FECHA:

Cuadro 4. Hoja de control del ESP.

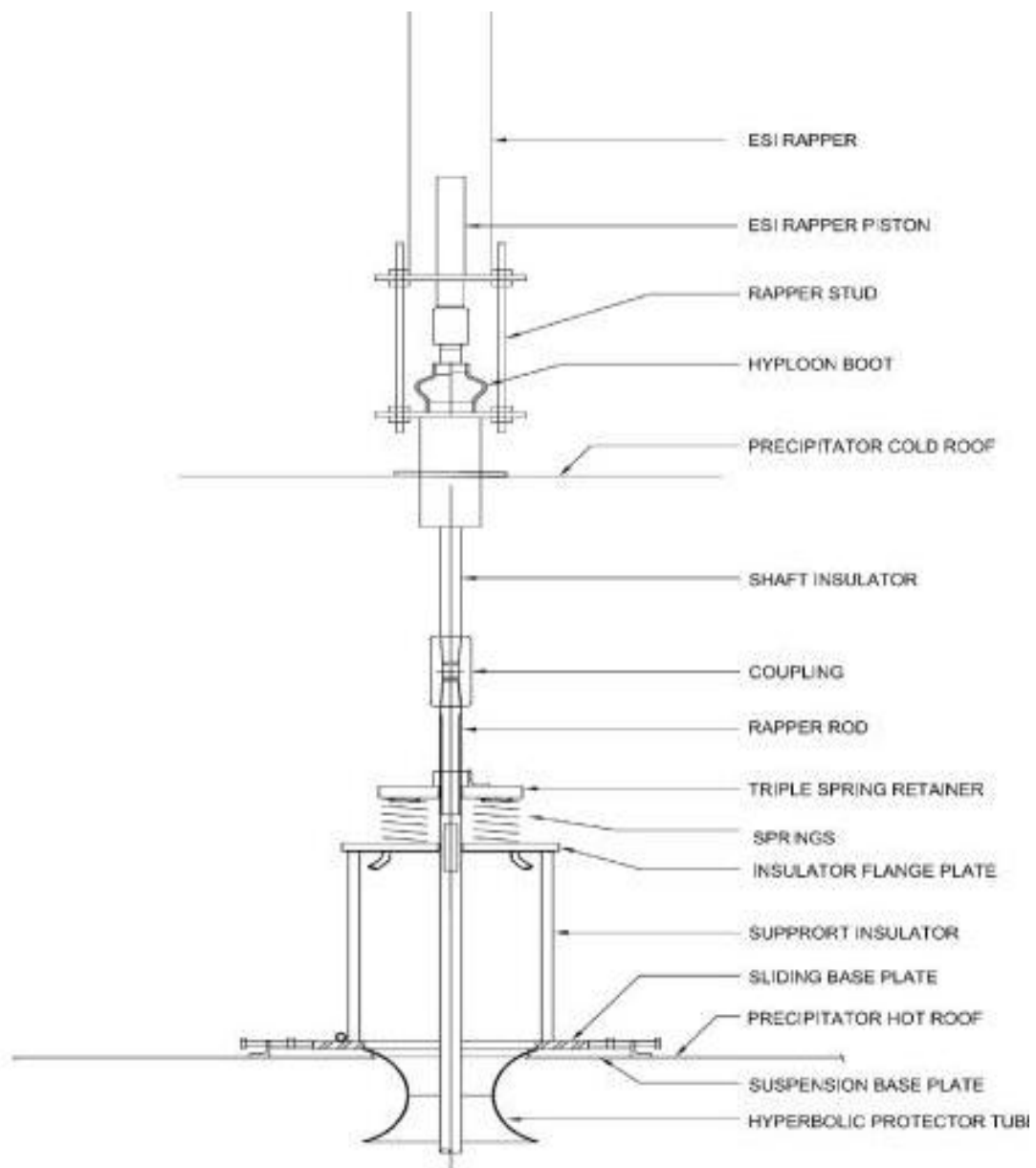
TRCC- Número- Campo NO	Primario voltaje	Primario corriente	Secundario voltaje	Secundario corriente	chispas/ Mínimas	Observación
<b>1</b>						
<b>2</b>						
<b>3</b>						

2. Equipos eléctricos

Cuadro 5. Hoja de control de equipos eléctrico

ELÉCTRICO EQUIPO	R -FASE INTENSIDAD (A)	Y -FASE INTENSIDAD (A)	B -FASE INTENSIDAD (A)	OBSERVACIÓN
PURGA DE AIRE SOPLADOR				
RAV-1				
RAV-2				
RAV-3				
TOLVA CALENTADOR-1				
TOLVA CALENTADOR-2				
TOLVA CALENTADOR-3				
CALENTADOR DE AISLANTE				

Gráfica 11. Diseño de los Rapper.



