



**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**

**Facultad de Ingeniería  
Departamento de Ingeniería Mecánica**

# "Plan de mantenimiento de Precipitadores Electroestáticos de una planta de celulosa."

Seminario de Título presentado en  
conformidad a los requisitos para  
obtener el título de Ingeniero de  
Ejecución en Mecánica.

Profesor Guía: Sr. Víctor Durán

**Mario Gonzalo Oyarce Olavarría**  
Concepción - Chile  
2014

## **Agradecimientos.**

A través de estas breves palabras quiero agradecer a mi familia por el gran apoyo que me han entregado durante todo el tiempo que duró este proceso.

En segundo lugar, a mis profesores y académicos de la Universidad, porque gracias a sus enseñanzas y conocimientos me dieron las herramientas para poder afrontar el futuro como profesional y en especial a los profesores del Departamento de Ingeniería Mecánica y mi profesor guía.

A todos mis compañeros y amigos más cercanos, ya que gracias a su apoyo me dieron la fuerza necesaria para seguir adelante en este proceso académico y a todos los que de algún u otro modo participaron en la realización de este seminario.

Por último, dar un especial agradecimiento a la empresa IMASEL por el aporte de información y material en la realización de este seminario de título.

## INDICE GENERAL

Lista de símbolos .....	4
Glosario .....	5
Resumen .....	7
Capítulo N°1. INTRODUCCIÓN. ....	8
<b>1.2 Origen del tema</b> .....	10
<b>1.3 Objetivos</b> .....	10
<b>1.4 Objetivos específicos:</b> .....	10
Capítulo N° 2. FUNCIONAMIENTO DE UN PRECIPITADOR ELECTROESTÁTICO	11
<b>2.0 Definición</b> .....	11
<b>2.1 Principio de funcionamiento</b> .....	12
<b>2.2 Componentes del equipo</b> .....	15
<b>2.3 Detalle de los componentes.</b> ....	16
<b>2.3.1 Estructura</b> .....	16
<b>2.3.2 Pantalla distribuidora de gases</b> .....	16
<b>2.3.3 Placas Colectoras</b> .....	17
<b>2.3.4 Electrodo Emisores</b> .....	18
<b>2.3.5 Aisladores de Soporte</b> .....	19
<b>2.3.6 Sistema de golpes</b> .....	20
<b>2.3.7 Tolvas</b> .....	21
<b>2.3.8 Válvulas Rotatorias</b> .....	22
<b>2.3.9 Sistema de Remoción de polvo</b> .....	22
<b>2.3.10 Sistema de Dámper</b> .....	24
<b>2.4 Procesos relacionados a los precipitadores instalados en una planta de celulosa.</b> .....	24
<b>2.4.1 Caldera de Poder</b> .....	24
<b>2.4.2 Caldera Recuperadora</b> .....	25
<b>2.4.3 Horno de cal</b> .....	25
Capítulo N° 3 FALLAS COMUNES .....	27
Capítulo N° 4 ANALISIS DE CRITICIDAD.....	30
<b>4.1 Evaluación de la criticidad.</b> .....	31
<b>5.1 El mantenimiento preventivo</b> .....	37

<b>5.2 Objetivos del mantenimiento preventivo .....</b>	<b>37</b>
<b>5.3 Ventajas del mantenimiento preventivo .....</b>	<b>38</b>
<b>5.4 Programas de Mantenimiento Preventivo .....</b>	<b>39</b>
CONCLUSIONES .....	46
BIBLIOGRAFÍA .....	48
BIBLIOGRAFÍA DE WEB .....	48

## Lista de símbolos

<b>PPT</b>	=	Precipitador Electroestático
<b>T-R</b>	=	Conjunto transformador- rectificador
<b>m/seg</b>	=	Metros por segundo
<b>Kg.</b>	=	Kilogramo, unidad de masa
<b>mm.</b>	=	Milímetros, unidad de medida
<b>ASTM</b>	=	Asociación americana de ensayos a materiales
<b>Acero al carbono SAE 1045</b>	=	Acero simple con 0,45% de carbono
<b>Pcs</b>	=	Piezas
<b>Fff</b>	=	Factor de frecuencia de fallas
<b>Stby</b>	=	Disponibilidad de equipos de reserva, tiene relación si hay más de un equipo que esté realizando la misma tarea

## Glosario

Campo de voltaje	: Se refiere al campo de alto voltaje generado entre el electrodo de descarga negativo y la superficie colectora positiva a potencial de tierra. Este campo es el mecanismo de carga y el impulso para la remoción de las partículas del flujo de gas. Los valores deseables de este campo varían entre 1,6 a 2 kilovolts por cm. de espacio
Arco	: Es un colapso eléctrico severo entre el componente de alto voltaje negativo y tierra, generalmente causado o ayudado, por algún defecto mecánico interior. Un circuito de control automático de voltaje deficiente puede agravar este problema, como también la operación del control en modo manual. Las desviaciones de los medidores son generalmente 2 a 3 veces mayores que las que se producen durante el chispaje normal.
Corriente corona	: Este término se refiere al total del flujo de la corriente medida que pasa desde la descarga de corona del electrodo de descarga a través del espacio de gas del PPT a tierra, para una superficie de placa colectora controlada por un conjunto T-R.
Chispaje	: Consiste en el colapso eléctrico en el espacio de gas entre el sistema de alto voltaje y tierra. Esto generalmente ocurre entre el electrodo de descarga y la superficie colectora, este colapso o descarga, puede ocurrir cuando se ha reducido la distancia física (entre electrodo y superficie colectora) de modo que el voltaje de operación es mayor de lo que tolera el espacio.
Descarga de corona	: Se refiere a un colapso eléctrico del gas en zonas localizadas y pequeñas en la superficie del electrodo de descarga. Se requieren aproximadamente entre 20 y 25 mil volts para iniciar este proceso en un electrodo. Los electrones que salen de este punto de actividad localizado producen los iones negativos de gas que se requieren para cargar negativamente las partículas de polvo para que puedan migrar hacia la superficie colectora positiva.
Aislador de soporte	: Se refiere al elemento de cerámica que soporta y aísla el marco de alto voltaje del potencial de tierra. La superficie del aislador es susceptible de filtración eléctrica a tierra si se permite que se presente condensación o contaminación.
Campo	: Se refiere a una zona de sección de conductores en la dirección del flujo de gas que esta energizado por un conjunto T-R, por lo tanto, el número del conjunto T-R colocados en serie, cada uno controlando la recolección de partículas en un área específica, identificara el número de campos de un precipitador

- Golpeadores colectores** : Son mecanismos, generalmente instalados en la parte superior del PPT, que imparten periódicamente un golpe a las superficies colectoras para ayudar a desalojar el material para que caiga al sistema de tolvas o superficie recta del PPT. La eficiencia del PPT está a menudo definida por la efectividad con que se lleva a cabo este proceso, el objeto es soltar el material de las superficies colectoras en forma de pequeños grumos, para impedir la formación de capas de espesor excesivo.
- Multipeaks** : Es un tipo de electrodo de descarga, formado por un alambre con púas.
- Criticidad** : Es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos.
- Mantenimiento Preventivo** : Conjunto de actividades programadas a equipos en funcionamiento que permiten en la forma más económica, continuar su operación eficiente y segura con tendencia a prevenir las fallas y paros imprevistos.

## **Resumen**

Este seminario de título tiene como propósito diseñar un plan de mantenimiento preventivo a Precipitadores Electroestáticos instalados en una planta de celulosa con el fin de tener un funcionamiento prolongado de los equipos.

Para la realización de este proyecto, se lleva a cabo una definición resumida de los Precipitadores Electroestáticos, además el principio de funcionamiento de estos y la descripción de sus componentes principales.

Además, se da una descripción de las fallas más comunes que estos equipos presentan con algunas fotos ilustrativas, para realizar posteriormente un análisis de criticidad de los precipitadores instalados en una planta de celulosa.

Finalmente, se da una reseña teórica de la definición de Mantenimiento Preventivo, junto a sus objetivos y ventajas, para tener una visión más amplia en la realización del Plan de Mantención, este plan está orientado a una parada programada para la inspección completa y posterior reparación o cambios de sus componentes más críticos en el funcionamiento de un Precipitador.



## **Capítulo N°1. INTRODUCCION.**

El control de la emisión de partículas en los procesos industriales ha sido un problema al que se le ha dado mayor importancia en la última parte del siglo XX.

Frederick Cottrell desarrolló la tecnología electrostática que ha estado en uso desde principio de los años 1900, el diseño que conocemos hoy en día se estableció al finalizar los años 20.

La función principal de los Precipitadores Electrostáticos es la recolección de partículas de los gases de la combustión en diferentes procesos industriales.

Con el surgimiento del concepto aire limpio y sus limitaciones tan estrictas, las eficiencias de recolección han aumentado a un rango de hasta 99,5% de retención de partículas contenidas en los gases producto de la combustión. Para cumplir con estas rigurosas cifras de eficiencia ha sido necesario cambiar el diseño y tamaño de los precipitadores y la necesidad de una operación eficiente con bajo mantenimiento se ha vuelto prioritaria.

Hoy en día el refinamiento en operación, materiales y nuevas invenciones abundan para los precipitadores electrostáticos, incluyendo el electrodo de descargas, mayor esparcimiento entre placas, controles de sacudido, limitadores de corriente variable y programas que permiten a los operadores ver las condiciones de operación del precipitador y ver otros parámetros de operación.

Aunque los precipitadores son altamente eficientes y ampliamente usados, existen algunos factores que ayudan a determinar el diseño y tamaño del precipitador, tales como: carga de salida, temperatura de entrada, tipo de partícula, etc.

Las plantas de celulosa poseen precipitadores electrostáticos en varias áreas, como: Caldera de poder, Caldera recuperadora y Horno de Cal, con el objetivo de retener las partículas contaminantes presentes en los gases de la combustión que serán eliminadas al medio ambiente a través de la chimenea.

