



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

TEMA:

Análisis del Plan de Mantenimiento Preventivo para generadores de turbina  
a gas de hasta 5 MW con base a la norma IEEE std. 67

AUTOR:

Pine Tobar, William Russell

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de  
**INGENIERO EN ELÉCTRICO MECÁNICA CON  
MENCION EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

TUTOR:

Ing. Montenegro Tejada, Raúl, M.Sc.

**Guayaquil, Ecuador**

**19 de marzo del 2019**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Pine Tobar, William Russell**, como requerimiento para la obtención del Título de **Ingeniero en Eléctrico Mecánica con mención en gestión empresarial industrial**.

**TUTOR**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Montenegro Tejada, Raúl, M.Sc.**

**DIRECTOR DE LA CARRERA**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Heras Sánchez, Miguel Armando, M.Sc.**

**Guayaquil, a los 19 del mes de marzo del año 2019**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Pine Tobar, William Russell**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, “**Análisis del Plan de Mantenimiento Preventivo para generadores de turbina a gas de hasta 5 MW con base a la norma IEEE std. 67**”, previo a la obtención del Título de **Ingeniero en Eléctrico Mecánica con mención en gestión empresarial industrial**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

**Guayaquil, a los 19 del mes de marzo del año 2019**

EL AUTOR

f. \_\_\_\_\_  
**Pine Tobar, William Russell**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

### AUTORIZACIÓN

Yo, **Pine Tobar, William Russell**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, “**Análisis del Plan de Mantenimiento Preventivo para generadores de turbina a gas de hasta 5 MW con base a la norma IEEE std. 67**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 19 del mes de marzo del año 2019**

**EL AUTOR**

f. \_\_\_\_\_  
**Pine Tobar, William Russell**

## **AGRADECIMIENTO**

Al terminar mi etapa universitaria, agradezco a la Universidad Católica Santiago de Guayaquil, a su cuerpo de docentes y personal especialmente de la Facultad Técnica para el Desarrollo.

A mi tutor Ing. Raúl Montenegro Tejada, al director de la carrera Ing. Armando Heras Sánchez, M.Sc., por sus enseñanzas, colaboración, conocimiento y apoyo que me brindaron gracias a su amplia experiencia y predisposición antes y durante el desarrollo de mi trabajo de titulación.

A mi familia y amigos que han estado en todo momento presente cuando los he necesitado, brindándome el apoyo y las fuerzas necesarias para lograr mi objetivo académico.

William

## DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico sobre toda las cosas a Dios, a sus palabras de esforzarme y ser muy valiente, a no temer, ni desmayarme, tampoco a desanimarme, porque él siempre estará conmigo (Josué 1:6-9), y hoy puedo decir Ebenezer, hasta aquí Dios me ha ayudado.

A mis padres (+), que a pesar de ya no estar más conmigo, siempre me enseñaron a luchar por mis sueños y metas, los extraño mucho.

A mis hermanos, que con su apoyo pusieron un grano de arena para que pueda hoy terminar mis estudios profesionales.

A mis hermanos en Cristo que gracias a sus oraciones, me dieron las fortalezas de parte de Dios para seguir esforzándome más.

A mis amigos y compañeros de trabajo que aportaron con sus experiencia y conocimiento cuando busqué de ellos.

William



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_

**ING. HERAS SÁNCHEZ, MIGUEL ARMANDO, M.Sc.**  
DIRECTOR DE LA CARRERA

f. \_\_\_\_\_

**ING. PHILCO ASQUI, LUIS ORLANDO, M.sc**  
COORDINADOR DEL ÁREA DE LA CARRERA

f. \_\_\_\_\_

**ING. VALLEJO SAMANIEGO, LUIS VICENTE, M.sc**  
OPONENTE

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO .....	VI
DEDICATORIA .....	VII
ÍNDICE GENERAL.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
RESÚMEN .....	XVI
ABSTRACT.....	XVII
CAPÍTULO 1 .....	2
INTRODUCCIÓN.....	2
1.3 OBJETIVOS .....	3
1.3.1 Objetivo general .....	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.5 METODOLOGÍA .....	3
PARTE I MARCO TEÓRICO.....	4
CAPÍTULO 2.....	4
SITUACIÓN ENERGÉTICA EN EL ECUADOR.....	4
2.1.1 Ubicación de una planta de generación térmica.....	7
2.1.2 Tipos de combustibles.....	8
2.1.3 Caldera de una planta de generación térmica .....	8
2.1.3.1 Caldera acuotubulares .....	9
2.1.4 Turbina de una planta de generación térmica .....	10



2.1.5	Generador de una planta de generación térmica .....	12
2.1.6	Definición de transformador eléctrico .....	13
2.1.7	Pérdidas en el transformador .....	14
2.1.8	Subestaciones eléctricas.....	15
2.1.9	Elementos que conforman una subestación eléctrica.....	16
2.1.10	Subestaciones eléctricas elevadoras.....	17
2.1.11	Subestaciones eléctricas reductoras.....	17
2.2	Concepto de mantenimiento .....	18
2.2.1	Tipos de mantenimiento .....	18
2.2.2	Mantenimiento preventivo.....	18
2.2.3	Mantenimiento correctivo.....	19
2.2.4	Mantenimiento predictivo.....	19
2.2.5	Planificación de los mantenimientos.....	19
2.2.6	Planes de mantenimiento .....	20
2.2.7	Programas de mantenimiento.....	21
2.3.1	IEEE std. 67.....	22
2.3.2	Otras normas aplicables .....	22
2.4.1	Impacto ambiental .....	23
2.4.2	Impacto ambiental de las plantas de generación térmicas .....	24
2.4.2.1	Contaminación acústica en plantas de generación Térmica.....	25
2.4.3	Remediación ambiental de las plantas de generación térmicas ...	26
2.4.4	Impacto ambiental de un generador .....	27
2.5	Seguridad industrial .....	27

2.5.1	Sistemas contra incendio de centrales de generación térmica.....	28
CAPÍTULO 3.....		29
CONSIDERACIONES PARA EL MANTENIMIENTO ELÉCTRICO .....		29
3.5.1	Diseño de un plan de mantenimiento preventivo eléctrico.....	32
3.5.2	Recursos para un plan de mantenimiento preventivo eléctrico ....	32
3.6.1	Cinco reglas de oro para el trabajo seguro.....	33
3.7.1	Métodos y procedimientos de pruebas y medición .....	34
3.7.2	Pruebas de resistencia de aislamiento .....	34
3.7.2.1	Tensiones pruebas de resistencia de aislamiento .....	36
3.7.3	Registro de pruebas de resistencia de aislamiento .....	37
3.7.4	Pruebas de alta tensión (Hipot) para generadores .....	39
3.7.5	Evaluación de los datos obtenidos en las pruebas eléctricas.....	40
3.8.1	Inspecciones y evaluaciones de partes móviles.....	41
CAPÍTULO 4.....		44
GENERADORES ELÉCTRICOS DE HASTA 5MW .....		44
4.5.1	Sistema de enfriamiento de aire enfriado .....	47
4.5.2	Sistema aire-aire con intercambiador de calor .....	48
4.5.3	Sistema aire-agua con intercambiador de calor .....	48
CAPÍTULO 5.....		51
MANTENIMIENTO PREVENTIVO RECOMENDADO DEL GENERADOR .		51
5.1.2	Anillos y escobillas del colector .....	52
5.1.2.1	Inspecciones diaria del colector .....	52
5.1.2.2	Inspecciones semanales del colector.....	52

5.4.1	Caja de conexiones y terminales.....	54
5.4.2	Ventilador .....	55
5.5.1	Medición de IR en los devanados del estator .....	55
5.5.2	Medición de IR en los devanados del rotor y de la excitatriz .....	56
5.5.3	Evaluación de las pruebas de resistencia de aislamiento (IR).....	58
5.6.1	Anillos retenedores.....	59
5.6.2	Rodamientos .....	59
5.7.1	Filtros de aire.....	59
5.7.2.1	Detección de fuga de hidrógeno .....	60
CAPÍTULO 6.....		61
PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA GENERADORES .....		61
6.1.1	Mantenimiento operacional del generador.....	61
6.1.2	Mantenimiento intermedio del generador .....	61
6.1.3	Mantenimiento mayor del generador .....	62
PARTE II APORTACIONES.....		64
CAPÍTULO 7.....		64
MEJORAMIENTO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....		64
7.4.1	Beneficios directos.....	65
7.4.2	Beneficios menores .....	65
CAPÍTULO 8.....		68
PROPUESTA PARA LA EFICIENCIA DEL PMP DEL GENERADOR .....		68
8.1.1	Entrenamiento y capacitación del personal .....	68
8.1.2	Levantamiento de información, inspección y análisis de datos ....	69