Fuente: Edward Mata.

Gráfica 12. Planta de cogeneración



Fuente: Edward Mata.

Gráfica 13. paneles de Rappers, Hopper, TR-set.



Fuente: Edward Mata.

Gráfica 14. Panel de los TR-set 1,2.



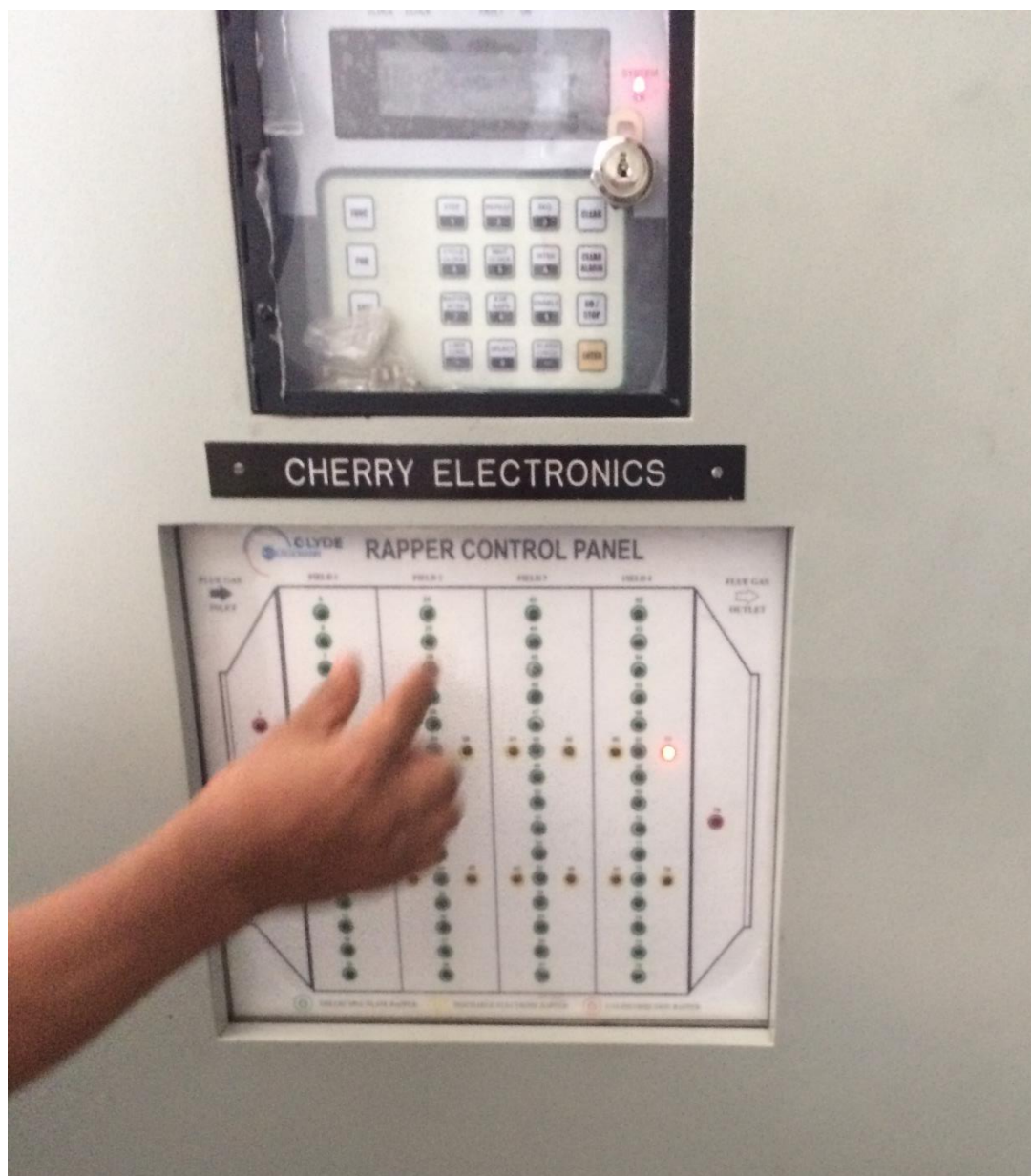
Fuente: Edward Mata.

Gráfica 15. Panel de los TR-set 3,4.



