



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**PROPUESTA PARA OPTIMIZAR EL MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL DE UNA  
GENERADORA ELÉCTRICA EN AMBIENTES DE ACUMULACIÓN EXCESIVA DE POLVO**

**Orlando José Páez Rodríguez**

Asesorado por el Ing. Julio Rolando Barrios Archila

Guatemala, mayo de 2013



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA PARA OPTIMIZAR EL MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL DE UNA  
GENERADORA ELÉCTRICA EN AMBIENTES DE ACUMULACIÓN EXCESIVA DE POLVO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ORLANDO JOSÉ PÁEZ RODRÍGUEZ**

ASESORADO POR EL ING. JULIO ROLANDO BARRIOS ARCHILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

GUATEMALA, MAYO DE 2013



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Armando Gálvez Castillo
EXAMINADOR	Ing. Marvin Marino Hernández Fernández
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Ruiz Hernández
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**PROPUESTA PARA OPTIMIZAR EL MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL DE UNA  
GENERADORA ELÉCTRICA EN AMBIENTES DE ACUMULACIÓN EXCESIVA DE POLVO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 30 de agosto de 2012.

**Orlando José Páez Rodríguez**



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- |                    |  |
|--------------------|--|
| <b>Dios</b>        | Por darme la sabiduría y fuerza necesaria.                 |
| <b>Mi madre</b>    | Por su apoyo incondicional a lo largo de todos estos años. |
| <b>Mi hermano</b>  | Por sus consejos brindados.                                |
| <b>Mi esposa</b>   | Por su apoyo, esfuerzo y cariño brindado.                  |
| <b>Mi hija</b>     | Por ser mi razón de alegrías y superación.                 |
| <b>Mis suegros</b> | Por su afecto ofrecido durante estos años.                 |



## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Ing. Isaías Gómez**      Por el apoyo prestado durante la elaboración del trabajo.

**Ing. Julio Barrios**      Por su apoyo desarrollando este trabajo.

**Ing. Francisco  
Gonzales**      Por los consejos brindados.

**Ing. Guillermo Puente**      Por la orientación proporcionada.





2.2.4.	Termocopla.....	20
2.3.	Grado de protección IP .....	21
3.	EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	23
3.1.	La empresa.....	23
3.2.	Ubicación.....	24
3.3.	Descripción de motores.....	24
3.4.	Descripción de generadores.....	25
3.5.	Infraestructura .....	25
3.6.	Puertas y aberturas .....	25
3.7.	Descripción del mantenimiento actual.....	26
3.8.	Partes vitales para la generación .....	28
4.	PROPUESTA DE MANTENIMIENTO .....	29
4.1.	Limpieza de equipos dentro de la planificación a corto, mediano y largo plazo .....	29
4.1.1.	Contactores y dispositivos de protección.....	30
4.1.2.	Controladores lógicos programables .....	32
4.1.3.	Motores radiadores.....	32
4.1.4.	Instrumentos análogos y digitales.....	34
4.1.4.1.	Termocoplas .....	34
4.1.4.2.	Sensores de temperatura .....	35
4.1.4.3.	Sensores de presión .....	36
4.1.4.4.	Manómetros.....	37
4.1.4.5.	Termómetros.....	38
4.1.4.6.	Solenoides .....	39
4.2.	Mejora de tiempos de mantenimiento, por reducción de acumulación de polvo en equipos .....	40

4.3.	Evaluación de posibles soluciones para reducir la acumulación de polvo .....	41
4.3.1.	Equipos especiales .....	42
4.3.2.	Aislamiento hermético de sala de máquinas y control central .....	42
4.3.2.1.	Sellado de aberturas .....	43
4.3.2.2.	Extractores .....	44
4.3.2.3.	Control de ingreso de personal .....	44
	CONCLUSIONES .....	45
	RECOMENDACIONES .....	47
	BIBLIOGRAFÍA .....	49
	ANEXOS .....	51



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Transmisor capacitivo de presión diferencial .....	16
2.	Transmisor de temperatura .....	17
3.	RTD en un puente Wheatstone de dos conductores.....	19
4.	RTD en un puente Wheatstone de tres conductores.....	19
5.	Termocopla .....	20
6.	Dispositivos de protección, contactores y temporizadores.....	31
7.	Contactores.....	31
8.	PLC .....	32
9.	Motor radiador.....	34
10.	Termocopla .....	35
11.	Sensor de temperatura.....	36
12.	Sensor de presión o presostato .....	37
13.	Manómetro .....	38
14.	Termómetro.....	39
15.	Solenoides .....	40

## TABLAS

I.	Pérdida económica anual por falso contacto en termocopla.....	6
II.	Pérdida económica anual por falla motor radiador .....	8
III.	Comparación tipos de mantenimiento .....	14
IV.	Grados de protección indicados por primer número código IP.....	22
V.	Mejora de tiempos de mantenimiento .....	41



## GLOSARIO

<b>5S</b>	Se denomina así a la técnica de orden y limpieza, cuyo objetivo es lograr lugares de trabajo mejor organizados, más ordenados y más limpios de forma permanente para conseguir mayor productividad y un mejor entorno laboral.
<b>Analizador de Fourier</b>	Equipo de medición electrónica que permite visualizar las componentes espectrales en un rango de frecuencias de las señales presentes en la entrada, pueden ser señales eléctricas, ópticas o acústicas.
<b>Breaker</b>	Interruptor eléctrico operado automáticamente destinado a proteger un circuito eléctrico de los daños causados por un cortocircuito o sobrecarga. Su función es la interrupción inmediata del flujo de corriente.
<b>PLC</b>	(Programmable Logic Controller). Controladores lógicos programables, diseñados para controlar procesos en tiempo real. Reproducen programas informáticos, que controlan los procesos. Para el control de procesos tienen entradas y salidas analógicas y digitales.
<b>Puente de Wheastone</b>	Circuito utilizado para medir resistencias mediante el equilibrio de las ramas del puente. Está formado por medio de cuatro resistencias en un circuito cerrado.

<b>RTD</b>	(Resistance Temperature Detector). Detector de temperatura resistivo, trabaja a base de cambiar la resistencia de un conductor con la temperatura.
<b>Salir de línea</b>	Término utilizado cuando una planta generadora eléctrica entregando energía al sistema, disminuye su generación hasta un punto donde no aporta o consume energía, acto seguido se abren los breakers de protección aislando el generador del sistema eléctrico.
<b>SAP</b>	(Sistemas, aplicaciones y productos). Conjunto de aplicaciones de software empresarial.
<b>Sistema nacional interconectado</b>	Conjunto de generadoras, líneas de transmisión, subestaciones, grandes y pequeños usuarios y cualquier otro elemento que se encuentre conectado a la red de distribución de energía eléctrica nacional.
<b>Termocopla</b>	Es un dispositivo formado por la unión de dos metales distintos, que produce un voltaje al existir diferencia de temperatura.

## RESUMEN

En el presente trabajo se analizan las consecuencias de la acumulación de polvo en los equipos y como esto afecta el mantenimiento en una generadora eléctrica, dando una propuesta para optimizar el mantenimiento y posibles soluciones para evitar el ingreso de polvo. En el primer capítulo se describen las fallas ocasionadas por la acumulación de polvo en los equipos críticos y el análisis económico de las dos fallas más comunes derivadas del polvo las cuales son falso contacto en termocoplas y falla de un motor radiador.

El segundo capítulo presenta la fundamentación teórica necesaria para conocer sobre los tipos de mantenimientos existentes, las bases de funcionamiento de los dispositivos eléctricos y electrónicos de los cuales se mencionan transmisores de presión, temperatura, RTD y termocoplas, por último se hace referencia al estándar IEC 60529 sobre grados de protección de equipos eléctricos y electrónicos.

En el tercer capítulo se realiza una evaluación amplia de la situación actual de la Central Generadora Progreso centro de nuestro estudio. Se da a conocer datos relevantes sobre la ubicación y detalles de los equipos que se utilizan. Parte importante de la evaluación es conocer la infraestructura para conocer puntos clave donde se da el ingreso de polvo al interior de la generadora.

En el último capítulo se describe la propuesta de mantenimiento para los equipos críticos para lograr una reducción de polvo y tiempos de trabajo. Se presentan posibles soluciones para reducir el ingreso de polvo a la generadora a través de un aislamiento hermético, extractores y un control de ingreso del personal.