Aun cuando los precipitadores son relativamente fáciles de entender, generalmente muestran características de operación poco usuales, o no operan con su diseño original, por lo que se tiene que recurrir a realizar mantenimiento correctivo para que se vuelva tener en operación.

Es por esto que a continuación desarrollaremos un plan de mantenimiento preventivo a precipitadores electrostáticos instalados en una Planta de Celulosa, junto a un análisis de criticidad de los equipos para asegurar un funcionamiento controlado de estos.

## **1.2 Origen del tema**

Las reiteradas fallas en el funcionamiento de los precipitadores, a los cuales se les realiza un mantenimiento correctivo, originan la necesidad de disponer de un plan de mantenimiento preventivo que mejore la productividad del equipamiento.

## **1.3 Objetivos**

Diseñar un plan de mantención preventivo para precipitadores electrostáticos instalados en una Planta de Celulosa.

## **1.4 Objetivos específicos:**

- Describir los precipitadores instalados y procesos relacionados.
- Realizar un análisis de criticidad de los equipos estudiados.
- Diseñar un plan de mantenimiento preventivo.

## Capítulo Nº 2. FUNCIONAMIENTO DE UN PRECIPITADOR ELECTROESTATICO

### 2.0 Definición

El precipitador electrostático es un dispositivo utilizado para la descontaminación del aire que utiliza las fuerzas eléctricas para la remoción de la fracción sólida de un efluente, dirigiendo las partículas hacia las placas del colector. Las partículas se cargan mediante el choque con iones gaseosos creados por la ionización del aire creado entre los electrodos, tras la carga las partículas siguen las líneas de campo producidas por el alto voltaje hasta la superficie del electrodo colector. Las partículas deben ser eliminadas de las placas y recolectadas en una tolva, evitando que se reencaucen en la corriente gaseosa.

Existen varios tipos de Precipitadores Electroestáticos, pero en las plantas de celulosa se utiliza el de Placa-alambre, que consta de placas paralelas y alambres entre las placas. Esta disposición permite muchas líneas de flujo operando en paralelo, y a su vez pueden ser muy altas, lo que permite a este tipo de precipitador tratar grandes volúmenes de flujo. Las placas son el electrodo colector, que deben ser golpeteadas periódicamente para desprender el material recolectado. Hay que tener en cuenta la resistividad del material recolectado, ya que altas resistividades provocan la situación de corona invertida (se inyectan iones de polaridad contraria que disminuyen la eficiencia de recolección), si la resistividad es muy baja, las partículas se mantienen en la placa muy disgregadas, lo que provoca fenómenos de resuspensión, lo que también disminuye la eficiencia. En el cálculo de la resistividad del material influyen muchos factores como: naturaleza del gas y del material recolectado, temperatura, humedad, características de la superficie recolectora, etc.

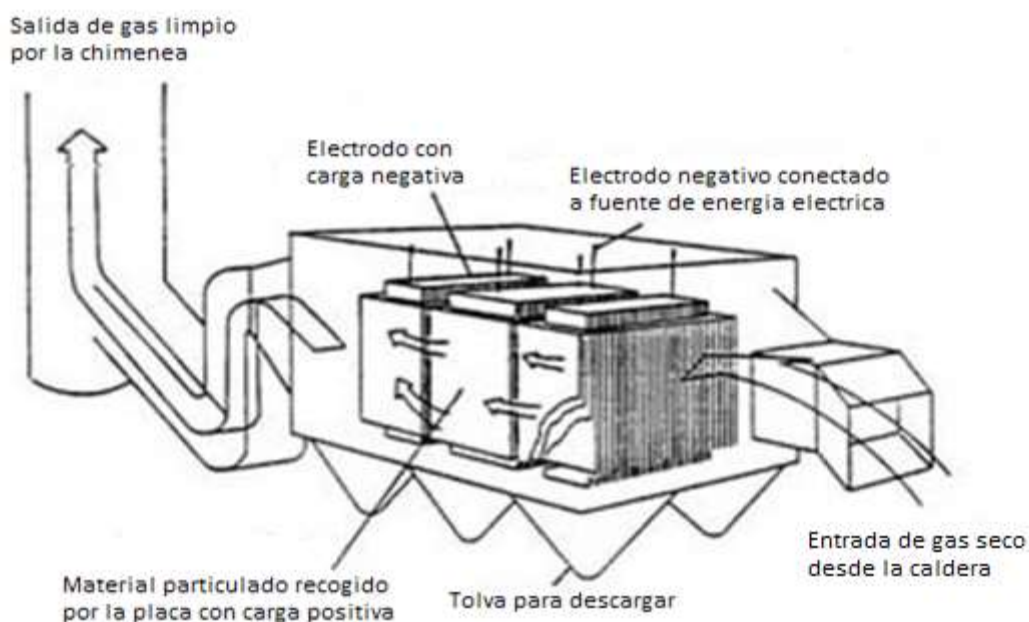


Fig. 2.0 Distribución de un Precipitador Electrostático

## 2.1 Principio de funcionamiento

Para entender la operación del Precipitador Electrostático, es importante comprender el diseño y función de sus componentes internos y externos, mecánicos y eléctricos y como estos componentes trabajan en unión bajo condiciones dinámicas.

La función principal de un precipitador electrostático es la recolección de partículas, de los gases de combustión de diferentes procesos industriales. El objetivo principal de estos equipos es la de permitir la evacuación de los gases del proceso lo más limpio posible.

El proceso de precipitación electrostática consiste en tres pasos fundamentales:

- Carga de partículas.
- Recolección de partículas.
- Desalojo del material recolectado.

Los primeros dos pasos son funciones de las condiciones eléctricas dentro del precipitador, mientras que el tercero depende más de las fuerzas mecánicas.

La figura siguiente ilustra el principio básico. Simplemente, es un aparato que limpia gases del proceso, usando fuerzas eléctricas para quitar las partículas sólidas que acarrea el flujo de gas.

Los gases sucios se pasan a través de un campo eléctrico entre electrodos de polaridades opuestas. Los electrodos de descarga que resultan de la aplicación de alto voltaje imparten una carga negativa a las partículas. Estas partículas son atraídas a los electrodos de recolección que son positivos respecto a los electrodos de descarga y en la práctica están conectados a tierra.

En el caso del polvo, las partículas se acumulan en el electrodo de recolección hasta que una fuerza de sacudido se aplique a los electrodos para soltar el polvo y este precipite a la tolva para su posterior evacuación.

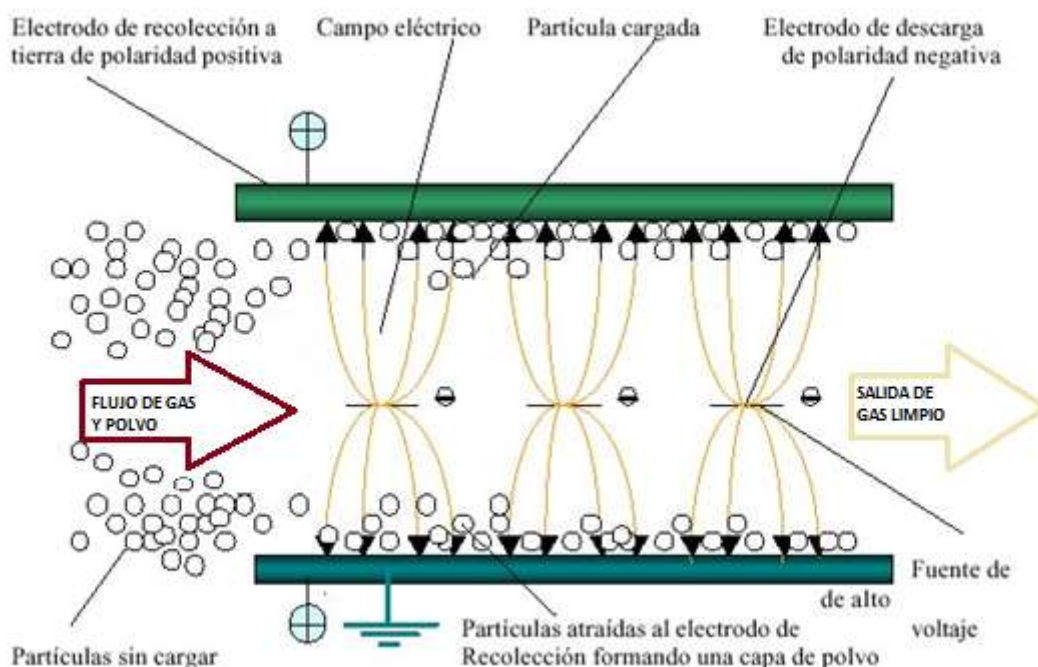


Fig. 2.1 Esquema del principio de funcionamiento del precipitador

Los precipitadores no pueden separar gases como tales, solo las partículas contenidas en los gases. El polvo recolectado en la tolva es evacuado por medio de diferentes sistemas de desalojo; existen tres tipos de vías de evacuación.

Tornillo sin fin, instalado en la parte inferior de la tolva, el cual transporta el polvo hacia válvulas rotatorias para su posterior evacuación.

Rastra tipo cadena.

Rastra de piso, para precipitadores con piso inferior plano, (sin tolva).

En cada precipitador se tiene una serie de áreas energizadas en la dirección del flujo de gas, llamadas campos, como también de áreas energizadas en paralelo en algunos de los precipitadores.

Cada campo controlado por un conjunto T-R tiene una cierta eficiencia de recolección, dependiendo de su tamaño físico y los niveles de voltaje y corriente que se logren. Cada campo puede considerarse como un precipitador independiente, de modo que la disminución de material de campo a campo determinará la emisión final por la chimenea. Por ejemplo, en un Precipitador de tres campos se podría asumir que el primer campo recolecta un 80% del material procedente del proceso, el campo medio otro 80% y el campo de salida también un 80% del material que sale del campo medio. Lo anterior se representaría en la forma siguiente para un ejemplo 100 kg de partículas que entra al precipitador:

Campo	Entrada	Recolectado	Salida	Eficiencia Acumulada
1º Etapa	100 kg	80 kg	20 kg	80 %
2º Etapa	20 kg	16 kg	4 kg	96 %
3º Etapa	4 kg	3,2 kg	0,8 kg	99,2 %

Tabla 2.0 Ejemplo de recolección de un Precipitador de 3 campos.