8.4.1 Bloqueo y etiquetado de los equipos .....	71
CAPÍTULO 9.....	75
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	75
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Tabla de zonas de ruido en exterior.....	25
Tabla 3.1: Ruta recomendada para el plan de mantenimiento .....	31
Tabla 3.2: Valores mínimos de la resistencia de aislamiento a 40°C.....	36
Tabla 3.3: Tensiones de CC utilizadas en la prueba de resistencia.....	37
Tabla 3.4: Formato de registro de pruebas de IR .....	38
Tabla 4.1: Protecciones de acuerdo a la potencia del generador .....	49
Tabla 5.1: Límites orientativos de la IR en máquinas eléctricas .....	58
Tabla 6.1: PMP entregado por el fabricante .....	63
Tabla 7.1: PMP con base a la IEEE std 67 .....	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1:	Situación energética en el Ecuador .....	4
Figura 2.2:	Conjunto turbina-generador de central térmica.....	7
Figura 2.3:	Partes de una caldera pirotubular .....	9
Figura 2.4:	Partes de una caldera acuotubular .....	10
Figura 2.5:	Sección de una turbina de gas .....	12
Figura 2.6:	Generador eléctrico de 230 KW, 400 V, 50Hz .....	13
Figura 2.7:	Transformador de potencia, S/E Duran, potencia 225 MW.....	14
Figura 2.8:	Curva de histéresis del transformador .....	15
Figura 2.9:	Elementos de una subestación eléctrica.....	17
Figura 2.10:	Porcentaje de superficie terrestre protegida .....	23
Figura 2.11:	Límite de ruido permitidos de acuerdo a la OSHA 1910.95....	26
Figura 3.1:	Alineación paralela y angular.....	41
Figura 4.1:	Conexión estrella y delta de un generador .....	45
Figura 4.2:	Esquema de rotor de polo saliente .....	46
Figura 4.3:	Excitatriz sin escobillas .....	46
Figura 4.4:	Sistema de enfriamiento de grupo electrógeno .....	47
Figura 5.1:	Conexión del megóhmetro .....	56
Figura 8.1:	Candados de seguridad.....	72
Figura 8.2:	Formato orientativo de permiso de trabajo .....	74

## RESÚMEN

Las centrales de generación térmicas a lo largo del tiempo han demostrado ser de mayor eficiencia en la industria energética de país, muy a pesar de la contaminación ambiental que genera su funcionamiento, además presentan mayores ventajas sobre las centrales hidroeléctricas, que las hacen de mayor rentabilidad; sin embargo para mantener su eficiencia es necesario contar con un plan de mantenimiento eficiente que garantice la confiabilidad de su principal componente como es el generador eléctrico y por consiguiente la estabilidad del sistema eléctrico; con base a lo anterior la comunidad internacional ha logrado la estandarización de recomendaciones y procedimientos de mantenimiento que han servido como guía para la mejora en los programas de mantenimiento del generador. Se estima que los gastos de mantenimiento de los equipos en la industria ocupan el 40% del presupuesto anual de una empresa, es así que, siendo tan importante el mantenimiento de los equipos dentro del presupuesto de una industria, los planes de mantenimientos también constituyen una mejora en la eficiencia de la producción debido a los tiempos de paralización de los equipos ocasionado por problemas o falta de mantenimiento. El poder analizar los fallos que han ocurrido o que se tiene la probabilidad que ocurran, además de los altos costos de la perdidas de equipos, hacen posible la fiabilidad de un plan de mantenimiento, con base a normativas internacional vigentes, este proyecto aporta acciones a seguir para el correcto plan de mantenimiento de los generadores eléctricos de las centrales de generación térmica.

***Palabras Claves: generador, mantenimiento, eficiencia, centrales, energía, normativas.***

## **ABSTRACT**

The thermal generation plants over time have proven to be more efficient in the country's energy industry, far from the environmental pollution that generates its operation, also have greater advantages over hydroelectric power plants, which make them more profitable; However, in order to maintain its efficiency, it is necessary to have an efficient maintenance plan that guarantees the reliability of its main component, such as the electric generator and, consequently, the stability of the electrical system; Based on the above, the international community has achieved the standardization of recommendations and maintenance procedures that have served as a guide for the improvement of generator maintenance programs. It is estimated that maintenance costs of equipment in the industry occupy 40% of the annual budget of a company, so, being so important to maintain the equipment within the budget of an industry, the maintenance plans also constitute a improvement in production efficiency due to equipment downtime caused by problems or lack of maintenance. Being able to analyze the failures that have occurred or that are likely to occur, in addition to the high costs of equipment loss, make possible the reliability of a maintenance plan, based on current international regulations, this project provides actions to follow for the correct maintenance plan of the electric generators of the thermal generation plants.

***Key Words: generator, maintenance, efficiency, power plants, energy, regulations.***



# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Justificativo**

El 31,21% de la energía eléctrica producida en el Ecuador hasta el 2018, provenía de las centrales de generación térmica según datos de Celec EP. La energía producida en las centrales térmicas se ha convertido en la más eficiente, sin embargo para poder mantener la eficiencia es necesario contar con un eficiente plan de mantenimiento a sus principales equipos como el generador.

Este trabajo busca analizar el plan de mantenimiento que se debe realizar al generador de potencia de 5MW, tomando en consideración las recomendaciones y práctica de la normativa IEEE, además de los planes y rutinas de mantenimiento recomendadas por el fabricante de cada equipo, tomando en cuenta la seguridad del personal e instalaciones y en total armonía con el medio ambiente.

### **1.2 Planteamiento del problema**

Las continuas interrupciones del servicio de energía eléctrica, debido a la falta o el incorrecto mantenimiento preventivo o correctivo que se realiza a los equipos de generación eléctrica como generadores, han traído como consecuencia la paralización en la producción y pérdidas económicas debido a los paros no programados de los equipos y maquinarias eléctricas de las industrias y consumidores en general. Por lo que es necesario contar con un eficiente plan de mantenimiento preventivo destinado a mejorar la confiabilidad de la generación eléctrica y por consiguiente la estabilidad en el sistema eléctrico.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Mejorar el plan de mantenimiento preventivo que se realiza a generadores de hasta 5 MW, utilizados en turbina a gas para generación de energía eléctrica en plantas de procesamiento.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Aplicar las recomendaciones emitidas por la IEEE std. 67, respecto al mantenimiento que se realiza al generador de 5MW de las turbina.
- Completar el plan de mantenimiento preventivo con base al manual y las normas aplicables como la NFPA 70B.
- Aportar acciones a seguir para una buena práctica de mantenimiento preventivo a generador de 5 MW.

### **1.4 Tipo de investigación**

El tipo de investigación utilizada en el presente trabajo es teórica con enfoque analítico, por lo que se hará uso de las técnicas de investigación de descriptivas y exploratorias, que son realizables para este proyecto.

### **1.5 Metodología**

Se utiliza una metodología de investigación de tipo analítica experimental y documental relacionada directamente con el análisis de los planes de mantenimiento del generador basándose en las recomendaciones de la normativa IEEE, haciéndolo eficiente.

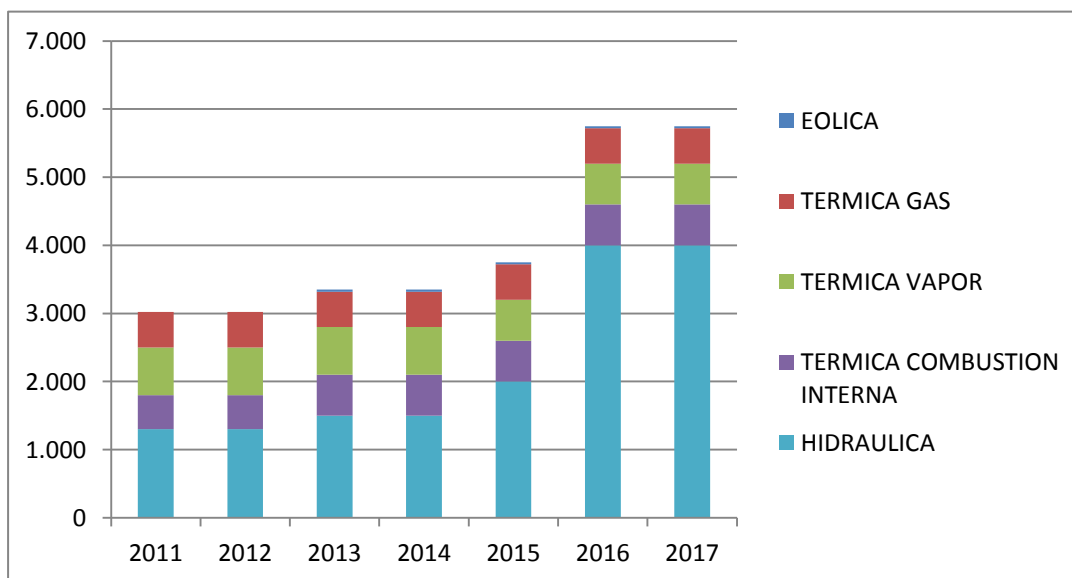
## PARTE I MARCO TEÓRICO

### CAPÍTULO 2

#### SITUACIÓN ENERGÉTICA EN EL ECUADOR

De acuerdo al último informe de rendición de cuentas del año 2017 de la Corporación Eléctrica del Ecuador (Celec EP), empresa encargada de la generación, transmisión, distribución, comercialización, importación y exportación de la energía eléctrica en el Ecuador, se cuenta con una potencia instalada de 5.754 MW, como se muestra en la figura 2.1, de la cual la producción de energía eléctrica a través de centrales de generación térmica, que aportan al Sistema Nacional Interconectado (SNI) constituye el 16% del total de la energía generada en el país, mientras que, las centrales de generación hidroeléctricas aportan al SNI el 83,7%; para diciembre del mismo año, es decir el 2017, la capacidad instalada en unidades transformadoras fue de 14.698 MVA, lo que ha ayudado al desarrollo y ha enriquecido la matriz energética del país.