# OBJETIVOS

## General

Proponer una optimización de las rutinas de mantenimiento tomando en cuenta la acumulación excesiva de polvo debido al medio ambiente, donde se ubica la planta generadora para aumentar su fiabilidad y eficiencia.

## Específicos

1. Describir las fallas ocasionadas en los equipos críticos debido a la acumulación de polvo y el impacto económico de las fallas más frecuentes.
2. Presentar fundamentación teórica necesaria para elaborar una propuesta de mantenimiento adecuada al sistema de control de una generadora eléctrica.
3. Evaluar la condición actual de la empresa sobre su ubicación, equipos, infraestructura y mantenimientos utilizados.
4. Realizar una propuesta de mantenimiento para reducir la acumulación de polvo en equipos críticos y reducir tiempos de trabajo. Plantear soluciones viables para evitar el ingreso de polvo dentro de la generadora.



## INTRODUCCIÓN

Una planta generadora eléctrica conectada al sistema nacional interconectado y a una industria cementera, tiene la particularidad de estar en un ambiente con excesiva acumulación de polvo, lo cual está reflejado en sus planificaciones de mantenimiento. El mantenimiento es mayor debido a la acumulación de polvo en los equipos críticos donde se pueden producir fallas que puedan sacar de línea a la generadora, por tanto detener la generación de energía provocando pérdidas económicas. Al producirse fallas en los equipos críticos se origina una pérdida en tiempo de generación, aumento en mantenimientos correctivos, gastos en uso de repuestos, tiempo del personal e incluso gastos administrativos.

Los mantenimientos a corto plazo se enfocan en la limpieza e inspección de equipos críticos que deben tener supervisión periódica, trabajos de mediano alcance serán más especializados y extensos para lograr una reducción de tiempos en los trabajos mayores. Con esta planificación con énfasis en reducir tiempos de mantenimiento y la acumulación de polvo en los equipos se lograra mejorar la eficiencia y disponibilidad de la generadora.

Se encuentra que las causas de la acumulación de polvo en los equipos críticos se deben a aberturas al ambiente, de producirse una falla en los mismos se deberá detener la generación. Se toman un conjunto de soluciones para prevenir el ingreso de polvo a estas áreas logrando disminuir mantenimientos y fallas relacionadas.



# **1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

El mantenimiento es fundamental para poder minimizar gastos económicos relacionados con pérdidas de generación. La generadora eléctrica al no poder generar electricidad para el sistema implica pérdidas monetarias significativas. La Central Generadora Progreso objetivo del estudio con un costo promedio durante el 2012 al sistema nacional de 180 USD/MWh y con 16 MW disponibles a través de 4 generadores, se analizarán las fallas más comunes de equipos por acumulación de polvo y las pérdidas económicas implicadas por ello.

## **1.1. Fallas en equipos por acumulación de polvo**

En equipo eléctrico de baja, media y alta tensión el polvo al acumularse en gran cantidad produce un calentamiento adicional al que se presenta normalmente en equipo energizado, ya que el polvo actúa como un aislante térmico el cual impide la disipación apropiada del calor hacia el ambiente. Este calor excesivo puede reflejarse en una falla del equipo eléctrico por sobrecalentamiento.

Otra falla común en equipo eléctrico por acumulación de polvo son las fallas entre fases y fase a tierra. Cuando existe un grado de humedad en el ambiente junto con una alta densidad de polvo, se puede vencer la rigidez dieléctrica del aire la cual es de 0,3 a 0,4 MVoltio/metro y actuar como un conductor. Al existir conducción eléctrica entre una fase a otra o una fase a tierra provoca el aumento de corriente lo que puede provocar el daño del equipo.

Al acumularse polvo en dichos equipos se sufre un peso adicional provocando una presión sobre las envolturas exteriores de los equipos, lo cual produce deformaciones mecánicas, oxidación y mal funcionamiento de ciertos equipos. Los indicadores análogos y digitales de estos dispositivos son afectados por el polvo causando su mal funcionamiento.

Los equipos electrónicos son afectados por malas señales producidas por falsos contactos de sus terminales de entrada y salida. Estos dispositivos generalmente trabajan con señales muy pequeñas de mili ohmios, mili amperios o mili voltios, las cuales fácilmente pueden variar ante alguna distorsión externa, en este caso el polvo puede provocar variaciones de señales. También se puede producir una mala señal por alguna terminal haciendo conexión a tierra.

En equipos eléctricos y electrónicos viene sellada su estructura interior para prevenir el contacto con personas, ingreso de polvo y humedad. Las conexiones eléctricas, cableado de señales, cableado de comunicaciones y conexiones de control se realizan en borneras no aisladas, por ello en las borneras de conexiones se producen la mayoría de fallas ocasionadas por polvo.

- Contactores y dispositivos de protección: en estos dispositivos el polvo provoca un mal contacto entre láminas conductoras, lo cual provoca en los contactores que no se produzca continuidad entre láminas y por tanto no actué el sistema de control asociado, caso contrario el exceso de polvo puede provocar que actuara el contactor al producirse continuidad entre láminas. En dispositivos de protección se producen fallas entre fases y fases a tierra provocando que el dispositivo interrumpa el paso corriente.

- Controladores lógicos programables: en los controladores lógicos programables PLC se producen malos contactos en las señales de entrada y salida, esto provoca el mal funcionamiento del sistema de control asociado al equipo. Estas malas señales se producen al introducirse polvo en las borneras de entrada del PLC lo cual provoca un mal contacto de las terminales del cableado que se conecta. En las entradas análogas del dispositivo el polvo puede provocar una distorsión de los valores registrados.

En señales digitales, siendo 1 una señal de pulso positivo y 0 una señal de pulso negativo, se producen malas señales respecto al pulso negativo ya que el polvo fácilmente hace conexiones a tierra lo que provoca una entrada errónea al PLC.

- Motores radiadores: en los motores usados para radiadores existe un alto nivel de humedad en el ambiente y gran cantidad de movimiento de aire, el polvo al ingresar a la bornera de conexiones eléctricas del motor influye en provocar fallas entre fases y fallas a tierra. La acumulación de polvo en el rotor hace que este se obstruya demandando una corriente mayor al arrancar, un calentamiento en los conductores y provocando que puedan actuar las protecciones del motor.

El polvo puede depositarse en el rotor o chumacera creando una vibración o desbalance que puede deteriorar rápidamente los cojinetes del motor, también puede degradar grasas o lubricantes que se apliquen al mismo.

- Termocoplas y sensores de temperaturas: en las termocoplas son afectadas las señales de salida, al ser de mili voltios una pequeña perturbación representa una variación significativa, el polvo puede

provocar malos contactos entre las conexiones de la termocopla y el cable que lleva la señal al controlador. En sensores de temperatura también se ven afectadas las señales de salida, ya que indicios de polvo en las conexiones pueden resultar en aumento de la resistencia medida por el sensor.

- Sensores de presión: los sensores de presión al tener piezas móviles son susceptibles a la acumulación de polvo que pueda obstruir los mecanismos. Asimismo están afectos de fallas a tierra ya que estos dispositivos son de construcción pequeña con sus conexiones eléctricas muy cerca al envoltorio del dispositivo.
- Manómetros y termómetros: estos indicadores se encuentran en tuberías de distinto índole, son generalmente análogos ya que su respuesta es más rápida que un digital. Si se llega a introducir polvo dentro de los manómetros puede afectar su correcta medición, también impide su lectura al obstruir la vista. En caso de los termómetros el polvo obstruye la vista del mismo, si se llega a tener una acumulación considerable de polvo sobre el termómetro la presión ejercida puede llegar a quebrar el instrumento.
- Solenoides: las solenoides son embobinados de cable, por ello son susceptibles al ingreso de polvo a su interior el cual puede provocar fallas y quemar la bobina. En muchas ocasiones los solenoides vienen sellados protegiendo el embobinado, pero después de un tiempo deben ser destapadas para realizarle mantenimiento preventivo o correctivo, por lo que deben sellarse completamente para prevenir el ingreso de polvo.

## **1.2. Pérdidas económicas por fallas de equipos**

El controlador principal de un generador al recibir una señal de falla o una señal anormal de un equipo crítico este mandara a detener el motor para prevenir cualquier daño al generador, motor, equipos aledaños o auxiliares del proceso. Al detenerse la generación eléctrica por una emergencia, se debe revisar eléctrica y mecánicamente por parte del personal de la generadora. Este proceso lleva consigo un tiempo en el cual no se estará generando por ende se estará perdiendo capital. Se analizara con profundidad dos casos frecuentes de fallas de equipos por acumulación de polvo.