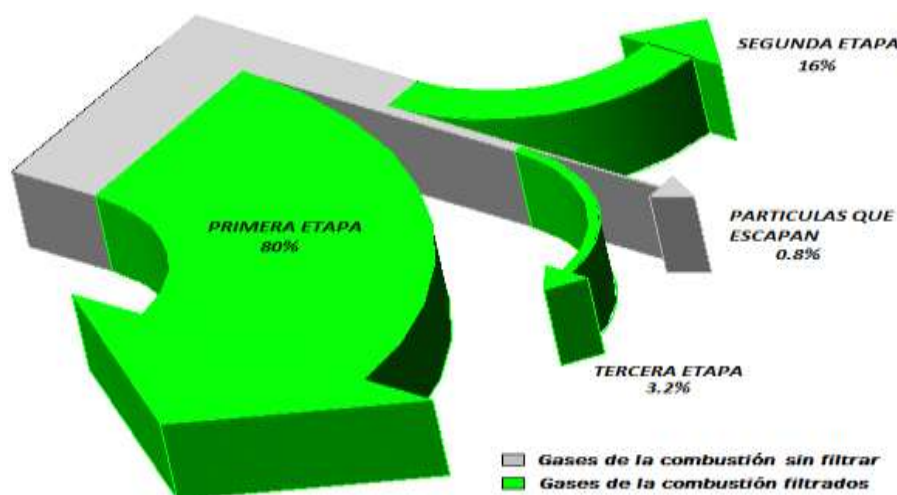


Fig. 2.2 Eficiencia individual de cada campo de un precipitador.

La enorme estructura del precipitador es necesaria para reducir la velocidad de las partículas a medida que se mueven a través del colector con velocidades de 1,5 a 2 m/seg. Esto significa que, con un precipitador de 9 m de largo, la mayoría de las partículas saldrían en alrededor de 5 a 6 segundos si no hubiese suficiente actividad eléctrica adecuada entre el alambre y la placa.

En cambio en los conductos entre el proceso y el precipitador a plena carga se tiene normalmente velocidades del gas de 15 a 18 m/seg.

## 2.2 Componentes del equipo

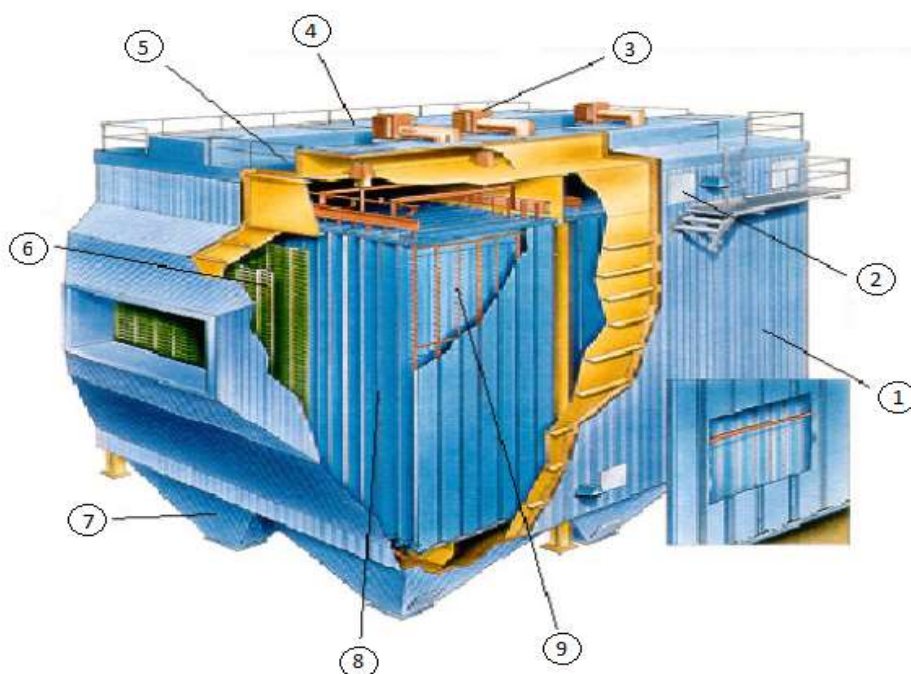


Fig. 2.3 Diseño de un Precipitador instalado en una planta de celulosa.

Nº	Componente	Función
1	Carcasa	Cubrir y soportar electrodos y otros componentes del Precipitador
2	Puerta de inspección	Puerta de acceso para inspeccionar el interior del Precipitador
3	Transformador rectificador	Permite convertir corriente alterna en corriente continua
4	Aisladores de soporte	El sistema de electrodos de descarga está suspendido en la parte superior de estos aisladores



<b>5</b>	Techo	Sostiene los aisladores de soporte y el transformador rectificador
<b>6</b>	Pantalla distribución de gases	Distribuir en forma uniforme el flujo de gas
<b>7</b>	Tolvas	Guardar temporalmente el polvo recolectado antes de desalojarlo.
<b>8</b>	Placas colectoras	Extraer el polvo de grandes volúmenes de gas
<b>9</b>	Electrodos emisores	Generar la descarga de corona en el Precipitador

Tabla 2.1 Función de los principales componentes del PPT

## 2.3 Detalle de los componentes.

### 2.3.1 Estructura

La estructura del precipitador incluye todas las placas de acero y barras de soporte usadas para cubrir y soportar los electrodos y otros componentes del precipitador en un marco rígido, para mantener el alineamiento y configuración adecuados de los electrodos.

La estructura de soporte es especialmente crítica porque los componentes del Precipitador se pueden expandir o contraer debido a las diferencias de temperatura. Tensiones excesivas de temperatura pueden romper las uniones de la estructura, así como otras estructuras.

	<b>Caldera Poder</b>	<b>Caldera Recuperadora</b>	<b>Horno de Cal</b>
Dimensiones	Variable(depene del fabricante y volumen de descarga)	Variable(depene del fabricante y volumen de descarga)	Variable(depene del fabricante y volumen de descarga)
Material	ASTM-A-36	ASTM-A-36	ASTM-A-36
Espesor	5 mm	5 mm	5 mm

Tabla 2.2 Información estructural

### 2.3.2 Pantalla distribuidora de gases

La pantalla distribuidora se ubica en el ducto de entrada del precipitador, justo antes del área de tratamiento. La función principal de estas pantallas es distribuir en forma uniforme el flujo del gas de entrada a través de la sección transversal colectora, en el

área que circunscriben las placas del precipitador. Estas placas, al igual que los otros componentes internos, requieren limpiarse para que la acumulación de polvo sea mínima.

Cada pantalla consta de varios perfiles en forma vertical; entre estos perfiles se han instalado las pantallas; estas placas pueden moverse sin la utilización de herramientas para que la distribución de los gases sea lo más uniforme posible.

	<b>Caldera de Poder</b>	<b>Caldera Recuperadora</b>	<b>Horno de Cal</b>
Tipo	Planchas perforadas 2 pantallas	Planchas perforadas 2 pantallas	Planchas perforadas 2 pantallas
Espesor	2mm	2mm	2mm
Material	Acero carbono SAE 1045	Acero carbono SAE 1045	Acero carbono SAE 1045

Tabla 2.3 Información del material de Pantallas entrada de gases.

### 2.3.3 Placas Colectoras

Las placas o electrodos colectores son normalmente utilizadas por ser un método muy eficiente para la extracción de polvo de grandes volúmenes de gas. Estas placas se forman de acero estructural. (fig. 2.4)

Su sección se diseña de modo que produzca una gran estabilidad de forma así como un buen comportamiento vibratorio.

Estas propiedades se consiguen mediante múltiples repliegues practicados en el centro del electrodo y mediante ranuras en los lados a lo largo del mismo, estando abiertas hacia un solo lado. Además estas ranuras actúan como defensas del flujo, evitando que las partículas ya separadas vuelvan a entrar en el flujo de gases.

	<b>Caldera de Poder</b>	<b>Caldera Recuperadora</b>	<b>Horno de Cal</b>
Material	55 1142.32 (acero estructural de alta resistencia y baja aleación)	55 1142.32 (acero estructural de alta resistencia y baja aleación)	55 1142.32 (acero estructural de alta resistencia y baja aleación)
Separación	400 mm	300 mm	400 mm
Espesor	1.25	1.25	1.5

Tabla 2.4 Información técnica de placas colectoras

### 2.3.4 Electrodo Emisores

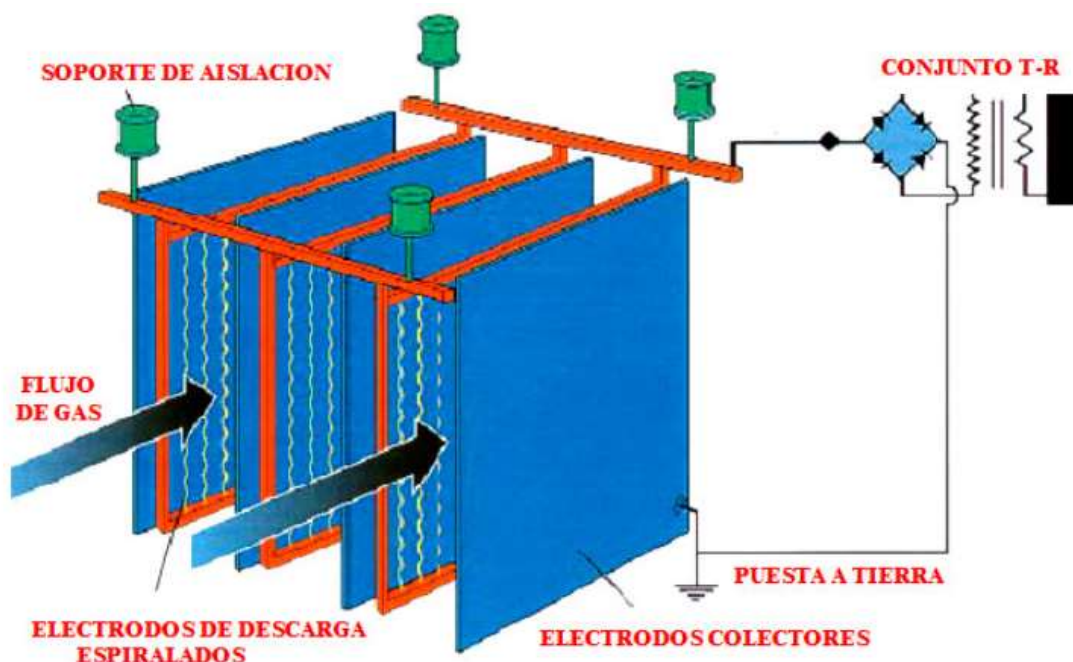


Fig. 2.4 Ubicación de electrodos de descarga o emisores

Los electrodos de emisión son elementos que están conectados al polo negativo del transformador/rectificador de alta tensión; estos producen un campo eléctrico tan alto que provoca descarga eléctrica llamada descarga de corona.