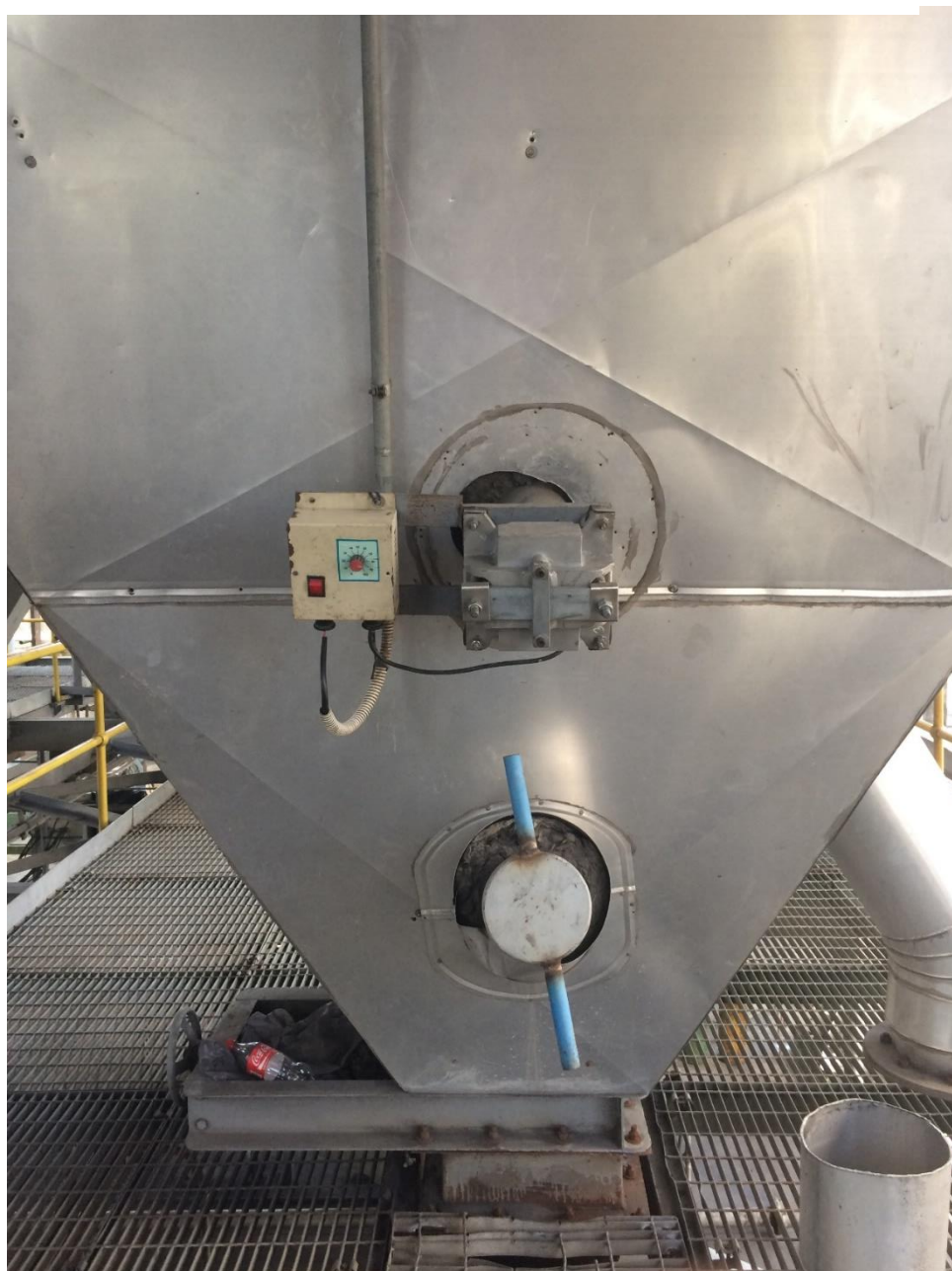
Fuente: Edward Mata.

Gráfica 16. Panel de control de Rappers



Fuente: Edward Mata.

Gráfica 17. Vibradores de la tolva.



Fuente: Edward Mata.

Cuadro 6. Hoja de ruta de marcha del ESP.

### Procedimiento puesto en marcha del ESP

- Inspección completa del ESP interno y externo para cualquier remoción de material
- Asegurar que el bloqueo de transporte previsto entre la estructura de soporte y la columna se retire
- Limpieza completa del pent house
- Compruebe todas las operaciones de enclavamiento de acuerdo con la lógica de control
- Cerrar todas las puertas de acceso establecidas las puertas de acceso al ESP
- Abrir las compuestas deslizantes antes de la puesta en marcha
- Encender el sistema de cenizas de 5 a 6 horas antes del paso de gas de combustión.
- Encender el panel de vibradores antes de energizar el precipitador.
- Controlar el punto de rocío del precipitador.