### **1.2.1. Falso contacto en termocopla**

El primer caso se trata de un falso contacto en las termocoplas de los cilindros de los motores. Al tener una señal muy alta o muy baja de temperatura en un cilindro con respecto de los otros implica un problema en el motor que puede resultar de varios problemas mecánicos que van desde un problema en la bomba de inyección de combustible hasta un problema de lubricación.

Si llegara a suceder esta falla se debe revisar eléctricamente la termocopla y sus conexiones, el controlador y su bornera de entrada de señales. Mecánicamente se debe hacer una serie de revisiones para comprobar que el cilindro no tenga ningún desperfecto, en las computadoras de control se revisan los registros en busca de una tendencia o anomalía que haya tenido el cilindro previo a la falla. Si fuera solamente un falso en la señal de la termocopla, en promedio esta revisión se lleva 30 minutos antes de ingresar nuevamente a generar con este motor.

Estos 30 minutos que se detuvo la generación la pérdida económica se traduce en la generación de energía en MWh que no se realizó multiplicado por el tiempo en horas que se detuvo el motor multiplicado por el costo promedio de la generadora en USD/MWh dando un resultado en USD.

Cada vez que se presente esta falla por falsa señal de una termocopla representa un costo de 360 USD. Si en promedio esta falla se presenta una vez por mes en cualquiera de los cuatro motores de la generadora, durante un año esta falla representara 4 320 USD, a una tasa de cambio de 7,8 quetzales por un dólar es un total de 33 696 quetzales.

Tabla I. **Pérdida económica anual por falso contacto en termocopla**

Producción no realizada MWh	Tiempo (hrs)	Costo promedio USD/MWh	Resultado en USD
4	0,5	180	360
Costo por falla USD	Costo anual USD		Costo anual Quetzales
360	4 320		33 696

Fuente: elaboración propia.

### 1.2.2. **Falla motor radiador**

Los motores radiadores ajustados a seis por cada generador, presentan un problema recurrente de falla entre fases y fase a tierra. Esta falla provoca en primera instancia un paro del generador, ya que el controlador recibe señal que hubo activación de un dispositivo de protección del tablero de mediana tensión de equipos auxiliares. La revisión de los equipos lleva consigo un tiempo promedio de 30 minutos. Si el personal asegura que fue una falla real del motor,

entonces se procede a bloquear eléctricamente el motor para poder trabajar en su cambio.

Una vez bloqueado el equipo se procede al arranque del motor para continuar con la generación de energía, como el motor trabajara únicamente con cinco radiadores en lugar de seis, su generación neta bajara hasta un 23% debido al calentamiento del agua de enfriamiento. El cambio del motor radiador toma un tiempo aproximado de 1 día y medio.

De igual forma que el primer caso se analizara económicamente, en este caso la generación no realizada es de 23% menos de la generación neta más la media hora que paro el motor por la activación del dispositivo de protección.

Al sumar ambos resultados da un total de 6 322 USD. Esta falla se presenta en promedio dos veces por año en cualquiera de los cuatro motores. Lo cual representa durante un año 12 644 USD, a una tasa de cambio de 7,8 quetzales por un dólar es un total de 98 623 quetzales.

Tabla II. **Pérdida económica anual por falla motor radiador**

<b>Paro inicial del motor</b>			
Producción no realizada MWh	Tiempo (hrs)	Costo promedio USD/MWh	Resultado en USD
4	0,5	180	360
<b>23% menos de generación</b>			
Producción no realizada MWh	Tiempo (hrs)	Costo promedio USD/MWh	Resultado en USD
0,92	36	180	5 962
Costo por falla USD	Costo anual USD		Costo anual Quetzales
6 322	12 644		98 623

Fuente: elaboración propia.

Existen otras fallas en donde todas representan una pérdida económica derivada de ellas, pero las mencionadas anteriormente son las más recurrentes. Económicamente es muy viable realizar mantenimientos periódicos para evitar estas fallas incurriendo en gastos de trapos, aire comprimido, limpia contactos, brochas, aspiradora, etc.

## **2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

Las bases de funcionamiento y operación de los equipos son esenciales para evaluar cualquier sistema de control y ajustar mejoras en su mantenimiento. De igual forma debe analizarse el concepto del mantenimiento para aplicar de forma óptima el mismo.

### **2.1. Mantenimiento**

El mantenimiento requiere de una inspección amplia del equipo utilizado en la generadora para control, instrumentación y demás equipos que sean vitales para el funcionamiento de la planta, así como del generador y motor. La planificación adecuada es programada según las necesidades de los grupos de trabajo como electricistas, mecánicos, instrumentistas y operación, el cual será evaluado para poder optimizar el mantenimiento.

#### **2.1.1. Tipos de mantenimiento**

En una industria cementera se realiza el proceso de extracción, molienda y homogeneizar la materia prima, este proceso se caracteriza dependiendo del tipo de cemento a producir y otros aspectos particulares. Lo anterior produce un polvo fino el cual se puede recolectar pero una gran parte saldrá a dispersarse al ambiente. La planta generadora al hallarse en las cercanías tendrá problemas de exceso de polvo por lo que necesita un mantenimiento más específico.

El mantenimiento a seguir en cualquier industria puede definirse de cuatro formas:

#### **2.1.1.1. Mantenimiento correctivo**

Este mantenimiento puede llamarse también reactivo, tiene lugar luego que ocurre una falla o avería, solo se pondrá en ejecución cuando ocurra un error en el sistema. Si no existiera una falla el mantenimiento no tendría lugar, por lo que tendrá que esperar hasta que se presente un desperfecto para tomar medidas correctivas. Las consecuencias incurridas son:

- Paradas no previstas en el proceso productivo, disminuyendo las horas operativas.
- Afecta las cadenas productivas y los ciclos productivos posteriores se verán a la espera de la corrección de la etapa anterior.
- Presenta costos por reparación y repuestos no presupuestados, por lo que se dará el caso de falta de recursos económicos.
- Planificación del tiempo que estará fuera de operación no es predecible.

#### **2.1.1.2. Mantenimiento preventivo**

Este mantenimiento también llamado planificado tiene lugar antes que ocurra una falla o avería, se efectúa bajo condiciones controladas sin la existencia de algún error en el sistema. Se realiza a razón de la experiencia y pericia del personal a cargo, los cuales son los encargados de determinar el momento necesario para llevar a cabo dicho procedimiento; el fabricante

también puede estipular el momento adecuado a través de los manuales técnicos. Las consecuencias incurridas son:

- Se realiza en un momento en que no se está produciendo, por lo que se aprovecha el tiempo fuera de operación.
- Se planifica detallando el procedimiento a seguir, las actividades a realizar, con el fin de tener el personal, herramientas y repuesto necesarios para las rutinas de mantenimiento.
- Cuenta con fechas programadas, así como tiempo de inicio y terminación de la tarea.
- Está destinado a áreas específicas, y también a mantenimientos generales donde se incluyan todos los equipos de trabajo.
- Permite a la empresa contar con un historial de todos los equipos, y actualizar la información técnica de los mismos.
- Permite manejar un presupuesto aprobado previamente.

### **2.1.1.3. Mantenimiento predictivo**

Consiste en determinar en todo instante la condición mecánica y eléctrica real de la máquina examinada, mientras esta se encuentre en pleno funcionamiento, para ello se hace uso de un programa sistemático de mediciones de los parámetros más importantes del equipo. La base tecnológica de este mantenimiento consiste en las aplicaciones de algoritmos matemáticos agregados a las operaciones de diagnóstico, que juntos pueden brindar

información referente a las condiciones del equipo. Tiene como objetivo disminuir las interrupciones por trabajos preventivos, y de esta manera minimizar los costos por mantenimiento y por no producción.

La implementación de este tipo de métodos requiere de inversión en equipos, en instrumentos, y en contratación de personal calificado. Se pueden utilizar distintas técnicas para este mantenimiento en los que se puede mencionar:

- Analizadores de Fourier para el análisis de vibraciones.
- Endoscopia para ver lugares ocultos.
- Ensayos no destructivos a través de líquidos penetrantes, ultrasonido, radiografías, partículas magnéticas, entre otros.
- Termografía para la detección de condiciones caloríficas.
- Medición de parámetros de operación como viscosidad, voltaje, corriente, potencia, presión, temperatura y otros.