En la mayoría de los precipitadores, los electrodos de descarga son cables delgados, redondos de 1.3 a 3.8 mm. de diámetro, estos pasan por la línea central de cada pasaje de gas en el que hay una serie de electrodos individuales que se mantienen tensos por medio de un peso de hierro fundido, el que sirve para centrarlos. El número de electrodos por área de placa varía, en general, la mayoría de los diseños coloca dos electrodos por cada 460 mm de largo de placa. El número de electrodos por conjunto T-R se presentan en una variedad de formas para cada instalación y constituyen los componentes de alto voltaje en los pasajes del gas.

Los electrodos que salen de la descarga ionizan el gas. Los iones negativos migran hacia la placa colectora de carga positiva. En su trayectoria colisionan con las partículas del gas, cargándolas negativamente y estas también comienzan a migrar en la misma dirección de los iones.

	Caldera de Poder	Caldera Recuperadora	Horno de Cal
Tipo	Espiral	Multipeak	Espiral
Material	Aisi 904 L	DIN 2394	Aisi 904 L
Separación	400mm	300mm	400mm

Tabla 2.5 Información del tipo de electrodos dentro de un PPT

### 2.3.5 Aisladores de Soporte

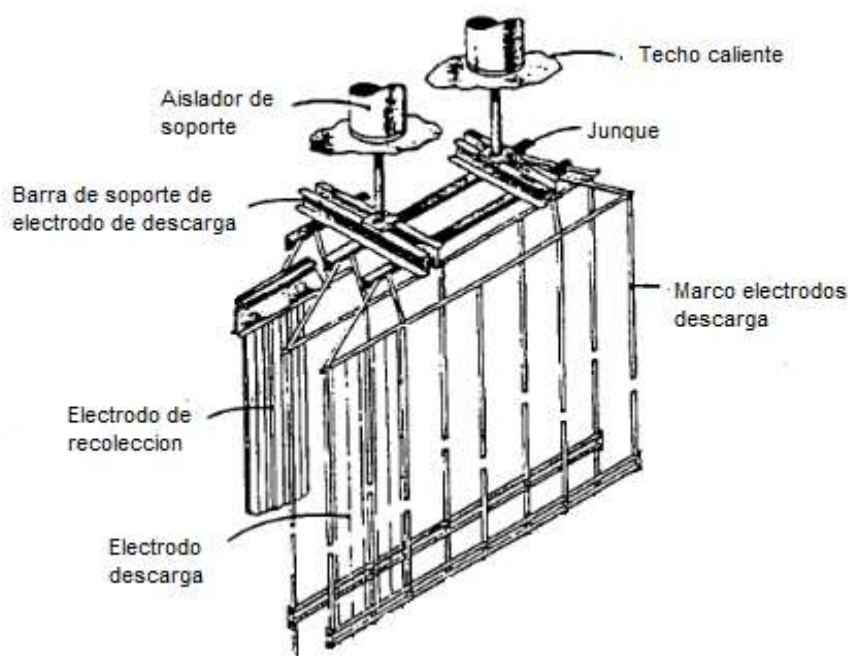


Fig. 2.5 Aislador de soporte

Cada sistema de electrodo de descarga está suspendido en la parte superior del precipitador a través de cuatro aisladores de apoyo cónicos. Estos aisladores de apoyo están montados sobre pestañas especiales y con empaquetaduras especiales en la parte inferior y superior del aislador, para compensar las diferencias en los coeficientes de expansión de los aceros y el material aislante que podrían causar roturas en los aisladores.

Estos aisladores de apoyo cuentan con una tapa superior, lo que hace posible limpiar este sin necesidad de ingresar al precipitador. La conexión entre los aisladores de apoyo y el sistema de electrodos de descarga es flexible, para que ninguna fuerza lateral sea ejercida sobre el aislador.

Estos aisladores de apoyo van instalados en el interior de cámaras aisladas, con un calefactor para controlar la temperatura en el interior y evitar la condensación dentro de los aisladores. En procesos especiales se instala en la cámara un sistema de aire de purga para prevenir la acumulación de polvo en el interior de la cámara y al mismo tiempo mantener una pequeña presión positiva con el mismo propósito.

	<b>Caldera de Poder</b>	<b>Caldera Recuperadora</b>	<b>Horno de Cal</b>
Cantidad de soportes de aisladores	3 a 4 piezas	3 a 12 piezas	2 a 4 piezas
Cantidad de cajas aisladores	3 piezas	3 piezas	2 piezas
Cantidad de revestimiento aislador por	3 piezas	3 piezas	2 piezas

Tabla 2.6 Información de número de aisladores por PPT estudiado

### 2.3.6 Sistema de golpes

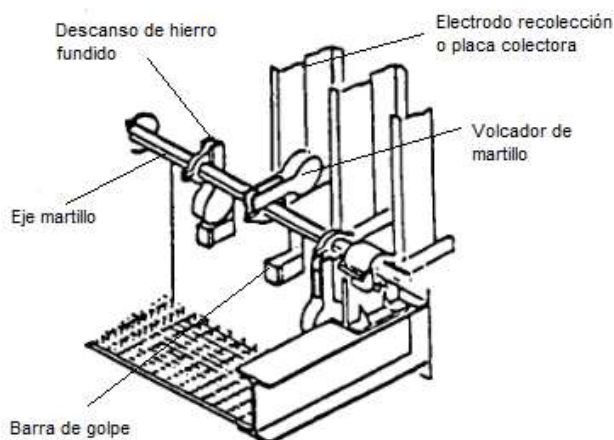


Fig. 2.6 Sistema de golpes del Precipitador

El polvo acumulado en las placas de recolección y cables se desaloja por sacudido. Este sistema de golpes es usado para crear impulsos mecánicos o vibraciones, para limpiar las partes internas del precipitador.

Uno de estos sistemas usa martillos montados en un eje rotatorio; cuando el eje se gira, los martillos caen y golpean el yunque que está unido a las placas de recolección o al marco de alto voltaje. Este sistema de golpe se puede montar en la parte superior o lateral de las placas de recolección.

La intensidad del sacudido está controlada por el peso de los martillos y la longitud del brazo de montaje de los martillos

Este tipo de sistema es usado en todos los precipitadores.

	<b>Caldera de Poder</b>	<b>Caldera Recuperadora</b>	<b>Horno de Cal</b>
Tipo	Golpe Martillo	Golpe Martillo	Golpe Martillo
Placa	Sist. Recolección	Pantalla Entrada distribución de gases	Pantalla de entrada
		Sistema Colector	Sistema Colector
		Sistema Emisión	Sistema Emisión

Tabla 2.7 Tipos de martillo, dependiendo su distribución interior

### 2.3.7 Tolvas



Fig. 2.7 Precipitador con tolva de Horno de Cal

Las tolvas se usan para guardar temporalmente el polvo recolectado antes de desalojarlo. Están diseñadas con una inclinación de 60° para permitir la caída libre del polvo de la parte superior de la tolva a la apertura de descarga. Los diseños de

las tolvas incluyen puertas de acceso que facilitan la limpieza, inspección y mantenimiento de las tolvas.

El polvo recolectado de las tolvas puede crear problemas especiales si no se remueve rápida y continuamente. Por ejemplo, cuando el polvo se enfría y hay humedad presente, se endurece y se vuelve difícil de remover. Otro problema es el sobrellenado. Cuando se acumula tanto polvo que este toca la parte inferior de los electrodos de descarga, puede crear un corto circuito en todo un campo eléctrico. Otros problemas de puente y apelmazamientos también pueden ocurrir, requiriendo que algún tipo de fuerza los remueva. Se pueden usar placas de golpeo, orificios para introducir varas, vibradores, sacudidores y bocinas acústicas.

También es muy importante saber que a altas temperaturas el polvo se vuelve fluido. Se debe tener mucho cuidado al abrir la puerta de la tolva o cuando se trate de desalojar el material.

Las tolvas deben estar cubiertas con material aislante (100 a 150 mm de espesor) y calentadores para conservar el calor y prevenir la corrosión debido a la condensación del vapor de agua y ácidos en los componentes internos.

Este tipo de tolva es utilizable para el precipitador de la caldera de poder y el precipitador de horno de cal.

### **2.3.8 Válvulas Rotatorias**

Las válvulas rotatorias son los aparatos de descarga más comúnmente usados. La válvula se diseña con una rueda con aspas, montada en un eje y accionada por un motor eléctrico.