Para los próximos años, se espera que el aumento de empresas en el país incremente la demanda de energía por lo que deberá construir nuevas centrales eléctricas que garanticen el total abastecimiento de energía acordes a los temas medioambientales.



**Figura 2.1: Situación energética en el Ecuador.**  
Tomado de Celec EP.

## 2.1 Plantas de generación térmica

Las plantas de Generación Térmicas, son Centrales de Generación Eléctrica o Centrales Termoeléctricas, que aprovechan la energía liberada de la combustión de un combustible que es quemado en una Caldera, en donde en su interior circula un fluido, en este caso agua, por efecto del calor de la combustión del combustible se produce vapor de agua a altas temperaturas y presiones, el vapor producido dentro de la caldera es transportado mediante una serie de tuberías a los álabes de una turbina conectada mediante un eje transversal a un generador eléctrico, la turbina por acción de la presión del vapor que golpea sus álabes impulsa al generador transformando energía mecánica en energía eléctrica, el conjunto turbina-generador es llamado también turbomáquina o turbogenerador (figura 2.2).

El aprovechamiento de la energía liberada en forma de calor se conoce como ciclo termodinámico y existen dos tipos de centrales térmicas, las convencionales y las no convencionales; las centrales térmicas convencionales utilizan como fuente de energía el calor producido por la combustión de un combustible fósil, mientras que las centrales térmicas no convencionales utilizan ciclos combinados (la energía calorífica producida, es mediante la combinación de dos ciclos térmicos, un ciclo de gas y un ciclo de vapor) o se basan en la cogeneración (calor remanente de los gases de escape).

Entre las partes que comprende una central de generación térmica están las siguientes:

- Caldera (generador de vapor)
- Turbina
- Generador Eléctrico
- Torre de enfriamiento
- Tanques de almacenamiento
- Compresor
- Transformador.
- Subestación eléctrica

Entre las ventajas que presentan las centrales de generación térmicas están las siguientes:

- Los tiempos de construcción son cortos.
- En la actualidad la tecnología ha logrado diseñar unidades generadoras de mayor tamaño con mayor rendimiento.
- Los costos de construcción en comparación con una hidroeléctrica son menores.
- No son afectadas por el clima presente en el sitio.

Entre las desventajas que presentan las centrales de generación térmicas están las siguientes:

- El impacto ambiental es mayor por la gran cantidad de gases que emanan a la atmósfera.
- Debido a la contaminación auditiva durante su operación, se sitúan en las afuera de las ciudades.
- Representan una gran amenaza para la flora y fauna, debido a la contaminación del suelo o del agua en caso del derrame del combustible.

En Ecuador de acuerdo a los datos de Corporación Eléctrica del Ecuador (Celec EP), existen cinco plantas de generación térmicas con sus respectivas unidades de generación, siendo Electroguayas con una capacidad instalada de 634 MW, la más grande del país, el resto de centrales de generación térmicas las conforman:

- Termoesmeraldas, potencia instaladas entre sus centrales: 227 MW
- Termogas Machala, potencia instaladas entre sus centrales: 255 MW
- Termopichincha, potencia instaladas entre sus centrales: 336 MW
- Termomanabí, potencia instaladas entre sus centrales: 202 MW

Sin embargo, existen también plantas de generación térmicas de menor capacidad y potencia que se utilizan en todas las industrias y especialmente en la industria hidrocarburífera que por su alto grado de importancia y por el proceso que utilizan, necesitan el suministro eléctrico constantemente sin que existan interrupciones.

Para los próximos años se prevé que el crecimiento de las centrales térmicas en el país crezca en un 20% con respecto a las demás fuentes de energía según datos de Celec EP, y con esto aumentaría en mayor porcentaje la disponibilidad energética del país; mientras que en la centrales hidroeléctrica por su altos costos de construcción.



**Figura 2.2: Conjunto turbina-generator de la central térmica Gonzalo Zevallos G.** Tomado de Celec EP.

### **2.1.1 Ubicación de una planta de generación térmica**

Los criterios para el diseño de una central térmica están delineados con base al sitio donde se construirá y ubicará la central térmica (geología, vías de acceso, topografía del suelo, entre otros), además, se toman en cuenta los impactos ambientales y socioeconómicos, su funcionamiento y las facilidades que presta el sitio (proximidad a fuentes de agua, almacenamiento de combustible, etc.).

El tamaño de la central es un factor importante, debido a que dependerá de la potencia del generador, es decir, una central térmica de 5MW ocupará un área menor que una central de 100MW; claro está que una central de menor tamaño y potencia abastecerá con energía eléctrica un pequeño pueblo o una industria específica, mientras que un central de mayor tamaño y potencia abastecerá con energía eléctrica grandes ciudades. Debido a su tamaño las centrales se ubican en las afuera de las ciudades o en sitios alejados de la ciudadanía, para esto se toman en cuenta los costos-beneficios que demandará la construcción de una central térmica además de los daños medio ambientales que provocaría su construcción y operación especialmente si se encuentra cercana a una ciudad o a un pueblo, en lo posterior se tratará las regulaciones ambientales de estas plantas.

### **2.1.2 Tipos de combustibles**

Como se indicó anteriormente, las centrales térmicas queman combustibles fósil para la producción de vapor de agua que impulsa al generador mediante el movimiento de los álabes de la turbina; entre los combustibles utilizados en las centrales térmicas están: el diésel, gas natural, GLP, carbón, fuel oil, siendo el más contaminante el carbón, por las grandes cantidades de Monóxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) y de Óxido de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>) emanados a la atmósfera y el menos contaminante el gas natural debido a su composición de metano (CH<sub>4</sub>), que al mezclarse con el aire su combustión es más eficiente produciendo una tercera parte menos de CO<sub>2</sub> , además, que no contiene partículas de azufre o metales pesados.

La mayor parte de centrales térmicas utilizan combustible diésel para su funcionamiento, de acuerdo a datos del Banco Central del Ecuador “La importación de diesel en el segundo trimestre del 2017 fue de 4.84 millones de barriles por un valor de USD 314.87 millones, a un precio promedio de importación de USD 65.12 por barril (Banco Central del Ecuador, 2017); de esto el 40% del diésel es destinado a las generadoras térmicas del país.

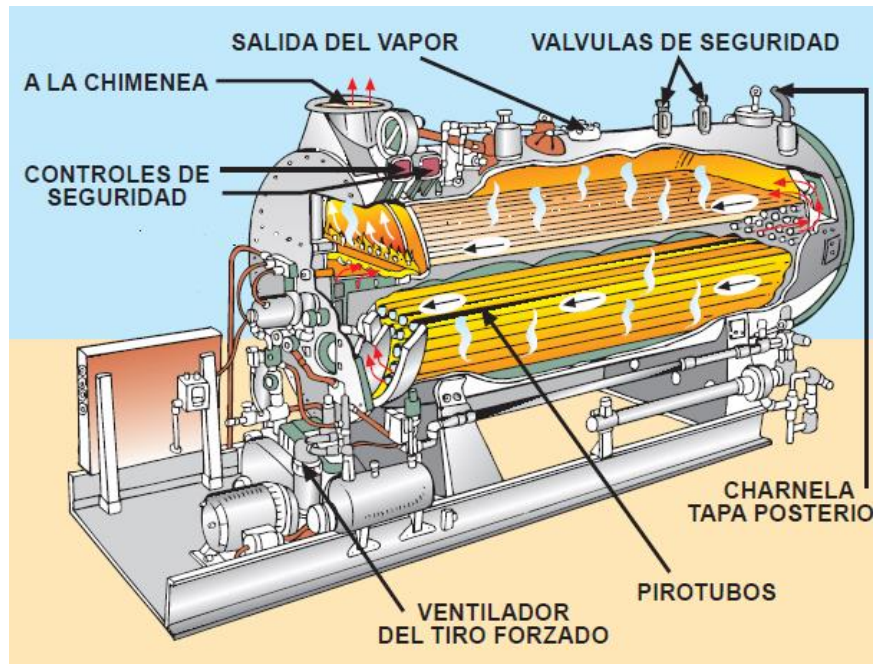
Como dato adicional existen otros tipos de combustible utilizados en centrales térmicas como el producido por la fisión del núcleo del uranio en forma controlada, para este caso se llama centrales nucleares y las que utilizan el vapor producido del interior de la tierra, es decir, las centrales geotérmicas.

### **2.1.3 Caldera de una planta de generación térmica**

Las calderas son equipos diseñados para la generación de vapor mediante la transferencia de calor, en la que un fluido es sobrecalentado en el interior de la caldera hasta convertirse en vapor saturado. Por su diseño existen dos tipos de calderas:

Calderas pirotubulares, el fluido se encuentra en un envase metálico que es atravesado por un haz de tubos (pirotubos) por donde circula un gas a temperatura elevada, el fluido se evapora al contacto con los el haz de tubos

calentado, formando se vapor que es expulsado por la parte inferior de la caldera como se muestra en la figura 2.3.