#### **2.1.1.4. Mantenimiento proactivo**

Este mantenimiento tiene como fundamento los principios de solidaridad, colaboración, iniciativa propia, sensibilización, trabajo en equipo, de modo que todos los involucrados directa o indirectamente en la gestión del mantenimiento deben conocer la problemática del mantenimiento, es decir, que tanto técnicos, profesionales, ejecutivos, y directivos deben estar conscientes de las actividades que se llevan a cabo para desarrollar las

labores de mantenimiento. Cada individuo desde su cargo o función dentro de la organización, actuará de acuerdo a este cargo, bajo la premisa de que se debe atender las prioridades del mantenimiento en forma oportuna y eficiente.

El mantenimiento proactivo implica contar con una planificación de operaciones, la cual debe estar incluida en el plan estratégico de la organización. Este a su vez debe brindar indicadores hacia la gerencia, respecto del progreso de las actividades, los logros, aciertos, y también errores.

#### **2.1.1.5. Comparación general de los tipos de mantenimientos**

Se realiza una comparación general entre los mantenimientos descritos anteriormente para mostrar las características que comparten entre ellos.

Tabla III. **Comparación tipos de mantenimientos**

CARACTERÍSTICA	CORRECTIVO	PREVENTIVO	PREDICTIVO	PROACTIVO
Paradas previstas		X	X	
Presupuestos planificados		X	X	
Tiempo y fechas planificado		X	X	X
Procedimientos claros		X	X	
Solución inmediata a contingencias	X		X	
Supervisión continua a equipos			X	X
Uso de tecnologías			X	X
Altos costos	X		X	
Alto número de personal	X	X		

Fuente: elaboración propia.

## **2.2. Transmisores inteligentes**

Los transmisores inteligentes se componen de un transductor y un transmisor. El transductor convierte un valor de medida en una señal estándar y el transmisor amplifica la señal para la transmisión sobre relativamente largas distancias.

Los transmisores son preferidos mayormente sobre los sensores conectados directamente. Un transmisor envía señales estándar de instrumentos a una ubicación centralizada para supervisar, así que no existe peligro para el personal en la habitación de control.

Los transmisores son seguros, porque ellos no conducen fluidos corrosivos, inflamables, tóxicos o presurizados en una habitación de control. Los transmisores son también más flexibles, porque la señal puede ser enviada a varias ubicaciones.

Existe una variedad de transmisores usados en la industria, los cuales pueden percibir temperatura, presión, nivel, o flujo. Todos tienen un trabajo en común, estos traducen el valor de medida en una señal la cual puede ser recibida por varios aparatos para señal, registro, alarma, y control.

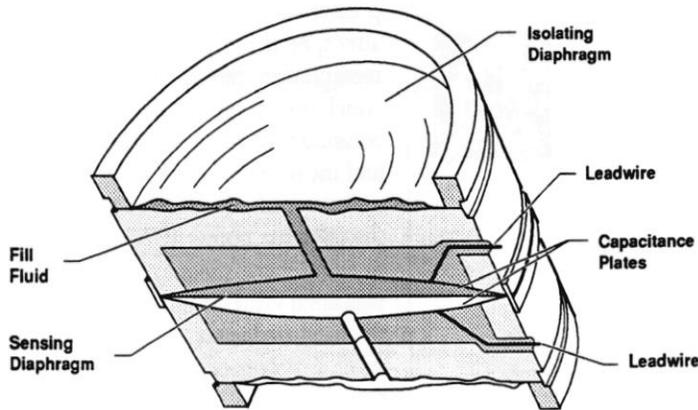
### **2.2.1. Transmisores de presión**

La medida de presión es efectuada con respecto a un punto de referencia. El medidor es referenciado a la presión de la atmósfera.

Un transmisor de presión diferencial mide los cambios de presión de dos puntos en un proceso. El transmisor envía únicamente la diferencia de presión. Un nivel es mantenido a una altura constante por referencia.

Un transmisor de capacitancia variable es un transmisor de presión diferencial usado en el control de proceso. Este transmisor tiene una capacitancia que convierte un proceso de presión en una señal de salida. El sensor se compone de un diafragma y dos placas, los cambios en la presión del diafragma son detectados por las dos placas de capacitancia en ambos lados de este, creando un cambio de capacitancia la cual es utilizada de señal de salida.

Figura 1. **Transmisor capacitivo de presión diferencial**



**TRADUCCIÓN:**

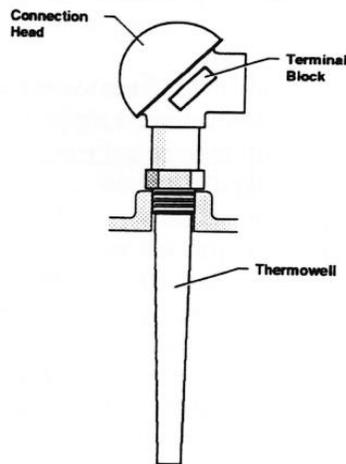
INGLES	ESPAÑOL
Fill Fluid	Fluido de llenado
Sensing Diaphragm	Diafragma sensor
Isolating Diaphragm	Diafragma aislado
Leadwire	Cable de salida
Capacitance Plates	Placas capacitivas

Fuente: Asociación de Técnicos Instrumentistas de Guatemala, material didáctico. Con traducción del autor.

### 2.2.2. Transmisores de temperatura

Un transmisor de temperatura puede ser usado en combinación con un RTD, una termocopla o un termistor para percibir el proceso de temperatura. Un sistema de medición de temperatura incluye el sensor, el transmisor, bloque terminal, cabeza de conexión y tubo protector conocido como termopozo.

Figura 2. Transmisor de temperatura



#### TRADUCCIÓN:

INGLES	ESPAÑOL
Connection Head	Cabeza de conexión
Terminal Block	Bloque terminal
Thermowell	Termopozo o pozo

Fuente: Asociación de Técnicos Instrumentistas de Guatemala, material didáctico. Con traducción del autor.

El bloque terminal es un bloque de material aislado que soporta y une la conexión del sensor al transmisor. La cabeza de conexión es el alojamiento que encierra el bloque terminal. Una cabeza de conexión provee fácil acceso para remover y remplazar el sensor.

La profundidad de la inmersión es crítica a la exactitud de la medida. Una longitud de inmersión mínima es de ocho a diez veces el tubo o diámetro de pozo que es recomendado para minimizar errores de conducción.

Los sensores pueden ser instalados horizontalmente en una tubería. Pero en una temperatura alta como la de un horno, esta instalación podría causar su falla. Una instalación vertical en la superficie trabaja mejor porque la misma evita estos problemas.

### **2.2.3. Transmisor RTD**

Un detector de resistencia de temperatura, o transmisor RTD mide la temperatura de los materiales del proceso. El RTD opera con el principio de que la resistencia del flujo de corriente es casi directamente proporcional a la temperatura del metal. Por lo tanto, un carrete de alambre puede actuar como un sensor de temperatura, con una relación directa entre la longitud o resistencia del alambre y temperatura del mismo.

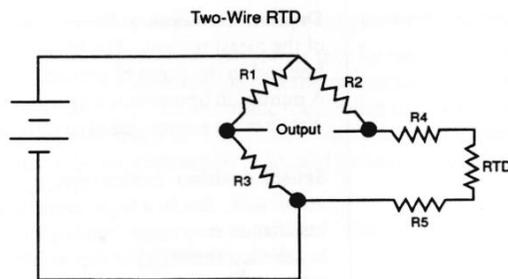
El RTD viene en una variedad de formas y tamaños. El cambio de temperatura es percibido por el transmisor el cual produce una señal de salida de un instrumento estándar y lo transmite al sistema de control. La resistencia no es una señal pero si una propiedad eléctrica que puede ser medida. El valor de resistencia es entonces convertido a un valor de temperatura por el transmisor.

Las configuraciones de varios circuitos RTD son usadas en la industria, unos circuitos brindan una solución específica para los efectos de medir la resistencia del alambre.

Usualmente un RTD es conectado en un ramo de un puente Wheatstone. Los resistores en los otros ramos del puente determinan el cero y el error que pueda surgir. Si únicamente dos conductores son usados para conectar el RTD al puente, podrán ocurrir errores cuando la longitud del conductor es grande,

porque los cambios de resistencia del conductor afectarán la exactitud de la lectura ya que estos también son expuestos a los cambios de temperatura ambiente.