La válvula rotatoria es similar a una puerta giratoria; las aspas forman un sello hermético con la estructura, y el motor lentamente mueve las aspas para permitir la descarga del polvo que está en la tolva.

### **2.3.9 Sistema de Remoción de polvo**

**Cadena de arrastre:** se encuentra ubicado en la parte inferior de la tolva, es accionado por un motor reductor, este transportador desaloja el polvo existente directamente hacia el exterior; la caída de polvo es controlada por válvulas rotatorias

que se encuentran en la parte superior de la tolva. Se utiliza en el precipitador de la caldera de poder y horno de cal.



Fig. 2.8 Sistema de remoción cadena de arrastre.

**Rastra de polvo:** este tipo de transportador es utilizable en los precipitadores cuyo fondo es de piso horizontal, es accionado por un motor, el cual acciona un reductor por intermedio de una cadena de transmisión. Las zapatas en el interior del precipitador transportan el polvo hacia un transportador transversal de cadenas para su posterior desalojo. Se utiliza en el precipitador de la caldera recuperadora.

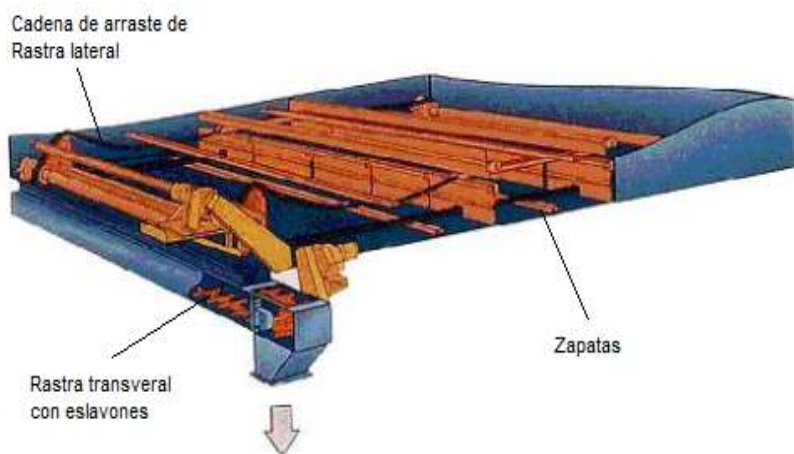


Fig. 2.9 Rastra polvo de piso



### 2.3.10 Sistema de Dámper



Fig. 2.10 Dámper de persiana

Los dámpers se usan para aislar el Precipitador del flujo de gases cuando se quiere intervenir el equipo.

Normalmente los diseños de los Precipitadores consideran un ducto by-pass para mantener el proceso en servicio cuando el equipo está en mantención, estos ductos están ubicados en la entrada y salida del Precipitador.

Existen dámpers para aislar gases y otros para controlar flujo. Generalmente los dámpers para aislar son del tipo disco y los dámpers para control de flujo son del tipo persiana. (fig. 2.10)

## 2.4 Procesos relacionados a los precipitadores instalados en una planta de celulosa.

Los diferentes precipitadores que están instalados en una planta de celulosa varían de acuerdo al proceso en que sean ubicados, volumen de flujo de gas, temperatura de proceso, etc. A continuación daremos a conocer los procesos de precipitadores de la caldera de poder, caldera recuperadora y horno de cal.

### 2.4.1 Caldera de Poder

La caldera de poder cumple un papel fundamental en las plantas de celulosa ya que los vapores a alta presión que se transportan en los tubos de las paredes alimentan

los turbogeneradores generando así la energía eléctrica que se ocupa en el proceso productivo. Utiliza como combustible una mezcla aserrín y corteza lo cual producto de la combustión genera gases orgánicos contaminantes para el medio ambiente, es por esto, que el precipitador electrostático tiene un rol muy importante en el proceso productivo ya que, a través de este dispositivo los gases de combustión se separan, ingresando estos gases alrededor de 200°C. El precipitador capta las cenizas en suspensión, disminuyendo las emisiones a la atmosfera. Estas cenizas son transportadas en camión a un patio de acopio.

Generalmente las calderas de poder operan con 1 precipitador de 3 campos.

#### **2.4.2 Caldera Recuperadora**

La caldera Recuperadora al igual que la caldera de poder tiene por finalidad alimentar a los turbogeneradores que generan energía eléctrica, la diferencia radica en que aparte de alimentar los turbogeneradores, este equipo es el principal del sistema de recuperación química, en ella se quema licor negro (licor blanco o agua + lignina) concentrado provenientes de los evaporadores, generándose licor verde, durante la combustión se quema el material orgánico e inorgánico presente en el licor. La materia orgánica produce el calor que se utiliza en la generación de vapor. El material inorgánico genera un fundido que al disolverlo con licor blanco débil produce licor verde, que pasa al área de caustificación.

Los grandes flujos de gases provenientes de la combustión hacen que se empleen entre 3 a 4 precipitadores de 3 campos, la cantidad también radica en los gases que son más contaminantes que los provenientes de la caldera de poder ya que, en su proceso de combustión queman materias inorgánicas, estos gases están alrededor de 180°C al pasar por el proceso de precipitación, producto de esto separa el sulfato de sodio que corresponde al material particulado de la combustión alcanzando una eficiencia colectora de 99,7%, se acumula y se envía a los evaporadores.

#### **2.4.3 Horno de cal**

En el horno de cal se realiza la calcinación del carbonato de calcio, proveniente del lodo de caustificación, generando oxido de calcio o cal viva, que se usa nuevamente

en caustificación, a este carbonato de calcio se le aplica calor proveniente de petróleo y gas natural.

Como en este proceso hay un menor flujo de gas en comparación a las calderas, generalmente se emplea 1 precipitador de 2 campos con electrodos de descarga multipeaks, que están formados por alambres con púas.

## Capítulo Nº 3 FALLAS COMUNES

En este capítulo se describirán las fallas más comunes que tienen los PPT, para lo cual se tiene que detener el equipo, esto conlleva a realizar mantenciones correctivas, para volver a tener en funcionamiento el equipo. A continuación se enunciarán las fallas con sus posibles causas y a su vez se describirán fotos demostrativas de algunas fallas en los PPT.

-Transportador de polvo trabado: entre las posibles causas es que el motor de accionamiento tenga problemas, falla del reductor o que el equipo trabaja sobrecargado, falta de zapatas en el transportador.

-Cadena de transmisión del transportador que trabaja con tirones: esto puede ser producto por desgaste de la cadena, que está muy larga la cadena o desgaste los dientes del sprocket motriz y/o conducido.

-Succión por puertas de inspección: esto puede llevar que el sello de las puertas estén en mal estado, que las empaquetaduras estén muy gastadas o que haya deformación en el alojamiento del sello.

-Bujes sistema de golpe martillos agripados: esto puede ser causado por el endurecimiento del sulfato (en PPT caldera recuperadora) entre el buje y eje o simplemente que los bujes estén deteriorados.

-Motorreductor de accionamiento golpe de martillos falle por sobrecarga: esto puede ser causado porque los descansos del eje del sistema estén agripados, que el martillo de golpe este trabado a la estructura o que estén desgastados los engranajes del reductor.

-Válvula rotatoria que se trabe: esto puede ser que el sistema de accionamiento no esté trabajando o que ingresen elementos extraños en el interior de la válvula, o que se solidifiquen los polvos evacuados en el interior de la válvula.

-Acumulación excesiva de sulfato en las pantallas de entrada: esto puede ser causado porque el ventilador esté trabado o que se esté infiltrando aire por debajo de lo normal y permite que exista humedad y solidifique el sulfato en la parte inferior impidiendo que este fluya.

-Endurecimiento de sulfato: esto puede ser causa que exista humedad por la infiltración de aire al PPT causado por grietas en la carcasa o por las puertas de inspección mal cerradas.

-Arco entre el marco de electro y la placa colectora: esto es causado porque las placas colectoras se encuentran sin los clips que las unen.

-Electro corrosión: esto puede ser causado porque el marco electrodo esté desalineado, produciendo que la distancia de tolerancia entre placa colectora y electrodo de descarga sea menor a 150 mm.

-Capa de polvo excesiva en placas colectora: esto puede ser producto de la pérdida de energía de los mecanismos de transmisión en los sacudidores por conexiones flojas o por los ensambles de los martillos de sacudido mal alineados, gastados o que no tenga las sufrideras donde golpea el martillo. Esto trae consigo que al ser excesiva la capa de polvo altera la generación de voltaje corriente características de los electrodos de descarga en el radio de curvatura esencial, para generar la corona de descarga.

-Tolvas con acumulación de ceniza o sulfato: esto puede ser causa de la caída de electrodos o contrapesos de los martillos, detención de las válvulas rotatorias o tornillos que evacúan la ceniza, o tal vez la falla en la aislación térmica de las tolvas, fallas en los sistemas de calefacción de las mismas o infiltración de aire a las tolvas y/o fallas en las puertas o escotillas de acceso.

### FOTOS DEMOSTRATIVAS

	
<p><i>Acumulación de sulfato en pantallas de entrada del PPT producto de la humedad</i></p>	<p><i>Corte por arco entre placa y marco electrodo</i></p>
	
<p><i>Fisura estructural en entrada de puerta de inspección inferior y nivel de sulfato acumulado en piso</i></p>	<p><i>Electro corrosión en placas por desalineamiento</i></p>

Fig. 3.1 Fallas comunes en PPT.

## Capítulo Nº 4 ANALISIS DE CRITICIDAD

El análisis de criticidad es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones. Este análisis permite así mismo identificar las áreas sobre las cuales se tendrá una mayor atención del mantenimiento en función del proceso que se realiza.

La información recolectada en un estudio de criticidad puede ser usada para:

- Priorizar órdenes de trabajo de producción y mantenimiento.
- Dirigir las políticas de mantenimiento hacia las áreas o sistemas más críticos.
- Definir necesidades de mantenimiento basado en condición.
- Priorizar proyectos de inversión.
- Seleccionar una política de manejo de repuestos y materiales.