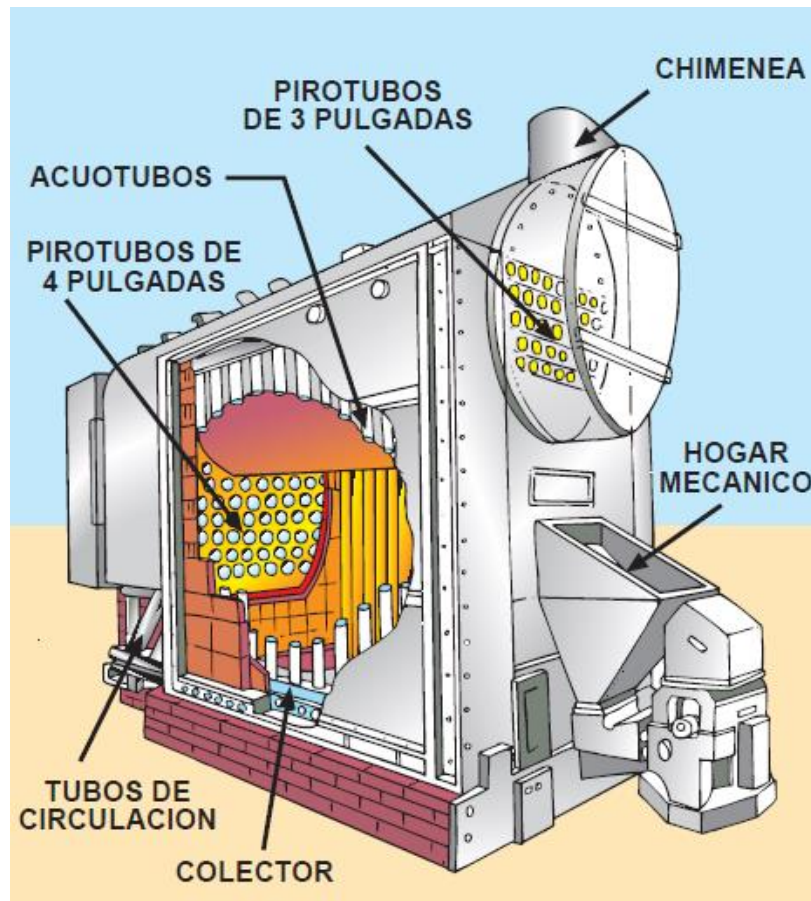


**Figura 2.3: Partes de una caldera pirotubular.**  
Tomado de [www.achs.cl](http://www.achs.cl)

### 2.1.3.1 Caldera acuotubulares

Calderas acuotubulares, está conformada por una sección de haz de tubos por donde circula un fluido, la combustión del combustible a través de los quemadores forma una llamarada que irradia calor hacia el haz de tubo en donde circula el líquido en este caso agua y se convierte en vapor de agua. Una circulación positiva del agua y vapor dentro del haz de tubos remueven el calor en la superficie de la caldera, debido al diferencial de densidad de los fluidos cuando se calientan, pierden su densidad y se precipitan a la parte superior, lo mismo ocurre en una caldera, mientras que el agua sin calentarse se precipita al fondo de la caldera donde se repite el proceso como se muestra en la figura 2.4, en donde se aprecian las diferentes partes como son: el conjunto de pirotubos y acuotubos (por donde circula el agua como se indicó anteriormente), los tubos de circulación, el colector, la chimenea y el hogar. Este tipo de caldera es utilizada en las centrales de generación térmicas además de otras industrias por sus ventajas y consumo energético.





**Figura 2.4: Partes de una caldera acuotubular.**  
Tomado de [www.achs.cl](http://www.achs.cl)

Las Calderas acuotubulares presentan mayores ventajas para su uso que las calderas pirotubulares como por ejemplo: los costos se abaratan debido a la simplicidad del diseño, utilizan menores tiempo en el proceso, es decir, elevan la presiones y temperatura más rápido que las calderas pirotubulares, son utilizadas para manejar presiones elevadas y no existe peligro por ruptura o exposición debido a la cantidad de agua almacenada en su interior.

#### **2.1.4 Turbina de una planta de generación térmica**

Las Turbinas son máquinas que aprovechan la circulación de un fluido en forma continua, que pasa a través de un conjunto de álabes, paletas o rodets (según el tipo de turbina), creando un movimiento mecánico a través de un eje transversal, este movimiento se llama fuerza tangencial; esta fuerza se la utiliza para mover un generador, un compresor o una hélice como es el caso de los aviones.

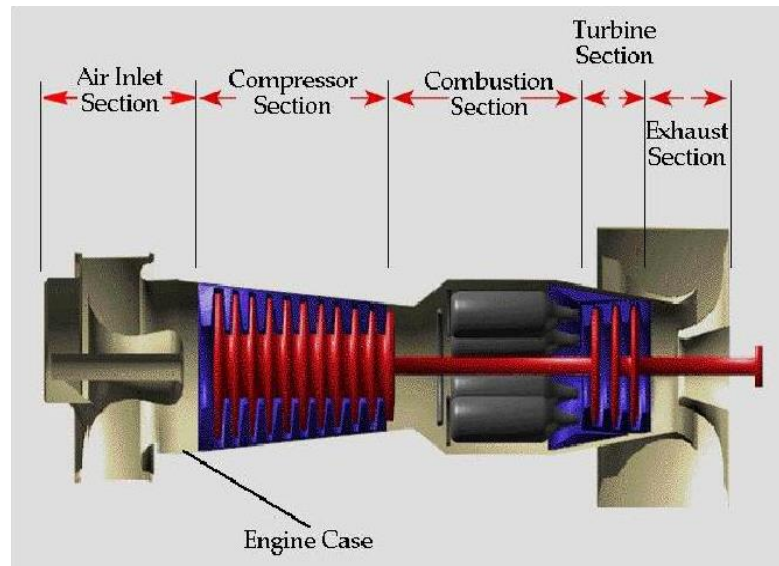
Se pueden clasificar a las turbinas en dos subgrupos como son: hidráulica y térmicas, las primeras accionadas por un fluido líquido y las segundas por vapor o gas, cuando es accionada por acción del aire se las conoce como turbinas eólicas, también hay las que aprovechan la energía cinética provenientes de las corrientes marinas, a estas se las conoce como turbinas submarinas, pero se podría decir que pertenecen al grupo de las hidráulicas debido a que su fluido es agua.

En una turbina de una planta de Generación Térmica se encuentran las siguientes secciones:

- Sección de entrada de aire (air inlet section)
- Sección de compresor (compressor section)
- Sección de combustión (combustión section)
- Sección turbina (turbine section)
- Sección de escape de gas (exhaust section)

Como se muestra en la figura 2.5, todas estas secciones están alojadas dentro de la carcasa, y su funcionamiento comienza cuando el aire en gran cantidad pasa por la entrada de aire y el flujo de aire a la sección del compresor, donde se encuentran las partes móviles, los álabes del compresor aumenta la presión del aire que entra y este aire comprimido en la sección de combustión toda vez que el aire comprimido circula por la cámara de combustión el combustible inyectado se mezcla con el aire creando gases calientes que provocan el movimiento del eje de la turbina conectada al generador.

“The gas turbine is a power plant that produce a great amount of Energy depending on its size and weight” (Boyce, 2012, pág. 27). En las industrias las turbinas incrementaron su servicio en los años 60, en la actualidad se han reemplazados las centrales de vapor por turbinas de gas, debido al rendimiento que presentan y los efectos económicos, esto también ha favorecido a industria en general, además que las centrales de vapor ocupaban demasiado espacio con respecto a las centrales térmica y su consumo energético era mayor debido a su tamaño. En la actualidad son pocas la centrales de vapor



**Figura 2.5: Sección de una turbina de gas.**  
Tomado de curso de turbinas Siemens SGT 100.

### 2.1.5 Generador de una planta de generación térmica

La principal función de un generador eléctrico es la de generar y mantener un constante suministro de energía eléctrica, y lo hace a través de la acción de un campo electromagnético que se crea en el interior del estator, por el movimiento mecánico del rotor, formándose una fuerza electromotriz llamada F.E.M, basada en la ley de inducción electromagnética también llamada ley de Faraday en honor a su descubridor Michael Faraday, que establece que una tensión eléctrica que es inducida a un medio o cuerpo, viene a ser directamente proporcional al flujo magnético, cuando el flujo cambia su velocidad.

A lo largo del tiempo, los generadores al igual que los motores han constituido una de las principales fuente de desarrollo de la industria (figura 2.6), y es así que, los generadores y motores disponen de componentes muy parecidos, en algunos textos educativos, indican que los generadores son lo contrario a un motor es decir a la inversa del motor, y si bien es cierto, partiendo desde los principios físicos, los dos equipos crean una fuerza electromotriz llamada F.E.M en sus devanados del estator, mientras uno aprovecha la energía mecánica para transformarla en energía eléctrica (generador) el otro aprovecha la anergia eléctrica para transformarla en energía mecánica (motor).