Figura 3. **RTD en un puente Wheatstone de dos conductores**

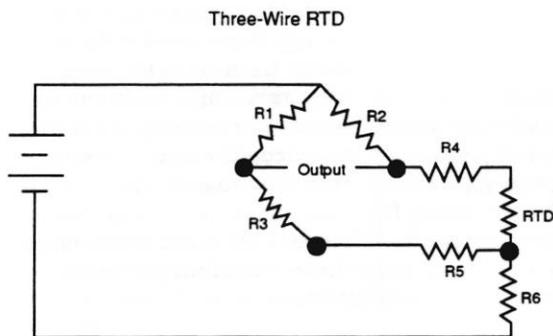


**TRADUCCIÓN:**

INGLES	ESPAÑOL
Two Wire	Dos conductores
Output	Salida

Fuente: Asociación de Técnicos Instrumentistas de Guatemala, material didáctico. Con traducción del autor.

Figura 4. **RTD en un puente Wheatstone de tres conductores**



**TRADUCCIÓN:**

INGLES	ESPAÑOL
Three Wire	Tres conductores
Output	Salida

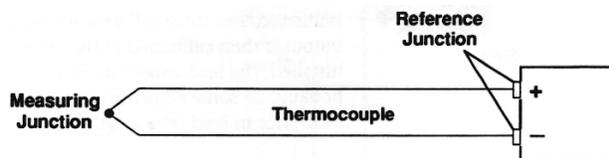
Fuente: Asociación de Técnicos Instrumentistas de Guatemala, material didáctico. Con traducción del autor.

Un puente RTD de tres alambres compensa las inexactitudes resultantes de los cambios de resistencia en conductores y del RTD. Las resistencias R4 y R5 de la figura 4, son similares con ello los cambios de resistencia se cancelan. La corriente a través de R6 no desequilibrará el puente porque la corriente es común.

#### 2.2.4. Termocopla

Un circuito de termocopla requiere dos uniones, una unión con referencia al transmisor y una unión al punto de medida. La diferencia de temperatura entre la unión del punto de medida y la unión de referencia produce una señal de milivoltios que es medida por el transmisor.

Figura 5. Termocopla



#### TRADUCCIÓN:

INGLES	ESPAÑOL
Measuring Junction	Unión de medición
Reference Junction	Unión de referencia
Thermocouple	Termocopla

Fuente: Asociación de Técnicos Instrumentistas de Guatemala, material didáctico. Con traducción del autor.

### **2.3. Grado de protección IP**

El grado de protección IP hace referencia al estándar IEC 60529 Grados de protección, utilizado en los datos técnicos de equipo eléctrico y electrónico. La Comisión Electrotécnica Internacional (CEI o por sus siglas en inglés IEC) es una organización de normalización en los campos eléctricos y electrónicos.

Se utiliza un sistema de codificación para indicar los grados de protección del contenedor de un dispositivo contra la penetración de cuerpos extraños, agua y otra información adicional. Este código está formado por dos letras simbolizadas por *IP* que significan Protección Internacional por sus siglas en inglés, seguidamente se encuentran dos números independientes entre ellos.

El primer número indica la protección contra el acceso a partes peligrosas, limitando la penetración de una parte del cuerpo u objeto, de igual forma la protección contra el acceso de cuerpos sólidos extraños como el polvo. Este número tiene un rango de 0 a 6, a medida que va aumentando el tamaño del cuerpo a penetrar es menor. El nivel 5 y 6 indican la protección contra la penetración del polvo.

Tabla IV. **Grados de protección indicados por primer número código IP**

<b>NO.</b>	<b>Descripción abreviada de objetos que no deben penetrar</b>
0	No protegida, sin protección especial.
1	Protegida contra cuerpos mayores de 50 mm de diámetro.
2	Protegida contra cuerpos mayores de 12 mm de diámetro.
3	Protegida contra cuerpos mayores de 2,5 mm de diámetro.
4	Protegida contra cuerpos mayores de 1 mm de diámetro.
5	Protegida contra la penetración de polvo, no impide totalmente el ingreso pero si de cantidades suficientes que perjudiquen el equipo.
6	Protegida totalmente contra el polvo, impide el ingreso al equipo.

Fuente: fragmento de Estandar IEC 60529, grado de protección IP.

El segundo número en la codificación indica la protección otorgada al equipo contra la penetración del agua a su interior, con un rango de 0 a 8, a medida que va aumentando impide el ingreso del agua al mismo.

### **3. EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL**

El centro del estudio es la Central Generadora Progreso, S. A. una planta de generación de energía eléctrica a partir de motores de combustión interna, la cual provee energía al mercado eléctrico nacional y a una planta cementera que abastece en casos de emergencia.

#### **3.1. La empresa**

El proyecto de una planta generadora en Cementos Progreso S.A. en la sede de San Miguel, surgió en 1989, como una previsión a la escasez de energía eléctrica, y el efecto negativo que se presentaba en la producción de cemento y cal. En 1989 se empezó a analizar qué tipo de generadores eran los más indicados para este proceso de producción, para lo cual se evaluaron varias alternativas que se encontraban en el mercado. Se recibieron ofertas de las más prestigiosas marcas de generadores diesel, como lo son Pielstick, Wartsila, Krupp Mak, Mirrless Blackstone, Caterpillar Y Nigata Cummins.

La compra se centró en 3 objetivos básicos del proyecto; 1) Mejorar la calidad del suministro de electricidad, 2) Garantizar el suministro de electricidad a las plantas de cemento y cal, y 3) Recuperar la inversión en un plazo menor de 5 años. Influyo mucho el requerimiento de generar un 75% de electricidad para el funcionamiento de la planta San Miguel. Estos objetivos y requerimientos se trasladaron a una matriz de calificación de ofertas que dio como mejor alternativa a los generadores KRUPP MAK de fabricación alemana.

En febrero de 1991 se recibieron ofertas de construcción del edificio que albergaría a las maquinas generadoras y sus equipos auxiliares y como resultado se adjudicó a la compañía PRECON para la construcción del actual edificio que es concreto prefabricado.

El 20 de agosto de 1992 se desembarcó en el puerto de Santo Tomas de Castilla el equipo generador proveniente de Hamburgo con un peso de 868 276 kilos. El 1 de septiembre de 1992 llegaron a la planta San Miguel los primeros equipos y se dio inicio al montaje de los generadores KRUPP MAK, el cual termino con la prueba de arranque de la primera máquina el 16 de junio de 1993.

### **3.2. Ubicación**

Las instalaciones de la planta generadora están ubicadas dentro de la planta de Cementos Progreso S.A. en el lugar llamado anteriormente “El Morro”, en dirección hacia el este, colinda con el área de producción de cal hidratada. La planta generadora fue construida a base de concreto prefabricada, con techo también de concreto, el edificio es de un nivel y cuenta con un sótano, en donde se encuentran algunos equipos. Las dimensiones del área de generación son 75,97 mts de largo por 46,34 mts de ancho.

### **3.3. Descripción de motores**

Cuenta con 4 motores diésel de combustión interna marca KRUPP MAK fabricados en Alemania, modelo 12M453C, de 12 cilindros en V, con una presión media efectiva de 19,7 bar (286 psi), 600 rpm, 4 400 KW (5 980 HP), con arranque neumático. Cada motor pesa 37 toneladas.

Los motores están equipados para trabajar con combustible residual BUNKER C (heavy fuel) y solo en casos de emergencia o previo a un mantenimiento se pasan a diésel.

Cada motor tiene dos turbo cargadores para alimentar con aire de admisión cada una de las bancadas de cilindros, accionados por los gases de escape, giran a una velocidad máxima de 26 700 rpm.

#### **3.4. Descripción de generadores**

Los generadores son de fabricación Francesa, marca *Leroy Somer*, tipo síncrono, de corriente alterna, generan a un voltaje de 4 160 volt y una potencia activa de 4 237 KW. Esta rígidamente acoplado al motor (600 rpm). Pesa aproximadamente 20 toneladas.

#### **3.5. Infraestructura**

La generadora dispone de una sala donde se ubica el control central y una sala de máquinas. Dentro del control central se encuentran los tableros de mediana tensión de control de equipos, computadoras, PLC y equipos electrónicos de baja tensión. Dentro de la sala de máquinas se encuentran los motores de combustión, generadores, bombas, motores eléctricos, tuberías, ventiladores, sensores, etc.