Los pasos para la aplicación del Análisis de Criticidad son:

- Identificación de los equipos a estudiar.
- Definición del alcance y objetivo de estudio.
- Seleccionar al personal sobre la importancia del estudio,
- Recolección y verificación de datos.

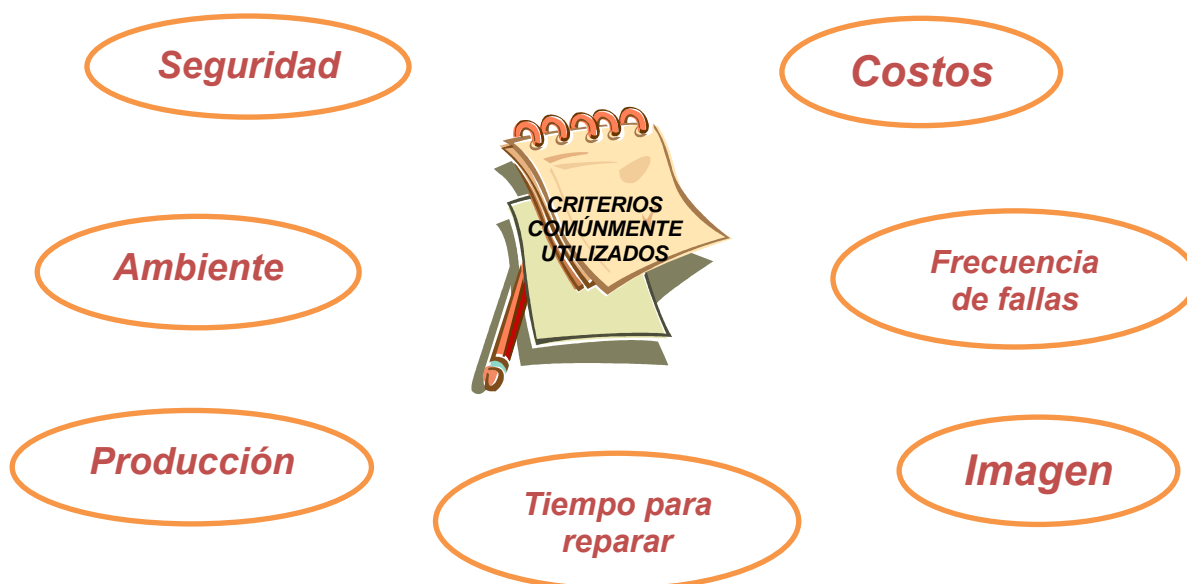


Fig. 4.1 criterios utilizados en el análisis de criticidad

La condición ideal es disponer de información estadística de los equipos a evaluar y que esta sea precisa, lo cual permite cálculos exactos de los equipos, sin embargo desde el punto de vista práctico cuando no se dispone de una data histórica de excelente calidad, se debe recoger la información utilizando encuestas teniendo en cuenta que el análisis de criticidad permite trabajar en rangos, es decir, establecer cuál sería la condición más favorable, como también la condición menos favorable para cada uno de los criterios a evaluar

Existen varios métodos para realizar un análisis de criticidad.

El presente estudio propone una metodología para determinar la criticidad de un equipo o módulo funcional.

Se determinan las variables que influyen sobre la criticidad y se cuantifican sus efectos. Se define un método de cálculo que permite encuadrar los resultados en bandas de criticidad, que finalmente se utiliza para establecer la estrategia de mantenimiento a la que será sometido el equipo o módulo.

El presente análisis de criticidad tiene por objetivo:

- Definir la criticidad para ser empleada en los planes de mantenimiento.
- Establecer las variables que van a influir sobre la criticidad.
- Cuantificar la incidencia de cada variable y lograr niveles de criticidad cuantificados en una escala de 0 a 100.
- Definir tres tipos de criticidad, encuadrando los niveles calculados dentro de bandas

#### **4.1 Evaluación de la criticidad.**

*Definición.* La criticidad es una medida ponderada que considera los siguientes aspectos:

1. **El Efecto** que provocaría una falla del módulo funcional (o equipo) dentro del proceso.
2. **La velocidad** de reparación de la falla.
3. **La frecuencia** de ocurrencia de la falla.

- El criterio es considerar la criticidad como un indicador de la “magnitud del problema” que ocasiona la falla de un módulo o equipo. Una vez obtenido el nivel de criticidad, éste será empleado para definir la estrategia de



mantenimiento de ese módulo o equipo. O sea que todos los criterios que se adoptan para definir y cuantificar la criticidad, sirven para decidir finalmente una estrategia de mantenimiento.

- La magnitud del problema o criticidad depende de tres aspectos:

**a) El efecto:** está en función de:

- MAS : efecto cuantificado sobre el Medio Ambiente y Seguridad
- PROD : efecto cuantificado sobre la Producción
- COP : efecto cuantificado sobre Costos Operativos.
- stby : disponibilidad de equipos de reserva, esto se refiere si hay más de un equipo que esté funcionando en paralelo para suplir alguna detención por falla.

**b) La velocidad de reparación:** está en función de:

- TMAFS : tiempo máximo admisible fuera de servicio
- TEF : tiempo en falla

**c) Frecuencia de fallas:** está en función de:

- MTBF : tiempo medio entre fallas
- Historial : Considera datos históricos del equipo
- Nivel de Carga : es el nivel de carga a la que se somete al equipo respecto a su capacidad nominal.
- Régimen : es el régimen de trabajo horario al que es sometido el equipo.
- fff : factor de frecuencia de fallas, cuantifica la influencia de todas la variables de frecuencia de fallas.

La criticidad se evalúa mediante la ecuación:

$$\text{Criticidad} = \{[(PROD + COP) * stby] + MAS\} * fff$$

A continuación se dará un marco cuantificado para poder realizar la ecuación

### **Cuantificación de la Velocidad de Reparación**

**TMAFS** es el tiempo en hrs. que tolera la instalación asociada al equipo o módulo en falla antes de manifestar pérdidas de producción o efectos sobre el medio ambiente y/o seguridad.

- **TEF** es el tiempo en hrs. que el equipo o módulo está en condición de falla. Es recomendable obtener este valor para cada módulo, a partir de la experiencia

operativa del personal de mantenimiento. Para su cómputo se considera la disponibilidad de recursos de mano de obra, repuestos, herramientas, contratos de servicios, etc. TEF es la sumatoria de tiempos que se van acumulando:

- **TEF** = demora en detección + demora en aviso + tiempo consumido en obtener disponibilidad de recursos necesarios + tiempo neto de reparación + tiempo de puesta en marcha.
- Este cálculo es fundamental para evaluar los efectos posteriormente:
- Si  $TEF < TMAFS$  no habrán efectos o serán leves.
- Si  $TEF > TMAFS$  los efectos serán más significativos a medida que la diferencia sea mayor.

En caso de no tener datos precisos para determinar el tiempo consumido en obtener la disponibilidad de todos los recursos necesarios, se puede utilizar como guía la siguiente tabla:

**Estimación de demoras para obtener disponibilidad de recursos**

<b>Recursos</b>	<b>Condiciones</b>	<b>Tiempo estimado</b>
Mano de obra	Requiere mantenimiento especializado, no disponible en el área, sin contrato vigente	2 meses
	Requiere mantenimiento especializado, no disponible en el área, con contrato vigente	3 días
	Requiere mantenimiento disponible en el área	0
Repuestos	Requiere repuestos de alto plazo de entrega/importado	16 semanas
	Requiere de repuestos de medio plazo de entrega	8 semana
	Requiere de repuestos de corto plazo de entrega	1 semana
	Requiere de repuestos existentes en stock	0

Tabla 4.1 Estimación de demoras

**Cuantificación del Efecto.**

- Cuantificar el efecto es la ponderación fundamental de la criticidad. Para ello se asigna los siguiente pesos relativos entre las variables de efecto: 45% para PROD, 45% para MAS, y 10% para COP.

Efecto	ALTO		BAJO		NULO	
	Definición	Valor	Definición	Valor	Definición	Valor
PROD	La falla provoca una pérdida importante dentro de un proceso	<b>45</b>	La falla provoca alguna pérdida dentro del proceso	<b>23</b>	La falla no provoca pérdidas productivas dentro del proceso	<b>0</b>
MAS	La falla provoca un efecto grave de seguridad y/o al medio ambiente	<b>45</b>	La falla provoca un efecto leve de seguridad y/o al medio ambiente	<b>23</b>	La falla no provoca efecto de seguridad y/o al medio ambiente	<b>0</b>
COP	La falla genera un costo operativo mayor o igual a \$ 2.700.000	<b>10</b>	La falla genera un costo operativo	<b>5</b>	La falla no genera costos operativos	<b>0</b>

Tabla 4.2 Valores cuantificados de la ecuación de criticidad.

**Cuantificación de Frecuencia de Fallas.**

- La frecuencia de falla influye directamente sobre el valor de criticidad, ya que indica una repetición del efecto.

	<b>Alta</b>		<b>Media</b>		<b>Baja</b>
FRECUENCIA DE FALLA	Ocurren > 4 fallas por año. MTBF < 3 meses	Ocurre entre 1 y 4 fallas por año. MTBF en 3 y 12 meses	Ocurre entre 0.2 y 1 fallas por año. MTBF en 1 y 5 años	entre 0.1 y 0.2 fallas por año. MTBF en 5 y 10 años	Menos de 0.1 fallas por año. MTBF > 10 años
VALOR DE fff	<b>1</b>	<b>0,9</b>	<b>0,8</b>	<b>0,6</b>	<b>0,4</b>

Tabla 4.3 Cuantificación de frecuencia de fallas para introducir en ecuación.