Cuadro 7. Procedimiento para apagar el ESP.

## Procedimiento para apagar el ESP

- Apagar el proceso. Ejemplo el horno, caldera, etc.
- Mantener el ventilador inducido funcionando por varias horas después del proceso de apagado
- Apagar el ventilador inducido y mantener el seguimiento de la temperatura de entrada al ESP
- Eliminar todo el campo de suministro eléctrico en el Pent House
- Mantener el equipo que golpea el estado de funcionamiento durante cuatro o cinco horas para desalojar el polvo
- Mantener el sistema de manejo de cenizas durante cuatro horas para desalojar cualquier residuo de polvo en las tolvas
- Seguir el esquema de bloqueo de llaves para abrir el panel de los TR-SET.

Cuadro 8. Hoja de ruta de inspección diaria.

### Inspección diaria

- Comprobar el funcionamiento visual individual de los Rappers
- Comprobar visualmente si hay fuga de aceite en los TR-set
- Comprobar y controlar la temperatura del aceite de cada TR-set
- Monitorear continuamente y registrar la lectura de todos los TR-set
- Comprobar si hay fugas de aire en las compuertas de acceso del ESP
- Compruebe el funcionamiento del sistema de cenizas

Cuadro 9. Hoja de ruta de inspección semanal

### Inspección semanal

- Compruebe el funcionamiento del ventilador de purga con el filtro de aire de panel seco
- Verificar la temperatura del amortiguador del aire de purga
- En caso de cualquier acumulación de polvo en el filtro ,intente limpiarlo o reemplazar el filtro
- Controlar los cojinetes de motores de sopladores de aire de purga
- En caso de cualquier vibración tomar medidas necesarias para eliminar de ser hecho a la mayor brevedad

Cuadro 10. Hoja de ruta de inspección de manto mensual.

### Inspección de manto mensual

- Verificar el funcionamiento de los Rapper de forma individual.
- Compruebe si hay flojedad e la alineación del tornillo y tuercas de los Rappers.
- Verificar visualmente los TR-set como la fuga del aceite, etc.
- Inspeccionar para las diversas puertas de acceso previstas para el ESP para las fugas de aire.
- Compruebe el aceite del cambio revisto de las válvulas de bloqueo de aire rotativo y si es necesario se remplazado.

Cuadro 11. Hoja de ruta de inspección de mantto semi-anual.

## Inspección de mantto semi-anual

- **Verificación ESP-techo frío P**
- Los hules de expansión de los Rappers que estén dañados deben ser cambiados inmediatamente
- Compruebe si hay un sellado adecuado en el techo frío
- **Partes internas del PENT HOUSE**
- Comprobar si hay formación de agrietas en los aisladores de soporte de tensión y aisladores de ejes previstos
- Compruebe si las juntas previstas entre la parte superior e inferior de soporte aislante no tenga algún daño
- Compruebe si el depósito de polvo sobre los codos bloquea el flujo de aire. si bloquea tiene que ser limpiado
- Comprobar la conexión de alta tensión proporcionada en la placa aislante de la brida superior
- Comprobar la operación del termostato
- **Entrada de boquilla y salida de boquilla**
- Compruebe las laminas perforadas por la obstrucción de los orificios previstos debido a los depósitos de polvos
- Comprobar el funcionamiento correcto del sistema de golpeo previsto de la chapa perforada
- Compruebe si hay acumulación de polvo anormal en la boquilla
- **Paredes internas carcasa y ESP**
- Comprobar si la rectitud, tanto de la placa colectora y el electrodo de descarga. En caso de cualquier arco observado en cualquiera de ellos podría conducir a una baja separación eléctrica de la misma y finalmente afectar el rendimiento del ESP.
- Compruebe si hay algún camino snekage para los gases que fluyen sin tratar de ESP. Si es así detener a la misma. Esto puede ocurrir sobre todo en la columna de la carcasa y la primera y la última placa colectora de cada campo
- Comprobar si los tornillos y las tuercas proporcionadas para cada Rigitrode y la recogida de la placa están flojos.
- Comprobar la holgura estrecha o la distancia entre la placa colectora y los picos previstos en el electrodo de descarga. La distancia mínima a mantener es de alrededor de 175 mm

## XII. GLOSARIO

ESP: Precipitador Electrostático.

MCC: Centro de Control de Motores.

RAV: Válvulas Rotativas de Aire.

Panel TRCC: Panel de Control de Transformadores.

Rapper: Golpeadores para soltar la ceniza de las placas.

Deflectores: Cambiadores de dirección de flujo.

Rigitrodes: Electrodo de descarga.

Pent House: Ático de Rappers.

Tiristor: Sensores de temperatura de electrodos.