#### **3.6. Puertas y aberturas**

El control central cuenta con una puerta principal de ingreso de personal, una puerta auxiliar de emergencia y una puerta de acceso a la sala de máquinas. En el área se encuentran las oficinas administrativas y baños, cada

una con ventana al ambiente. La sala de máquinas cuenta con una entrada principal proveniente del control central, una puerta procedente del taller eléctrico y mecánico, dos puertas de emergencia y un portón de gran tamaño para el ingreso y egreso de equipos. La sala de máquinas cuenta con aberturas en el techo de la misma utilizadas para expulsar el calor generado por los equipos.

### **3.7. Descripción del mantenimiento actual**

Se cuenta con un programa de mantenimiento anual de trabajos, programaciones cortas mensuales y semanales para trabajos menores y correctivos. Se toman recomendaciones de los fabricantes de los equipos para el mantenimiento junto con la experiencia adquirida de trabajar con los mismos. Se trabaja con programación y despacho de órdenes de trabajo a través del sistema SAP. Para dar comienzo a una tarea, al trabajador se le entrega una orden de trabajo donde anota los trabajadores involucrados, herramientas, materiales, duración del trabajo, observaciones realizadas y recomendaciones necesarias para realizar el trabajo.

El grupo de trabajo de la generadora se compone de trabajadores de mantenimiento y de operación. El grupo de mantenimiento presta servicio en un horario de lunes a viernes, para trabajo variado dentro de la generadora. El grupo de trabajadores de operación se compone de cuatro grupos en horarios rotativos.

Dentro de sus funciones como grupo de operación se les asigna órdenes de trabajo en el área eléctrica y mecánica. A través de estas órdenes de trabajo se da mantenimiento preventivo a ciertos equipos críticos de la planta, entre los cuales se les hace inspección mecánica, eléctrica y limpieza, de existir algún

inconveniente con el equipo se realiza un aviso de avería a través del sistema SAP, el cual es programado para su corrección.

El grupo de operación toma una serie de revisiones al ingreso de turno para inspección de equipos críticos, tanto los operadores eléctricos y mecánicos, toman inspecciones específicas de sus áreas respectivas.

Cada trabajador tiene un área asignada dentro de la generadora para su limpieza y seguimiento, el trabajador es responsable de mantener la limpieza, orden y seguridad en su área. Se adopta el sistema 5S japonés de orden y limpieza, denominado así por la primera letra de las palabras que conforman este sistema, su traducción al español significa clasificación, orden, limpieza, normalización y mantener la disciplina. El éxito de este programa llevo a mantenerlo permanentemente en la planta con seguimiento de auditorías internas y externas periódicas.

La planificación de mantenimientos mayores y presupuestos es coordinada por la gerencia para no interrumpir trabajos en la planta de cemento por donde se despacha la energía producida y sea oportuna para su disponibilidad ante la planta de cemento como para el mercado eléctrico.

El jefe y supervisor de mantenimiento planifican trabajos mensuales y semanales, tanto preventivos como correctivos para los grupos de mantenimiento y operación.

Todo trabajo es despachado por una orden de trabajo la cual el trabajador debe llenar con los datos del trabajo realizado. Estas órdenes de trabajo son compiladas por el planificador administrativo, el cual las ingresa al sistema SAP.

Las órdenes de trabajo tienen seguimiento a través de auditorías internas y externas.

### **3.8. Partes vitales para la generación**

Existen ciertos equipos de alta criticidad para el funcionamiento de la generadora, que en caso que uno de estos equipos fallara se deberá detener el proceso de generación, y su mantenimiento correctivo es de un tiempo significativo. En baja tensión encontramos PLC y computadoras de control, en media tensión tenemos contactores, dispositivos de protección, bombas, motores, radiadores, ventiladores, finalmente en alta tensión se tiene el generador, breaker e instrumentos de alta tensión.

Actualmente los equipos que se encuentran en uso no fueron seleccionados para el ambiente donde se encuentra la generadora, ya que fueron elegidos en base a una generadora convencional. Por ello no se tomó en cuenta la protección IP de los equipos eléctricos y electrónicos críticos. A la fecha se ha instalado equipo nuevo que cuenta con el estándar IEC 60529 Grados de protección, por lo cual su mantenimiento es mínimo y con tiempos más prolongados. Pero debido a la importancia del equipo eléctrico y electrónico instalado en la planta no se ha optado a cambiar todos los dispositivos por equipo nuevo con protección contra el polvo.

De igual forma no se ha opta por cambiar el equipo debido al alto costo que esto implicaría, siendo más económico brindarle mantenimiento periódico.

## **4. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO**

Con base en los conceptos de funcionamiento de los equipos y evaluando las practicas actuales de mantenimiento se obtienen mejoras significativas al reorganizar los trabajos logrando reducción de tiempos y alcanzando soluciones para evitar el ingreso de polvo.

### **4.1. Limpieza de equipos dentro de la planificación a corto, mediano y largo plazo**

Dentro de los programas de mantenimiento en temporada baja de generación, en la cual las generadoras térmicas bajan su producción de energía debido a condiciones climáticas del país, se propone aumentar la cantidad de mantenimientos preventivos enfocados a la acumulación de polvo en los equipos.

A corto plazo se incluyen órdenes de trabajo semanales para el área eléctrica y mecánica. Se dará enfoque a las bombas de combustible, aceite, agua, así como sus áreas aledañas e instrumentos asociados y motores de distinto índole.

En mantenimientos de mediano plazo, se propone cambios más evidentes, los grupos de operación tendrán trabajos más específicos y extensos en un área en especial.

Los trabajos a realizar son actividades normalmente realizadas durante mantenimientos mayores, de esta forma se reduce el tiempo invertido en ellos y

pérdidas asociadas a paro de equipos. Ingresando en mantenimiento un generador, se trabajara en limpieza y prueba de contactores, dispositivos de protección en los paneles eléctricos de control, limpieza y prueba de PLCs, limpieza y prueba de motores de radiadores, limpieza y pruebas de instrumentos análogos y digitales, limpieza interna de generador, limpieza de instrumentos eléctricos de medición de alta tensión, mantenimiento y prueba de breaker de alta tensión.

Los mantenimientos mayores serán influenciados en forma indirecta, al transferir la carga de trabajo a mantenimientos medianos, de tal forma que se contara con menos trabajos a completar y mayor personal disponible para otras tareas. Los mantenimientos mayores son ejecutados en temporadas de alta generación, ya que equipos críticos alcanzan el máximo de vida útil u operativa, siendo necesario realizar su mantenimiento para prevenir fallas mayores.

#### **4.1.1. Contactores y dispositivos de protección**

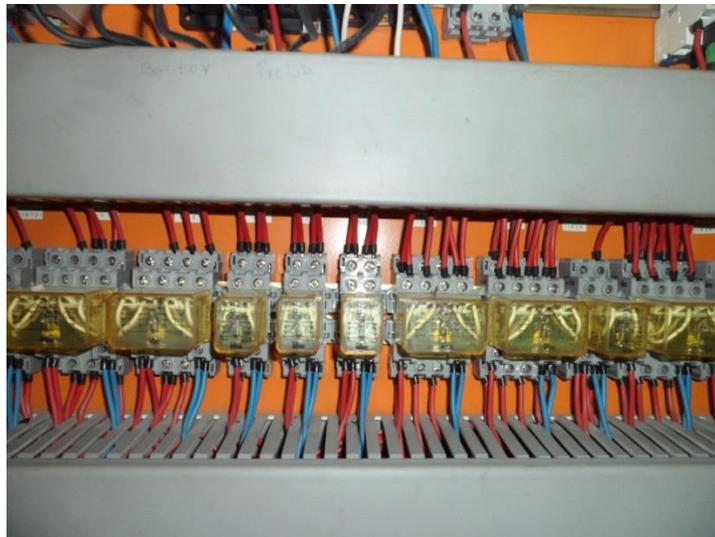
Los dispositivos de protección se deben bloquear y aislar eléctricamente, posterior realizar su desmontaje para limpiar sus piezas internas, contactos, aplicar lubricación o pastas especiales según amerite el caso e inspeccionar cualquier anomalía que tenga el equipo. Se incluirá dispositivos de protección de bombas de combustible, aceite, agua, radiadores, separadoras de bunker y aceite, ventiladores y extractores de ambiente. Contactores y temporizadores de mediana y baja tensión serán inspeccionados y probados, estos son usados para el control automático y manual de los equipos.

Figura 6. **Dispositivos de protección, contactores y temporizadores**



Fuente: Central Generadora Progreso, S.A.

Figura 7. **Contactores**



Fuente: Central Generadora Progreso, S.A.