Una vez determinados los valores de efecto, velocidad de reparación de la falla y frecuencia de ocurrencia de la falla, se cargan en la ecuación y se calcula la criticidad. El valor de la ecuación se introduce en la tabla presentada a continuación y se obtiene la CRITICIDAD del módulo y del equipo

TIPO de CRITICIDAD	VALOR DE CRITICIDAD
TIPO A	CR > 40
TIPO B	40 > CR > 20
TIPO C	CR < 20

Tabla 4.4 Nivel de criticidad de acuerdo a calculo obtenido.

De acuerdo a esta metodología de análisis, se realizó una encuesta a personal de IMASEL con respecto a las mantenciones que les realizan a estos equipos para tener el registro de los valores, relacionarlos a datos de las tablas anteriores y llevarlos a la ecuación para evaluar la criticidad de los equipos estudiados. De acuerdo a los datos obtenidos en la encuesta del personal solo se calculará la criticidad de los equipos ya que no tenían información al respecto de las variables para calcular la cuantificación de la velocidad de reparación.

#### PPT Caldera de Poder

PROD = 23

COP = 5

Stby = 0

MAS = 45

Fff = 0.8

**Criticidad** =  $\{[(23 + 5) * 0] + 45\} * 0.8 = 36$

PPT Caldera Recuperadora

PROD = 0

COP = 5

stby = 2

MAS = 45

Fff = 0.9

$$\text{Críticidad} = \{[(0 + 5) * 2] + 45\} * 0.9 = 81$$

PPT Horno de cal

PROD = 45

COP = 5

stby = 0

MAS = 45

fff = 0.8

$$\text{Críticidad} = \{[(45 + 5) * 0] + 45\} * 0.8 = 36$$

De acuerdo a los datos obtenidos de la ecuación dan como resultado que los equipos de la Caldera Recuperadora tienen un nivel alto de criticidad, mientras que los equipos de la Caldera de Poder y Horno de Cal tienen un nivel de criticidad moderado, lo cual conlleva a elaborar el plan de mantenimiento preventivo que prolongue su funcionamiento en tiempo periódico.

## Capítulo N°5 PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Para diseñar un plan de mantenimiento preventivo hay que ceñirse al marco teórico para comprender y aplicar esto al diseño.

### 5.1 El mantenimiento preventivo

Es la ejecución planificada de un sistema de inspecciones periódicas, cíclicas y programadas y de un servicio de trabajos de mantenimiento previsto como necesario, para aplicar a todas las instalaciones, máquinas o equipos, con el fin de disminuir los casos de emergencias y permitir un mayor tiempo de operación en forma continua. Es decir, el mantenimiento preventivo, se efectúa con la intención de reducir al mínimo la probabilidad de falla, o evitar la degradación de las instalaciones, sistemas, máquinas y equipos.

Es la intervención de mantenimiento prevista, preparada y programada antes de la fecha probable de aparición de una falla. En definitiva, se trata de dotar a la organización, de un sistema que le permita detectar y corregir el origen de las posibles fallas técnicas y no reparar las consecuencias de las mismas, una vez que éstas se han producido.

Cualquiera que sea el nivel de mantenimiento preventivo aplicado, subsistirán inexorablemente fallas residuales de carácter aleatorio.

Y en forma general, reduciendo los imprevistos o fortuitos, se mejora el clima en cuanto a las relaciones humanas, porque sabemos que cuando sucede algún problema, se crea una tensión a nivel de personas.

### 5.2 Objetivos del mantenimiento preventivo

Las metas más importantes del mantenimiento son: calidad, rapidez y costo. Un trabajo no se puede dar por terminado y despreocuparse de él si no está bien acabado. Como ya sabemos podemos jugar un poco con el tiempo, ya que al mantener y no corregir, tenemos un margen más amplio para poder trabajar con sosiego, por lo tanto debemos trabajar bien. No se puede aceptar ningún trabajo mal ejecutado, ni conservar el personal que así lo haga. Hay dos soluciones: o

cambiarles el método de trabajo o cambiarlos de hecho. Cualquiera de las dos es una solución económica.

En mantenimiento hay que lograr rapidez y costo razonable. Normalmente son trabajos cortos los que se efectúan y por tanto susceptibles de un buen presupuesto. Para ello es necesario trabajar con método: buena organización al establecer el sistema, procedimientos sencillos de coordinación y mantener un control riguroso. Es imprescindible un mínimo de medios materiales. Es necesario pedirlos y utilizarlos a medida que se posean. El resultado obtenido será tan satisfactorio que no se podrá reprochar la inversión al adquirirlos.

No hay que olvidar nunca que el mantenimiento debe reportar una economía ya que en caso contrario no es interesante, por ello se debe llevar una organización perfecta en la distribución del trabajo a fin de evitar en lo posible estos tiempos muertos

### **5.3 Ventajas del mantenimiento preventivo**

Cualquier programa de Mantenimiento Preventivo bien proyectado, que sea convenientemente aplicado, proporciona beneficios que sobrepasan los costos.

Entre las múltiples ventajas del Mantenimiento Preventivo, las más importantes son las siguientes:

- Reducción de las paradas imprevistas de los equipos. Se disminuye el tiempo ocioso, en relación con todo lo que se refiere a economías y beneficios para la compañía.
- Al desarrollarse el programa de mantenimiento preventivo, se podrá observar un alto rendimiento de la maquinaria y se tendrá un aumento en la vida útil, debido al mantenimiento periódico que se le brinda, esto influye a que se conserve el buen servicio y disponibilidad de la maquinaria y es un beneficio que se podrá observar a corto y largo plazo.
- El mantenimiento preventivo aplicado en las máquinas de la empresa, busca mantener el servicio de toda la maquinaria basándose en trabajos que requieren un costo mínimo para su ejecución, con el fin de corregir problemas que de no atenderse, puedan transformarse en un paro de mantenimiento correctivo de alto costo de mantenimiento.

- La asignación de tareas de mantenimiento preventivo a todos los operarios de la planta, disminuirá considerablemente el tiempo de ocio así como el pago de horas extras en trabajos que pueden programarse de una forma adecuada en la semana normal de trabajo.
- Se tiene una disminución de los accidentes durante la ejecución de mantenimientos a las máquinas, debido al trabajo programado según procedimientos escritos y no trabajos de emergencia bajo alta presión, para entregar el equipo lo más pronto posible.
- Menores costos de producción por menos cantidad de productos defectuosos, debido a la correcta graduación de los equipos.
- Es fuente incalculable de valiosos datos estadísticos.

#### **5.4 Programas de Mantenimiento Preventivo**

En cada industria dependiendo de sus actividades, es posible establecer un programa diferente de Mantenimiento Preventivo. Este varía de acuerdo al tipo de fábricas, plantas dentro de una misma industria, procesos, equipos, sistemas de operación, localización, etc. Un plan de Mantenimiento Preventivo debe ser flexible, dinámico, muy laborioso y cambiante con las experiencias adquiridas. Los principales programas de Mantenimiento Preventivo de aplicación industrial se pueden agrupar en tres:

**Mantenimiento Preventivo Periódico Permanente.** Programa de actividades realizado de acuerdo a un orden lógico de acciones de mantenimiento, basadas en las recomendaciones de los fabricantes.

**Mantenimiento Preventivo Periódico Productivo.** Es un programa elaborado en un 100% de acuerdo con las necesidades productivas de la organización, se realiza después de elaborar los programas de producción.

**Mantenimiento Preventivo Periódico por Over Haul.** Programa de actividades aplicable en la paradas generales de planta que paran totalmente las actividades productivas durante una o dos veces al año.

Este último tipo de programa es el que se aplica en las plantas de celulosa, ya que realiza una parada general de planta una vez al año, esto trae por consiguiente que



los precipitadores electrostáticos se les realiza mantención sólo en este periodo, esto hace que se limite el tiempo de mantención con respecto a los otros equipos de la planta. Generalmente se trata de adelantar la partida de la planta en estas paradas generales, para seguir con el proceso productivo de celulosa, esto acarrea que se le limite el tiempo de mantención de los precipitadores priorizando los trabajos más críticos.

A raíz de que estos trabajos de mantención no quedan totalmente terminados, regularmente fallan una a dos veces al año, por otro lado también no está la totalidad de los repuestos, lo cual trae consigo tener que realizar mantenimiento correctivo, para volver a poner en funcionamiento los precipitadores.

Al parar el precipitador por alguna falla en el proceso productivo, tiene por consecuencia que se tengan que detener los equipos que están antes de los precipitadores, lo cual tiene un alto costo monetario y de tiempo porque el proceso de detener y poner luego en funcionamiento requiere varias horas. Dentro de los precipitadores que están en la planta los más críticos son los de la caldera de poder y horno de cal, puesto que en ellos hay solo un precipitador, esto difiere en relación con la Caldera Recuperadora porque generalmente hay tres, por los grandes flujos de gas que genera el proceso de combustión del quemado de licor negro, que es un residuo de la cocción de astillas y corteza proveniente del digestor.

Anteriormente se realizó un análisis de criticidad de los Precipitadores instalados en una planta de celulosa lo cual arrojó sus respectivos resultados para cada equipo.

A raíz de los resultados obtenidos y de las mantenciones correctivas que se les realiza, se diseñará un plan de mantención para que el funcionamiento de los equipos sea por periodos prolongados.

Para comenzar con el diseño del plan, se tiene que todos los precipitadores tienen el mismo principio de funcionamiento, por ende se realizara el plan de mantenimiento general para todos ellos, igual este se diferenciara entre los equipos que están dentro del Precipitador y los que están en el exterior.