**Figura 2.6: Generador eléctrico de 230 KW, 400 V, 50Hz.**  
Tomado de Refinería La Libertad.

### **2.1.6 Definición de transformador eléctrico**

“Un transformador es un dispositivo que cambia un nivel de voltaje a otro nivel de voltaje mediante la acción de un campo magnético” (Chapman, 2012, pág. 49), es decir, son dispositivos eléctricos utilizados para disminuir o aumentar los niveles de tensión eléctrica, mediante el fenómeno de la inducción electromagnética (F.E.M).

Todo transformador de potencia está conformado por un núcleo, devanado (también llamado, bobinas), material de aislamiento, carcasa y su sistema de protección, figura 2.7; el principio de funcionamiento se basa cuando al aplicar una F.E.M en el bobinado primario, se crea una corriente eléctrica que induce un campo magnético en el núcleo del transformador provocando una F.E.M en el bobinado secundario, es decir, su funcionamiento está basado al igual que el generador en la ley de Faraday.

En un sistema de generación eléctrica, normalmente se genera tensiones de 13,8 Kv, que llegan a un transformador elevador, saliendo el voltaje a alta tensiones para ser transmitido a grandes distancias con pocas pérdidas. Posteriormente, otro transformador baja los niveles de tensión para su distribución local y para permitir que los niveles de tensión se puedan utilizar con seguridad en los hogares, oficinas, y fábricas (Chapman, 2012, pág. 50).

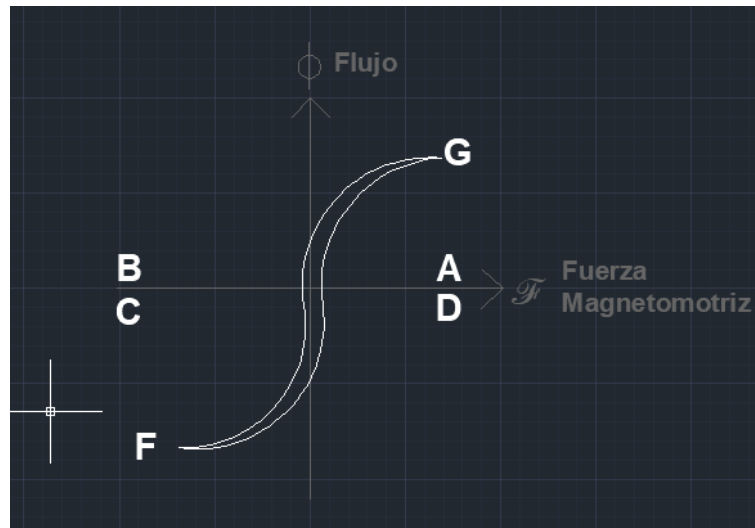


**Figura 2.7: Transformador de potencia, S/E Duran, potencia 225 MW.**  
Tomado de Diario El Universo.

### 2.1.7 Pérdidas en el transformador

En un transformador hay pérdidas que deben tomarse en cuenta durante su construcción:

- Pérdidas en el cobre ( $I^2R$ ), las cuales son ocasionadas por los calentamientos resistivos de las bobinas de estator y rotor, y son proporcionales al cuadrado de la corriente como indica su fórmula.
- Pérdida por histéresis, asociadas al magnetismo retardado del campo magnético cuando el transformador se desconecta de la fuente de alimentación, formándose una función compleja y no lineal de la tensión aplicada al transformador mostrado en la figura 2.8, cuando el flujo  $\phi$  de la corriente fluye en forma positiva, comienza el ciclo de imantación en el cuadrante A de la fuerza magnetomotriz  $\mathcal{F}$ , en cambio cuando el flujo de corriente disminuye en forma negativa, queda un magnetismo remanente en el cuadrante B, el ciclo de histéresis se presenta mediante la curva F-G como se muestra en la figura 2.8, en la que se representa gráficamente esta curva.
- Pérdida por corrientes parásitas ocasionadas por los calentamientos resistivos en el núcleo o entre hierro del transformador y a diferencia de las pérdidas en el cobre, las pérdidas parásitas son proporcionales al cuadrado de la tensión aplicada al transformador, (Chapman, 2012, págs. 64,65).
- Pérdidas en el núcleo del transformador, estas pérdidas en el núcleo no son lineales debido a los efectos no lineales de la histéresis (como se indicó anteriormente), también se da cuando la componente fundamental de la corriente está en fase con la tensión, aquí se habla de corriente y fase.



**Figura 2.8: Curva de histéresis del transformador.**  
Tomado de S. J. Chapman, 2012, p 58.

### 2.1.8 Subestaciones eléctricas

“Como parte integrante del sistema de transmisión, la subestación eléctrica funciona como punto de conexión o conmutación para líneas de transmisión, alimentadores de subtransmisión, circuitos de generación y transformadores elevadores o reductores” (Fink, 2000, págs. 17-2), para que la energía eléctrica generada por las centrales térmicas pueda ser transportada y distribuida, es necesario que pase por subestaciones eléctricas, que comprenden una serie de componentes y accesorios encargados de la medición, interrupción y protección de los equipos.

En las subestaciones eléctricas se encuentran los transformadores encargados de elevar o reducir los niveles de tensión para la transmisión o distribución. Conceptualmente, se pueden distinguir dos clases de subestaciones o estaciones transformadoras: Subestaciones Eléctricas Elevadoras o Subestaciones Eléctricas Reductoras, (Calloni, 2006, pág. 101). A continuación se tratará las características técnicas, constructivas y de ubicación de cada una de estas centrales, además de los elementos que conforman las subestaciones eléctricas en general. Cada subestación eléctrica sea elevadora o reductora está construida en base a una necesidad específica y de ahí su importancia dentro de la industria energética. Una de las maniobras habituales y peligrosas que se realizan en las subestaciones eléctricas es la apertura y cierre de los interruptores de potencia.

### 2.1.9 Elementos que conforman una subestación eléctrica

Entre los elementos que conforman una subestaciones eléctricas como se muestra en la figura 2.9, están detallados de la siguiente forma:

- Interruptores de potencia, son dispositivos de apertura y cierre de un circuito eléctrico entre contactos separables, bajo condiciones de falla o carga, (Harper, Enriquez, 2015, pág. 157).
- Protecciones, son utilizadas en los sistemas eléctricos trifásicos de potencia para salvaguardar la integridad de los equipos por fallas simétricas o asimétricas, además se utilizan para evitar el daño de los equipos o de las instalaciones debido a fallas en los sistemas eléctricos que pueden iniciarse de manera simple y después extenderse sin control de forma desencadenada.
- Seccionadores, son dispositivos electromecánicos diseñados para separar la alimentación de circuito eléctrico con su fuente de energía de forma mecánica, normalmente están diseñados de material conductor envuelto en un material aislante.
- Transformadores de potencia, transforman el voltaje del sistema de un nivel nominal a otro y deben ser capaces de transportar el flujo de potencia en forma continua, (Harper, Enriquez, 2015, pág. 140).
- Aisladores, son equipos fabricados de un material aislante (típicamente cerámica) utilizados para sostener y sujetar las acometidas eléctricas, además, de evitar el contacto entre la estructura y las acometidas.
- Pórticos, comprenden dos estructuras metálicas que sirven de apoyo para la instalación de seccionadores, interruptores, sistema de protección y medición, pararrayos, etc. Están construidas normalmente de aluminio y son bien resistente a la torsión y al peso que va a soportar.
- Equipos de medición, son equipos electromecánicos o electrónicos que registran el consumo de energía y otros parámetros eléctricos requeridos por el distribuidor y el consumidor, (Empresa Eléctrica Pública de Guayaquil, 2012, pág. 14).
- Barras colectoras, su principal función es la de distribuir o alimentar de energía eléctrica a equipos del sistema eléctrico, están construidas normalmente de material conductor como el cobre o bronce desnudo y aislados convenientemente, su empleo en la industria radica en la alimentación de transformadores, rectificadores y otros equipos.
- Pararrayos, son terminales aéreos que conducen la descarga de energía proveniente de un rayo hacia la tierra, hay diferentes tipos de pararrayos, los más usuales son las puntas de Franklin debido a su simplicidad los cuales pueden utilizarse como único elemento captador del rayo o bien formar parte de un sistema de protección pasivo.
- Sistema puesta a tierra, protege al personal dentro de la subestación de las grandes diferencias de potencial que se pueden presentar durante los transitorios de voltaje y corriente, proporciona una trayectoria de baja impedancia a la tierra física para la adecuada operación de los relevadores y disipa en el suelo flujos de corriente, (Harper, Enriquez, 2015, pág. 138).