#### **4.1.2. Controladores lógicos programables**

Los controladores lógicos programables (PLC) se deben bloquear y aislar eléctricamente, para su posterior limpieza de borneras, puertos digitales, inspección de fuentes de alimentación, cableado de control y revisión de software y alarmas almacenadas. Luego de su mantenimiento se debe verificar con simuladores digitales las alarmas programadas a los PLC.

Figura 8. **PLC**



Fuente: Central Generadora Progreso, S.A.

#### **4.1.3. Motores radiadores**

Los motores eléctricos utilizados en los radiadores para el agua de enfriamiento de los motores deben ser bloqueados y aislados eléctricamente. Previo a su desmontaje se debe tener cuidado con la identificación correcta de

las fases de los motores para que no exista un cambio de giro indeseado al momento de su instalación.

A cada motor se debe revisar su bornera, que no exista corrosión, realizar limpieza de contactos metálicos, inspección de tornillos, roldanas, tuercas y cualquier otra parte mecánica de ajuste de la bornera.

Al finalizar el mantenimiento se debe conectar nuevamente los cables de alimentación con atención al orden de fases. Sellar la bornera contra el agua y polvo con silicón de alta temperatura para prevenir contaminación externa que pueda provocar una falla.

El motor debe ser desarmado con mucho cuidado de forma de sacar su rotor, y realizar una limpieza exhaustiva e inspeccionar alguna anomalía que pueda existir en su embobinado, cera protectora o algún desbalance o daño mecánico. De igual forma el estator se le dará una limpieza e inspección en busca de cualquier anomalía que pueda presentar.

Figura 9. **Motor radiador**



Fuente: Central Generadora Progreso, S.A.

#### **4.1.4. Instrumentos análogos y digitales**

Los instrumentos análogos y digitales los cuales sirven para control de distintas variables en el proceso de generación, deberán ser aislados eléctricamente, por lo que se debe bloquear por completo el sistema eléctrico asociado al motor a realizar el mantenimiento.

##### **4.1.4.1. Termocoplas**

Las termocoplas encargadas de reflejar la temperatura en los cilindros del motor, se deben remover con extremo cuidado para evitar cualquier daño a su pozo o cables de conexión. Deben ser limpiadas e inspeccionadas en busca de algún problema evidente, serán ensayadas por medio de un simulador para

comprobar su correcta medición de temperatura y que no exista algún falso contacto en sus terminales.

Figura 10. **Termocopla**



Fuente: Central Generadora Progreso, S.A.

#### **4.1.4.2. Sensores de temperatura**

Los sensores de temperatura localizados en tuberías de agua y aceite para medición de temperaturas deberán ser removidos con cuidado de no dañar sus borneras y pozos. Se debe limpiar el sensor y sus contactos eléctricos. Posteriormente realizar su ensayo para verificar su correcta medición de temperatura. Si los valores reflejados no coinciden con los reales se debe cambiar el sensor.

Figura 11. **Sensor de temperatura**



Fuente: Central Generadora Progreso, S.A.

#### **4.1.4.3. Sensores de presión**

Los sensores de presión o presostatos encargados de supervisar las presiones de agua, aceite, combustible y aire se le dará mantenimiento purgando previamente las tuberías de alimentación al sensor para drenar presiones residuales que puedan existir. Se les debe limpiar sus contactos eléctricos los cuales transmiten la medición registrada hacia el control supervisado y se debe lubricar las partes mecánicas móviles. Posterior a su limpieza e inspección se debe comprobar su funcionamiento a través de alguna bomba de presión con ajuste manual. Estos sensores pueden ser calibrados, por tanto de existir una variación se debe ajustar al valor deseado.

Figura 12. **Sensor de presión o presostato**



Fuente: Central Generadora Progreso, S.A.

#### **4.1.4.4. Manómetros**

Los manómetros posicionados en tuberías de diferente índole y partes vitales del motor se deben inspeccionar y limpiar, de estar quebrados o su indicación no es correcta deben ser cambiados. Si su ubicación lo permite deben ser retirados, limpiados y probados.

Figura 13. **Manómetro**

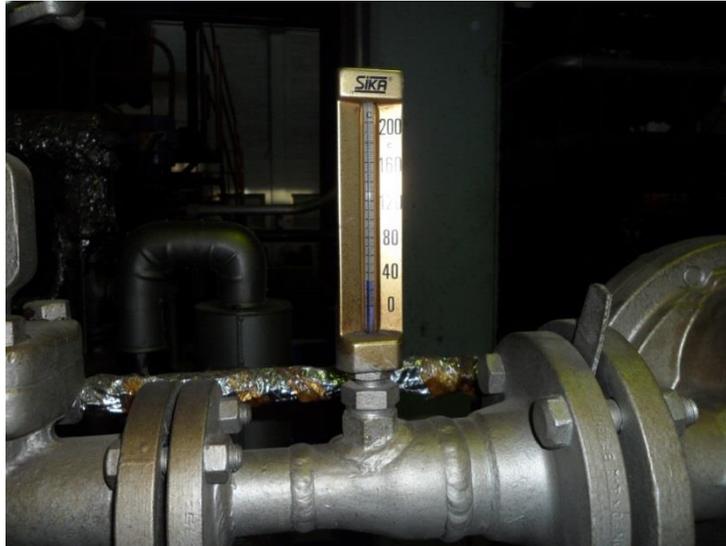


Fuente: Central Generadora Progreso, S.A.

#### **4.1.4.5. Termómetros**

Los termómetros se deben retirar para su limpieza e inspección, estos son especialmente delicados por ser de vidrio, por la vibración que se produce en los lugares donde son instalados son fácilmente dañados. Deben ser probados para verificar que su medición sea la correcta.

Figura 14. **Termómetro**



Fuente: Central Generadora Progreso, S.A.

#### **4.1.4.6. Solenoides**

Se ubican solenoides en válvulas de parada y arranque de los motores, también en las transferencias de las calderas que conducen los gases de escape. Se les debe dar mantenimiento ya sea que tenga a la vista su embobinado y darle limpieza con químicos no conductivos y corrosivos, en caso de no tener a la vista el embobinado se debe comprobar sus valores eléctricos como la resistencia, que no haya cambiado desde su última medición.

Figura 15. **Solenoides**



Fuente: Central Generadora Progreso, S.A.

#### **4.2. Mejora de tiempos de mantenimiento, por reducción de acumulación de polvo en equipos**

El mantenimiento se verá afectado por modificaciones a sus tiempos de trabajo y personal asignado. En mantenimientos medianos se verá incrementado el número de trabajos y tiempo asignado. Serán realizados por personal de turno de operación abarcando las veinticuatro horas del día, obteniendo mejores tiempos de realización de las labores y mejor seguimiento.

Los tiempos de mantenimiento por sus características tendrán duraciones de:

Tabla V. **Mejora de tiempos de mantenimientos**

<b>Mantenimiento</b>	<b>Tiempo</b>
Contactores y dispositivos de protección	1 día
PLC	1 día
Motores radiadores	4 día
Instrumentos análogos y digitales	3 día
Generador	1 día
Instrumentos alta tensión	1 día
Breaker alta tensión	1 día
<b>Total</b>	<b>12 días</b>

Fuente: elaboración propia.

En total se abarcan doce días de trabajos especializados realizados por personal eléctrico y mecánico de turno. Estos tiempos recortaran la duración de los mantenimientos mayores, logrando un ahorro de tiempo y dinero en manejo de personal. La reubicación de personal eléctrico a trabajos de distinta índole reducirá el número de personal de empresas terceras contratadas en ayudar durante los mantenimientos, logrando un ahorro monetario significativo.

#### **4.3. Evaluación de posibles soluciones para reducir la acumulación de polvo**

Según la disposición actual de la generadora con respecto a su infraestructura se presentan soluciones para reducir el ingreso de polvo a las áreas más críticas.

#### **4.3.1. Equipos especiales**

En la actualidad existen equipos especiales tales como colectores de polvo o limpiadores de aire los cuales tienen como función filtrar el área donde son instalados. Por los cuidados y mantenimientos que se les debe dar a estos equipos y por el hecho que las áreas a ser instalados son muy grandes, no se tomaran en cuenta. Finalmente el uso de estos equipos no es económicamente viable.