El primer paso es realizar una inspección completa del precipitador:

- Inspeccionar la unidad T-R: en él se verifica que los filtros de aire del gabinete del conjunto rectificador no estén fisurados, así no habrá infiltración de polvo al interior del gabinete.
- Revisar cámaras de aisladores y soporte de electrodos.
- Detectar posibles infiltraciones de aire: estas se deben realizar en las juntas de expansión y puertas, como así igual en las paredes internas por deterioro de carcasa.
- Accionamiento golpe de placas y electrodos: revisar todos los martillos que estén en su correcto sentido de giro, que no estén agripados, que estén todos los descansos y ejes, el motorreductor con su respectiva lubricación, la prensa estopa pasada de eje, el sistema estructural y el aislador de eje del sistema de golpe electrodo que no esté fisurado ni agrietado.
- En los dámperes: revisar el acoplamiento al motor, articulaciones y pivotes, rodamientos, persianas, sistema estructural y lubricación.
- Válvulas rotatorias: verificar flanges, rodamientos, motorreductor, sprockets, su lubricación y que no exista fugas.
- Rastra de fondo: en esta área se debe verificar el estado de los barredores, eslabones, pasadores, seguros, zapatas, motorreductor, los sprocket motriz y conducido, los rodamientos, la cadena, prensa estopa pasada de eje y la lubricación.
- Tolvas: vaciar la tolva de ceniza y eliminar cualquier acumulación residual de polvo en las piezas internas. Revisar y reparar todos los detectores de nivel. Comprobar, limpiar y reparar las válvulas de descarga de polvo.
- Alineación de las placas y cables. Cualquier inclinación o desalineamiento necesita corrección. Esta verificación debe realizarse para cada conjunto de placas de campo dentro del precipitador.
- Transportador transversal: verificar el tornillo sinfín descansos, prensa estopa pasada de ejes, sprockets, cadena de transmisión, sistema estructural y la lubricación con la aislación térmica.

Pantalla de gases: verificar que se encuentren todas las placas de la pantalla de entrada.

Para realizar la inspección completa del PPT, esta se debe hacer primero en sucio, para identificar más fácilmente las fallas más evidentes y si hay acumulaciones de polvo en algún sector determinado que precipite el PPT para ver las repuestas de el porque se generó eso, al tener esta inspección realizada se lleva a cabo la limpieza general del PPT para revisar sus componentes en limpio.

El segundo paso tiene que ver con las reparaciones que se tienen que realizar:

-Pared interior: se tiene que realizar un ensayo no destructivo por ultrasonido por sectores para ver los espesores que tienen las paredes internas con respecto a mantenciones anteriores, de tener un espesor crítico, se corta el tramo reemplazándose por otro del mismo material de forma calzada por medio de soldadura y posteriormente se realiza un ensayo no destructivo por tintas penetrantes a la soldadura, esto verifica que no queden grietas en el cordón.

-Desalineamiento: este tipo de reparación tiene que diferenciarse entre placas colectoras y electrodos de descarga

- Enderezamiento de las placas colectoras cuando haya pandeo excesivo mediante aplicación de prensa hidráulica, calentamiento localizado con soplete, retiro y cambio de los soportes de las placas. Si es necesario realizar un reemplazo mayor de las placas, se deberá retirar la parte superior del precipitador.
- Corrección y reemplazo de electrodos: Los electrodos doblados o el desalineamiento de las guías y marcos de soporte son una causa que muy a menudo causan problemas al interior del precipitador. En caso de encontrar esto se debe reemplazar el marco. Si la distorsión no es mayor y sólo algunos electrodos presentan soldadura, entonces pueden eliminarse. Se debe tener en consideración que el PPT puede funcionar como máximo con el 90% del total de electrodos, si este porcentaje baja, afecta la eficiencia de éste.

-Sistema de golpe: se tienen que cambiar los descansos más gastados de los ejes de martillo, a su vez los martillos que no se encuentren, como los que estén más agripados.

- Vaciar la tolva de los polvos precipitados y eliminar cualquier acumulación residual de polvo en las piezas internas, reparar todos los detectores de nivel. Comprobar, limpiar y reparar las válvulas rotatorias de descarga de polvo.

Otro punto en la mantención es el cambio de componentes, ya que hay algunos que tienen un periodo de funcionamiento establecido en el cual aseguran su calidad de servicio, esto se define por registros históricos por parte de planta y a informes por trabajos realizados por la empresa de servicios que realiza la mantención a estos equipos. De acuerdo esto, a continuación se describirán los componentes con sus respectivos periodos de cambio:

Frecuencia de cambio de 6 meses

- Cambio empaquetaduras rastra de polvo.
- Revisión de rodamientos por eje de transportadores.
- Cambio empaquetadura de válvula rotatoria.
- Cambio placas distribución de gases pantalla entrada.
- Mantención rodamientos y cadenas transmisión transportador PPT.
- Cambio aisladores.
- Cambio zapatas rastra interna PPT.

Frecuencia de cambio una vez al año

- Cambio rodamientos ejes transportadores.
- Cambio sello en puertas superiores.
- Cambio empaquetadura pasada de eje golpe de martillo.
- Cambio cadena de arrastre transportador transversal.

Frecuencia de cambio cada 2 años

- Cambio de pletina desgaste transportador transversal.
- Cambio válvulas rotatorias.

- Cambiar eje conducido y cadena de arrastre del transportador transversal.
- Cambio de eje motriz y cadena en rastra de polvo.

De acuerdo a los resultados del análisis de criticidad se realizó el plan de mantenimiento igual para todos los equipos ya que tienen el mismo principio de funcionamiento, pero de acuerdo a los resultados, el nivel de criticidad de los PPT de la caldera recuperadora es muy alto, es por esto que se realizará un plan de inspección y mantenimiento semanal.

Cualquier cambio aparente debe advertirse con el fin de anticipar las medidas que permitan mantener el equipo funcionando dentro de los parámetros nominales y/o programar mantenimientos. La aplicación de este tipo de revisiones permite un mejor diagnóstico de funcionamiento del precipitador así como la programación adecuada de las inspecciones a realizar en los períodos de mantenimiento. Los datos de funcionamiento semanales serán revisados y comparados con los valores normales o de puesta en servicio de equipo. La Inspección física del precipitador incluirá:

- Revisión, limpieza y/o reemplazo de los filtros de aire del gabinete del conjunto rectificador. Comprobar también los circuitos y disipadores de calor que evitan la acumulación de polvo. Limpiar si es necesario.
- Verificar la operación de los martillos. Se debe activar cada conjunto de martillos. Los que no operen deberán ser identificados y se debe programar su reparación o reemplazo. Si se detecta algún problema con la operación de los martillos se debe realizar el ajuste de los parámetros de funcionamiento del sistema. Todos los ajustes nuevos deben ser registrados y también se deberá mantener especial atención al rendimiento y operación del sistema durante la semana siguiente.
- Verificar la temperatura y nivel de aceite en el transformador.
- Comprobar la presurización del aislador y el sistema de calefacción en los sistemas de presión negativa.
- Revisar las escotillas de acceso para detectar fugas de aire, asegurar que la escotilla está completamente cerrada y bloqueada. Inspeccionar las juntas y empaquetaduras de las puertas para detectar grietas o roturas.

Una vez realizado este plan de mantenimiento, podrá ser llevado a su totalidad si se cuenta con todos los repuestos que necesite el equipo, ya que ha sido por esto en parte que no se realicen los mantenimientos correspondientes en la parada general de planta.

## CONCLUSIONES

Una vez concluido el presente seminario se considera que los objetivos de:

- Describir los precipitadores instalados y procesos relacionados.
- Realizar un análisis de criticidad de los equipos estudiados.
- Diseñar un plan de mantenimiento preventivo. Se lograron a cumplir ampliamente en base al desarrollo y metodología a seguir.

Por otro lado, se puede considerar que los Precipitadores Electroestáticos cumplen un papel fundamental dentro de una planta de Celulosa, si bien no en el proceso productivo del producto comercializado, pero si en el proceso de producción de energía para abastecer la planta, ya que, sin estos equipos en los procesos que se realiza combustión, se emitirían una gran cantidad de contaminantes al medio ambiente, lo cual conllevaría un daño ambiental considerable y estar infringiendo la ilegalidad en la emisión de gases al ambiente.

Es por esto que se llevó a cabo un análisis de criticidad de cada PPT instalado para tener un parámetro de la criticidad con el que trabaja cada uno, esto tiene por objetivo ver cuáles son los equipos en los que se tendrá una mayor atención del mantenimiento en función del proceso que realizan, de los resultados obtenidos se determinó que los PPT de la Caldera Recuperadora son los equipos más críticos en relación a los otros, que dieron como resultado semicríticos.

Un plan de mantenimiento preventivo completo en la planta, es más efectivo que el mantenimiento correctivo aplicado actualmente y las paradas programadas, ya que se tiene una programación de las actividades que deben efectuarse en cada una de los PPT con una frecuencia determinada, para anticiparse a cualquier falla o anomalía y mantenerlas en óptimas condiciones de funcionalidad.

La realización de este plan de mantenimiento preventivo en su totalidad, va a tener altos costos monetarios en la implementación, en cuanto a repuestos y personal capacitado, ya que la planta tendrá una detención mayor a las que tiene actualmente, esto va a traer consigo sí, que los equipos tendrán un funcionamiento más prolongado.

Adicionalmente podemos mencionar que la metodología y las instrucciones a seguir descritas en este documento se enfocan a los equipos instalados en una planta de

celulosa, también es aplicable a equipos usados en otros tipos de plantas, como por ejemplo plantas de carbón o papeleras, toda vez que; los principios de operación, componentes y herramientas para el diagnóstico y la prevención de fallas son básicamente muy similares o incluso las mismas.



## **BIBLIOGRAFIA**

1. Descripción general Precipitadores, FLS Miljo.
2. L.C. Morrow, Manual de Mantenimiento industrial, Tomo 2. editorial Continental S.A., 1973.
3. C. Maldonado, Mantenimiento Preventivo, editorial Index, 1971
4. Oliverio García Palencia, Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial, editorial Ediciones de la U, 2012.
5. Material aportado por la empresa IMASEL.

## **BIBLIOGRAFIA DE WEB**

1. Principios básicos de los Precipitadores Electroestáticas, [www.asocem.org.pe](http://www.asocem.org.pe)
2. [www.arauco.cl](http://www.arauco.cl)
3. Análisis de Criticidad de equipos, [www.oilproduction.net](http://www.oilproduction.net).