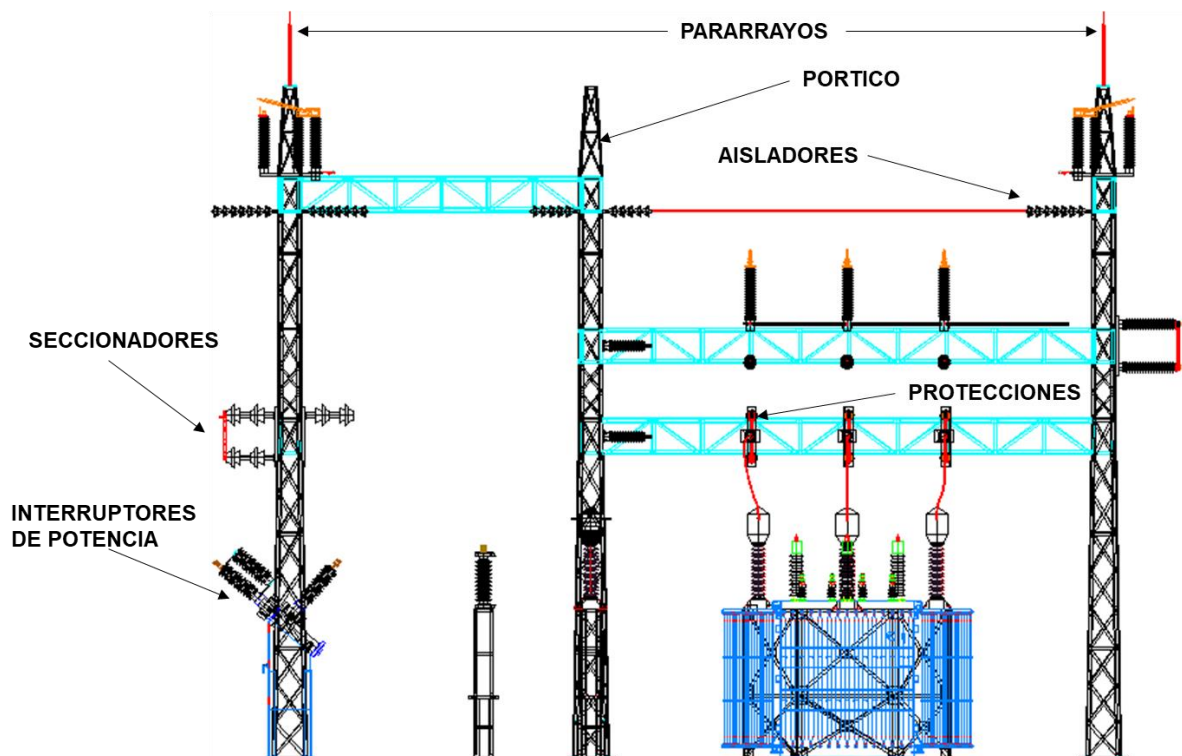


Figura 2.9: Elementos de una subestación eléctrica.

### 2.1.10 Subestaciones eléctricas elevadoras

Su principal función es elevar los niveles de tensión eléctrica suministrados por los sistemas de generación para la transmisión de energía eléctrica, normalmente este tipo de Subestación elevadora está ubicada cerca al sitio donde se encuentra el generador, debido a su funcionalidad, por lo que es usual verlas cercanas a las unidades de generación. Están conformadas por los mismos elementos de una subestación convencional.

### 2.1.11 Subestaciones eléctricas reductoras

Su principal función es disminuir los niveles de tensión suministrados por los sistemas de generación por medio de transformadores reductores de tensión que se utilizan para la distribución; estas subestaciones eléctricas se ubican cercanas a la carga que puede ser una ciudad o una industria en general. “Por razones de operatividad, seguridad y economía estas instalaciones se disponen a la intemperie, con el nombre de playas para subestaciones reductoras como subestaciones elevadoras de tensión” (Calloni, 2006, pág. 115).



## **2.2 Concepto de mantenimiento**

El mantenimiento a lo largo del tiempo es parte importante para el desarrollo de las empresas, y contempla las acciones que se debería realizar para que un equipo se mantenga en condiciones operativas, diferentes autores indican que el mantenimiento es enfocado a la conservación o preservación de un equipo a través de acciones, este trabajo se enfoca en la conservación de los equipos. Cuando se habla de acciones, tiene mucho que ver con las partes técnicas y administrativas.

### **2.2.1 Tipos de mantenimiento**

Dada la importancia del mantenimiento para la conservación de los equipos, de acuerdo a su propósito y metodología existen tres tipos de mantenimiento;

- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento correctivo
- Mantenimiento predictivo

Estos tres tipo de mantenimiento están correlacionas uno con otro, y la importancia de cada uno radica en el procedimiento.

### **2.2.2 Mantenimiento preventivo**

El mantenimiento preventivo va dirigido a garantizar una confiabilidad de los equipos que se encuentran en mantenimiento evitando que se produzca daños o accidentes debido al desgaste o deterioro de los componentes, es decir, la prevención de averías; la NFPA 70B indica la importancia de realizar un buen mantenimiento preventivo a equipos eléctricos “El deterioro de los equipos es un proceso normal, la falla de estos es inevitable. Sin embargo, la falla de los equipos se puede retrasar con un adecuado mantenimiento eléctrico preventivo (MEP)” (NFPA 70B, 2016, pág. 11).

Según datos de textos técnicos, el mantenimiento preventivo reduce en la tercera parte los costos de mantenimiento, además, que la vida útil de un equipo se alarga a más de la mitad. Las diferentes empresas manejan planes de mantenimiento preventivos para sus equipos, las cuales son,

tareas de mantenimiento programadas para un cierto tiempo, en la que es necesario cumplir con todas las actividades que se encuentran descritas dentro del plan sin afectar la productividad, es ahí, la importancia del mantenimiento preventivo, ya que es un tipo de mantenimiento que se realiza de forma proyectada.

### **2.2.3 Mantenimiento correctivo**

Mantenimiento correctivo está dirigido a la corrección de daños o fallas en los equipos y básicamente es reparar lo que está dañado. Este mantenimiento debido a su naturaleza no cuenta con una planificación en tiempo determinado, además de los costos por reparación, un alto porcentaje de las horas-hombre trabajadas están destinadas a los mantenimientos correctivos de los equipos que no han sido detectadas a tiempo por los demás mantenimientos (preventivo y predictivo).

### **2.2.4 Mantenimiento predictivo**

Mantenimiento predictivo que tiene como principal objetivo la detección de posibles defectos o fallas en los equipos. La principal ventaja que presenta este mantenimiento está el procedimiento técnico para la detección de fallas que se realiza con el equipo en funcionamiento, esto significa que las fallas son detectadas en la etapa inicial lo que ayuda a una mejor programación y planificación para las acciones correctivas que se deban realizar, para una buena efectividad de este mantenimiento, se tiene que contar con una base de datos de las diferentes fallas o alarmas del equipo, además, de utilizar equipos técnicos certificados y calificado para realizar las mediciones

### **2.2.5 Planificación de los mantenimientos**

Para desarrollar una planificación de mantenimiento es necesario contar con los planificadores, que son personas que se encargan de gestionar y realizar el seguimiento las tareas de mantenimiento indicado en los plazos de los planes de mantenimiento considerados uno de los componentes funcionales más importante dentro de una empresa, además, de buscar mejoras en los procedimientos y los procesos.

En la actualidad el planificador de mantenimiento en conjunto con el área de mantenimiento forma un solo equipo de trabajo y entre sus funciones esta:

- Programar los respectivos mantenimientos según sea el caso (preventivo o correctivo) de acuerdo a lo que sea ha planificado en el año.
- Buscar los recursos necesarios para la ejecución de los respectivos mantenimientos como son repuestos, herramientas, partes, piezas y trabajar en conjunto con el área de bodega a fin de contar con un amplio stock de materiales.
- Consolidar e informar los indicadores de mantenimiento, además, de la socialización entre las diferentes disciplinas (eléctrica, mecánica, instrumentista, etc.).
- Capacitar al personal con los recursos necesarios tanto en seguridad como en la forma técnica.

Normalmente los planificadores se encargan de la elaboración de los planes de mantenimiento, actualizando los bancos de información de los equipos.

## **2.2.6 Planes de mantenimiento**

Los planes de mantenimiento como ya se indicó anteriormente son tareas programadas en un lapso de tiempo y que ayudan a la fiabilidad de los equipos; normalmente los fabricantes incluyen en los manuales de los equipos el plana de mantenimiento que se debería realizar al equipo, actualmente existen normativas que también aportan al desarrollo de los planes de mantenimiento, la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (NFPA) ha elaborado unas prácticas recomendadas para el mantenimiento de los equipos eléctricos, conocidas como NFPA 70B, además, de formatos de: registros, pruebas e informe, que se pueden tomar como referencia para realizar un buen mantenimiento a un equipo.

También hay que tomar en cuenta las recomendaciones emitidas por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), en su apartado IEEE std. 67, que hace referencia a una guía para operación y mantenimiento de generadores de turbinas; por otro lado, se tomará en cuenta también las recomendaciones en cuanto a seguridad englobada en la NFPA 70E y el código NEC.

### **2.2.7 Programas de mantenimiento**

Considerado uno de los ejes fundamentales, los programas de mantenimiento están enfocados en la cantidad y calidad del mantenimiento, que puede tener variación de acuerdo a diferentes circunstancias. Los programas de mantenimiento utilizan un conjunto de normas técnicas destinadas al plan de mantenimiento para cada equipo, Dentro de los programas de mantenimiento se establece los lineamientos y el trazo de cronogramas que se deben llevar a cabo. En la actualidad se utilizan software creado por empresas especialistas y certificadas en mantenimiento destinados a la elaboración de los programas.

### **2.3 Normativas eléctricas**

Este proyecto se basa en el análisis del Plan de Mantenimiento Preventivo para generadores de turbina a gas de hasta 5 MW con base a la norma IEEE std. 67, las normativas son documentos internacionales o nacional (puede ser de cada país) de forma técnico-legal, que contienen descripciones o recomendaciones técnicas que pueden o no pueden ser aplicadas (voluntarias), para su elaboración participan fabricantes, profesionales del campo, asociaciones, centros de investigación, colegios, laboratorios, entre otros.