#### **4.3.2. Aislamiento hermético de sala de máquinas y control central**

Para la reducción de ingreso de polvo a la sala de máquinas y control central de la generadora se evalúa un aislamiento de las áreas, para tener una prevención de la acumulación de polvo y reducir el trabajo posterior de limpieza. En la sala de control central se encuentran muchos equipos eléctricos delicados como contactores, PLC, computadoras, etc. Al prevenir el ingreso de polvo al área se aumentaría la confiabilidad de la operación de los equipos, así como la reducción de mantenimiento preventivo y correctivo.

En la sala de máquinas donde se encuentra gran cantidad de equipos, motores, bombas, tuberías, etc. Se debe tomar en cuenta la gran generación de calor por parte de los equipos, por este hecho la sala de máquinas cuenta con aberturas al ambiente para la extracción del calor acumulado. El calor es conducido por flujo natural hacia afuera sin la ayuda de algún equipo externo, las aberturas se encuentran en el techo de la sala, el aire caliente tiende a subir donde encuentra su liberación al ambiente. Se tiene cuatro ventiladores que inducen aire fresco del ambiente hacia dentro de la sala de máquinas, estos tienen a su entrada filtros que limitan la entrada de polvo.

Tomando en cuenta toda entrada de aire posible a estas áreas se llega a tres acciones para lograr la hermeticidad de los lugares.

#### **4.3.2.1. Sellado de aberturas**

El control central tiene entrada de aire a través de las puertas de ingreso; la puerta principal y auxiliar; se propone colocar puertas herméticas con cierre retráctil y sellado con empaques plásticos en las orillas. Adicional colocar un ante sala con un flujo abundante de aire para librar al personal que ingrese del polvo.

El aire acondicionado toma el flujo de entrada directamente del ambiente, se debe colocar filtros especiales para polvo muy fino y tener una programación periódica de limpieza y cambio de los mismos. Con las ventanas de oficinas y baños, se propone colocar filtros así como extractores.

La sala de máquinas tiene una puerta desde el control central, una entrada proveniente de los talleres eléctricos y mecánicos, dos salidas de emergencia y un portón para entrada y salida de equipo grande. Las puertas provenientes del control central y talleres son las más utilizadas por lo que es conveniente utilizar puertas herméticas, así como una ante sala. Las puertas de emergencia por no utilizarse regularmente se optan usar puertas herméticas.

El portón debe mantenerse cerrado en todo momento y colocar un sellado plástico en las orillas para evitar el ingreso de polvo. Gran cantidad de polvo ingresa por las aberturas que se encuentran en el techo, se propone el sellado de las mismas.

#### **4.3.2.2. Extractores**

En el área de oficina y baños se opta colocar extractores impulsando aire de adentro del área hacia afuera al ambiente, esto mantendrá un flujo del aire acondicionado y ayudara para la extracción de malos olores.

En la sala de máquinas se realiza una evaluación importante, sellando toda abertura al ambiente el calor generado por los equipos no tendrá por donde escapar lo que elevara rápidamente la temperatura dentro de la sala y provocara la falla de los equipos por altas temperaturas, solamente se tendrá ingreso de aire fresco del ambiente pero sin tener un flujo controlado este no ayuda a disminuir la temperatura.

Por tanto se propone la instalación de extractores de aire controlados automáticamente por medio de sensores de temperatura colocados a lo largo de la sala de máquinas para que arranquen según sea necesario para mantener un flujo controlado del aire que ingresa y sale. Este control evitara el ingreso de polvo a la sala de máquinas y también ayudara a controlar la temperatura por medio de un ambiente controlado.

#### **4.3.2.3. Control de ingreso de personal**

El personal a ingresar a la generadora deberá ser clasificado por personal propio de la generadora, visita administrativa y personal de empresas terceras. De este modo se lograra un control de las puertas de ingreso al control central y sala de máquinas, para poder prevenir el ingreso de polvo a ellas, haciendo de conocimiento del personal a ingresar de utilizar únicamente las puertas de ingreso autorizadas para no perjudicar la hermeticidad dentro de las áreas.

## CONCLUSIONES

1. Las fallas ocasionadas por el polvo se presentan a lo largo de todo el sistema de control, tanto en equipo eléctrico como electrónico, incurriendo a pérdidas económicas significativas.
2. A través del estudio teórico del mantenimiento y las bases de funcionamiento de los equipos se orientó de forma óptima el mantenimiento propuesto.
3. La ubicación de la generadora es propicia para la acumulación de polvo y la infraestructura no está diseñada para el ambiente donde se encuentra. Se valora que el sistema de control es una parte vital para la generadora la cual es muy propensa a fallas derivadas del polvo.
4. El mantenimiento es óptimo cuando se da prioridad de limpieza de equipos durante temporadas de bajo trabajo reduciendo tiempos en temporadas altas. Para reducir el ingreso de polvo se debe tener control de ingreso del personal, sellado de aberturas al ambiente, colocación de filtros y extractores de aire.



## RECOMENDACIONES

1. Se debe asumir una programación de limpieza más frecuente de lo recomendado por el fabricante por el tipo de ambiente donde se ubica la generadora.
2. Las áreas donde se ubican equipos electrónicos de control y equipos de mediana y alta tensión deben mantener un grado de hermeticidad para evitar el ingreso de polvo.
3. Las soluciones propuestas son aplicables a cualquier ambiente con excesiva acumulación de partículas aéreas, dependiendo de las partículas a presentarse en el ambiente se deben tomar los cuidados específicos. Se debe conocer la consistencia y densidad de la partícula para conocer el efecto que puede tener en los equipos.
4. Actualmente existe equipo con alto grado de protección contra cuerpos extraños y partículas de polvo regidos por el estándar IEC 60529 Grados de protección, por ende se debe tomar en cuenta este estándar en nuevas generadoras, y las que se encuentran en operación optar por estos equipos en nuevas adquisiciones para minimizar el mantenimiento.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ENRIQUE HARPER, Gilberto. *Electrónica de potencia básica*. México: Limusa, 2006. 482 p. ISBN: 9681868447.
2. HAYT, William H. *Análisis de circuitos de ingeniería*. Sánchez Trujillo, Carlos Manuel (trad.). 4a ed. México: McGraw-Hill, 1988. 677 p.
3. LLADONOSA, Vicent. *Circuitos básicos de instalaciones eléctricas*. México: Alfaomega, 1995. 148 p.
4. SOISSON, Harold E. *Instrumentación industrial*. Corona Rodríguez, Hortensia (trad.). México: Limusa, 1988. 550 p.
5. ZAMORA MARTÍNEZ, José Emilio. *Guía para el curso de instrumentación mecánica, parte medidores de temperatura*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1994. 162p.

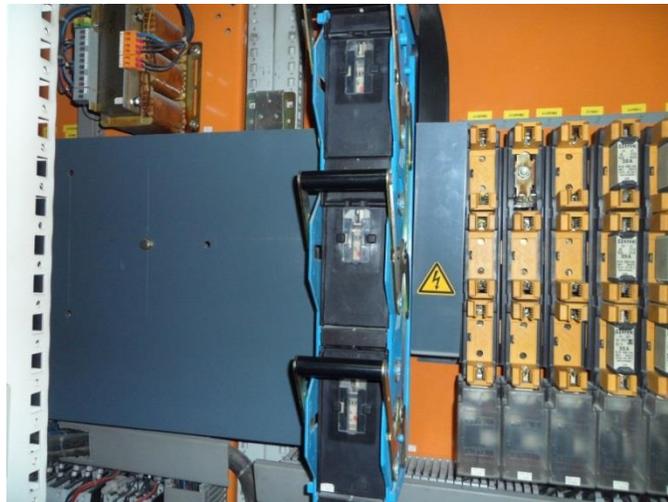


## ANEXOS

### Anexo 1: fotografías de equipos y áreas



Fuente: sala de máquinas, Central Generadora Progreso, S.A.



Fuente: cuchilla de barra, Central Generadora Progreso, S.A.



Fuente: indicadores análogos y digitales, Central Generadora Progreso, S.A.



Fuente: control de mando de motor, Central Generadora Progreso, S.A.



Fuente: radiadores, Central Generadora Progreso, S.A.



Fuente: sensores de temperatura, Central Generadora Progreso, S.A.



Fuente: termómetros de temperatura de agua de entrada y salida de radiadores, Central Generadora Progreso, S.A.



Fuente: presostatos de combustible, Central Generadora Progreso, S.A.



Fuente: manómetros de presión de agua, Central Generadora Progreso, S.A.



Fuente: manómetro de presión de aire, Central Generadora Progreso, S.A.