En el campo de la ingeniería eléctrica se utiliza las normativas impresas por la IEEE, NFPA, IEC, Nema, entre otras y en nuestro país, las del Instituto Ecuatoriano de Normalización (Inen). Por lo general las normas son resultados del desarrollo tecnológico y la experiencia y su aprobación es de acuerdo a organismos internacionales o nacionales (en el caso de ser interna de un país), en algunos casos, están disponibles en internet para el público en general, cada país puede utilizar sus normativas internas como las normativas internaciones, sin embargo muchas de las normativas internas de cada país son hechas en base a las normativas internacionales aplicable al país donde se elaboren, esto debido a los diferentes ambientes que se manejan en cada país, es así, por ejemplo que los parámetros de evaluación IR que se midan a un equipo en un país occidental va a diferir de las medidas que se le realice al mismo equipo ubicado en un país oriental.

### **2.3.1 IEEE std. 67**

El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, (IEEE), creado en el año 1884 por célebres inventores como Edison, Graham Bell, entre otros, y que en el año 1963 adopta el nombre de Institute of Electrical and Electronics Engineers, ha publicado en sus estándares una guía para operación y mantenimiento de generadores de turbina bajo el nombre de IEEE std. 67, entre sus páginas se destacan las consideraciones generales y las seguridades que se deben tomar en cuenta al realizar el mantenimiento de generadores de turbinas, además de una serie de pasos y tablas que deber ser tomadas en cuenta durante su operación.

Como nota adicional la norma IEEE std. 67, está elaborado en conjunto con la International Electrotechnical Commission, (IEC) “The working group thanks the International Electrotechnical Commission (IEC) for permission to reproduce information from its International Standard IEC 60034-3” (IEEE std 67, 2005).

### **2.3.2 Otras normas eléctricas aplicables**

A pesar que el análisis se realizará con base a la norma IEEE std 67, hay que considerar otras normativas aplicables como son el caso:

- NFPA 70E, Standard for Electrical Safety in the Workplace
- NFPA 70B, Recommended Practice for Electrical Equipment Maintenance
- NEC, Código Nacional Eléctrico
- Nema MG 1, National Electrical Manufacturers Association
- IEEE std 95, Recommended Practice for Insulation Testing of AC Electric Machinery (2300V and above) with High Direct Voltage
- IEEE std 43, Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Electric Machinery
- IEEE std C37.102, Guide for AC Generator Protection.

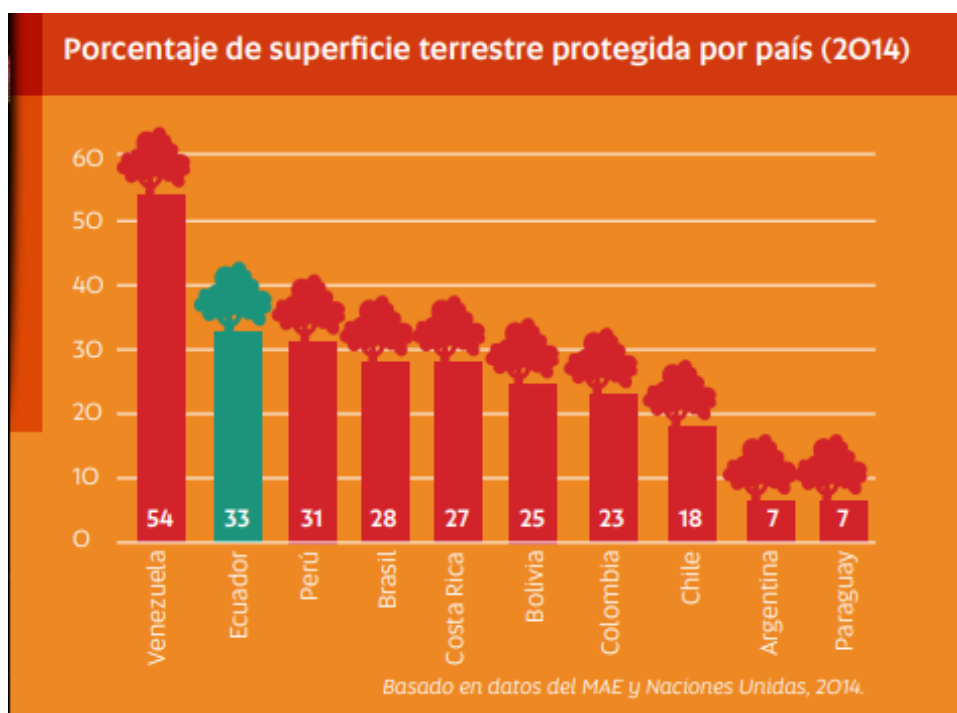
## **2.4 Legislación ambiental ecuatoriana**

De acuerdo al Artículo 2, inciso 6, de la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica, se establece que se deben “formular políticas de eficiencia energética a ser cumplidas por las personas naturales y jurídicas que usen la energía o provean bienes y servicios relacionados, favoreciendo

la protección del medio ambiente” (Gobierno Nacional del Ecuador, 2015), con base a la ley, toda acción que conlleve a la producción de energía eléctrica tiene que estar enmarcada en la protección del medio ambiente.

Unos de los objetivos del Ministerio del Ambiente de Ecuador es reducir las vulnerabilidades ambientales y las emisiones de los gases de invernadero producido en los sectores industriales del país, mediante leyes que impulsen la conservación del medio ambiente.

De acuerdo al Centro de Conservación del Medio Ambiente, Ecuador a pesar de tener una superficie más pequeña (en comparación con otros países) se encuentra en el puesto décimo séptimo de los países con mayor biodiversidad por kilometro cuadrado a nivel mundial, además, ocupa el segundo lugar en países dedicado a la protección y conservación de sus ecosistemas a nivel latinoamericano como se observa en la figura 2.10 donde se indican los porcentajes de superficie protegida por país en el año 2014, según datos de la Naciones Unidas; de su parte los gobiernos seccionales estan enfatizados en mantener la conservaciones del medio ambiente a travez de politicas ambientales en pro del desarrollo de los ecosistemas de pais.



**Figura 2.10: Porcentaje de superficie terrestre protegida.**  
Tomado de la página WEB del Ministerio del Ambiente.

### **2.4.1 Impacto ambiental**

Los efectos producidos sobre el medio ambiente por la actividad humana, se les conocen como impactos ambientales, toda acción que el ser humano ejerza sobre el medio ambiente que lo rodea, provoca efectos colaterales, la contaminación de los suelos y mares, la pérdida del hábitat, actividades radioactivas, la emisión de gas tóxico o nocivo, y desastres ambientales, son las consecuencia del paso del hombre sobre la naturaleza, siendo la actividad industrial la de mayor contaminación según estimaciones.

El programa de Medio Ambiente de las Naciones Unidas, promueve, proporciona y defiende a través de leyes, agendas ambientales y economías verdes la conservación del medio ambiente, minimizando el impacto ambiental ocasionado mayormente por la industria (además del ser humano), de acuerdo a este programa impulsado por la ONU, más de 2000 millones de personas fueron movilizadas a consecuencia de los desastres naturales y conflictos en los últimos 18 años.

### **2.4.2 Impacto ambiental de las plantas de generación térmicas**

La actividad producida por la generación térmica tiene como consecuencia las emisiones de gases de invernadero proveniente de los motores de combustión interna y de la quema de combustible fósil (diésel) de las turbinas de gas, siendo el Monóxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) y el Óxido de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>), los gases de mayor contaminación. La tecnología ha ayudado a contrarrestar en menor cantidad el impacto producido por estas máquinas a través de filtros, quemadores de baja emisión de NO<sub>x</sub>, bajas cantidades de azufre en el combustible, además de otros métodos.

Por otro lado, se puede nombrar los desechos producidos durante la construcción, operación y mantenimiento de las centrales. Las emisiones de gases contaminante en la atmósfera provocan lluvias ácidas, debido al azufre en el combustible, lo que ocasiona efectos regionales y globales, además, las plantas de generación térmica emplean vapor en sus sistemas de enfriamiento, para esto, se abastecen del agua de los ríos o bahías cercanas, contaminando el medio y el hábitat de las especies marinas,

también se debe tomar en cuenta las descargas térmicas que se eliminan a través de las torres de escape de gas.

En la comunidad la mayor afectación ocurre durante la construcción de las centrales, debido a la movilización de los trabajadores y con ellos el desplazamiento de familias enteras, a pesar de que, en operación de la central, el nivel de plazas de trabajo baja en un 90%, y por último el impacto visual y el causado por el ruido de los equipos.

#### 2.4.2.1 Contaminación acústica en plantas de generación térmica

La contaminación acústica se ha convertido a lo largo del tiempo en un riesgo causante de enfermedades degenerativas que afectan la calidad de vida de las personas que están expuestas.

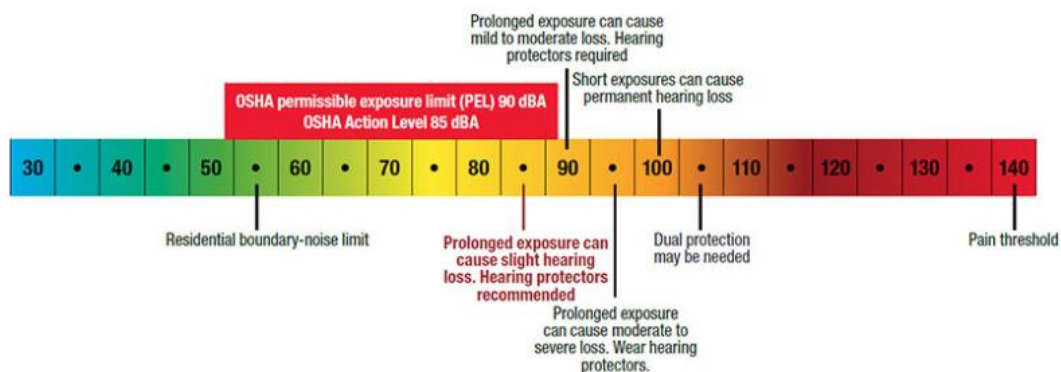
Para poder medir la intensidad del ruido, se utiliza la unida decibeles de símbolo db y es la relación que existe entre el nivel de ruido permisible con el nivel de ruido al que está expuesta una persona en un determinado sitio. De acuerdo a las normativas amparadas bajo la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, los niveles de ruidos permisibles en áreas industriales ocasionados por fuentes fijas es de 72 db, en horario diurno de acuerdo a la tabla 2.1. Sin embargo la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA), referente a la exposición de ruidos en áreas laborables, indica en su norma OSHA 1910.95 que los niveles de ruidos permisibles para el ser humano son de 55 db(A), como se muestra en la figura 2.11., en donde la A en la nomenclatura de decibeles db representa una ponderación en las mediciones del ruido de acuerdo a la curva realizada por Fletcher y Munson.

**Tabla 2.1: Tabla de zonas de ruido en exterior.**

ZONAS DE RUIDO	Pico en horario diurno dbA	Pico en horario nocturno dbA	Continuo en horario diurno dbA	Continuo en horario nocturno dbA
URBANO-RESIDENCIAL	62	52	57	47
SUBURBANO-RESIDENCIAL	57	47	52	42
SUBURBANO MUY SILENCIOSO O RESIDENCIAL RURAL	52	42	47	37
URBANO-INDUSTRIA CERCANA	67	57	62	52
INDUSTRIA PESADA	72	62	67	57

Tomado de Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental





**Figura 2.11: Límite de ruido permitidos de acuerdo a la OSHA 1910.95.**

Tomado de Environmental, Health and Safety Solutions

### 2.4.3 Remediación ambiental de las plantas de generación térmicas

La remediación ambiental tiene como principal fin, corregir los daños ambientales causados en el área donde se encuentra ubicada una planta de generación térmica, para esto, se elabora un conjunto de actividades que deberán ser implementadas en las fases de construcción, operación y mantenimiento de las plantas de generación térmica.

Entre las medidas que deben implementarse están la reforestación y forestación del área ocupada y su alrededor, reposición de la vegetación, remediación del suelo contaminado por combustible o material sobrante en la construcción, manejo de residuos sólidos, saneamiento ambiental, entre otras, todas estas actividades deben cumplir con los criterios ambientales exigidos por los entes de regulación como ministerios o secretarías del estado.

Para realizar la remediación ambiental en un sitio, se elaboran además planes de remediación que van enfocados a crear programas para manejo de residuos sólidos o tóxicos, programas de inserción territorial, programas de monitoreo ambiental, programas de capacitación referentes a temas ambientales, entre otros que ayudan en cierta forma a contrarrestar las consecuencia de la contaminación. Para esto es importante que los diferentes organismos gubernamentales supervisen o creen políticas que se encargue hacer cumplir con las disposiciones y normativas medioambientales en beneficio de cada país.

#### **2.4.4 Impacto ambiental de un generador**

El generador eléctrico durante su ciclo de vida produce impacto sobre el medio ambiente, desde su construcción, transporte, instalación, operación, mantenimiento, almacenamiento y en general, provoca serias afectaciones al ambiente, y es así que, solo en los materiales para su construcción y mantenimiento, emplea una serie de agentes tóxicos como barniz, líquidos limpiadores, solventes, entre otros.

Siendo la etapa de mantenimiento la que genera mayor uso y desecho de contaminantes; los planes de mantenimiento de los generadores son de acuerdo al número de horas de operación debido al desgaste de sus partes móviles, en las cuales se utiliza grasa o aceite que una vez que pierde su viscosidad es desechado en muchos casos a vertederos a menos que se tenga un plan de manejo de desechos; también se debe considerar el emplazamiento del generador en lugares que afecta la flora y fauna.

#### **2.5 Seguridad industrial**

“El término seguridad se puede referir de manera cotidiana a la ausencia de riesgo o la confianza en algo o alguien” (Morillo, 2014, pág. 3), a nivel industrial las empresas invierten miles de dólares en la seguridad industrial, como una herramienta para prevenir y reducir los índices de accidentes en el trabajo.

Entre los fundamentos de la seguridad industrial está el de proteger la vida humana, proteger y salvaguardar las instalaciones y bienes de la empresa, proteger la salud de los trabajadores, evitar lesiones; como objetivo principal, la seguridad industrial tiende a dar a conocer los principios básicos en la prevención de accidentes.

En plantas térmicas los riesgos de sufrir accidentes son grandes debido al combustible que se maneja, las altas temperaturas y presiones y el ruido causado por los equipos con partes móviles. Para lo primero, es decir, el manejo de combustible, una central térmica cuenta con un Sistema Contra Incendio (SCI), en lo que corresponde a las altas temperatura y presiones la

importancia del mantenimiento preventivo a los sistema de control previene perdidas lamentable.

### **2.5.1 Sistemas contra incendio de centrales de generación térmica**

Los sitios donde se maneja combustible, son propenso a ocurrir incendio que trae como consecuencia la pérdida de vidas y bienes para una empresa, para contrarrestar los incendios que puedan generarse en una central de generación térmica, se opta por instalar Sistema Contra Incendio (SCI) que son un conjunto de motor-bomba acopladas a un tanque con un agente extintor (líquido, gas o solido).

Cuando hay presencia de humo o fuego no deseado, un dispositivo termosensible activa la alarma y acciona automáticamente el sistema de control del SCI que envía una señal y pone el funcionamiento el motor (puede ser de combustión o eléctrico) accionando la bomba que expande del tanque el agente extintor y disipa el fuego no deseado evitando una propagación del mismo y protegiendo a los equipos.

De acuerdo al tipo de fuego se utiliza el agente extintor; es así que la clasificación es la siguiente:

- Clase A: son los incendios producidos por materiales orgánicos, en esta clasificación entran materiales solidos como la madera, papel, cartón, entre otro.
- Clase B: son los incendios producidos por combustible o líquidos inflamables como la gasolina, diésel, alcohol, etc.
- Clase C: son los incendios provocados por equipos eléctricos como: herramientas, instalaciones eléctricas, hornos microonda, motores, etc.
- Clases D: son los incendios producidos por metales como polvo de aluminio, sodio, metales alcalinos, etc.
- Clase F: son los incendios producidos por aceites (vegetal o animal) de cocina.

## **CAPÍTULO 3**

### **CONSIDERACIONES PARA EL MANTENIMIENTO ELÉCTRICO**

#### **3.1 Programa de mantenimiento preventivo eléctrico**

El deterioro de los equipos eléctricos es un proceso normal y provoca fallas que son inevitables, pero que se pueden retrasar con un oportuno y adecuado mantenimiento preventivo eléctrico. El deterioro del equipo comienza desde que se instala el equipo, y la no inspección periódica del equipo instalado ocasiona mal funcionamiento y fallas en su sistema, (NFPA 70B, 2016, pág. 20).

Son algunos factores que aceleran el deterioro de los equipos, como por ejemplo: tensiones y corrientes fuera de su rango nominal, ambiente agresivo al cual están expuestos, régimen de trabajo severo, ajustes inadecuados, entre otros. Los programas de mantenimiento preventivo eléctrico ayudan a identificar, reconocer y proveer las medidas necesarias para mitigar estos factores.

#### **3.2 Beneficios de los programas de mantenimiento preventivo**

Un programa de mantenimiento preventivo eléctrico, correctamente administrado reduce los accidentes, además que salvaguarda la integridad física de las personas y minimiza las costosas fallas y paradas no programadas de los equipos. Se pueden solucionar problemas inminentes y aplicar soluciones antes que causen daños severos al equipo y por consiguiente reparaciones costosas, (NFPA 70B, 2016, pág. 20).

Para poder entender los beneficios de los programas de mantenimiento preventivo eléctrico, hay que dividirlos en dos categorías:

- Beneficios directos, que pueden ser cuantificados económicamente, y se enfocan a la reducción de los costos por reparación y la disminución de los tiempos de trabajo.
- Beneficios menos medibles, pero muy reales que resultan de la mejora en la seguridad, (NFPA 70B, 2016).

Estos beneficios se pueden documentar a través de registros de cada equipo toda vez que se ha iniciado el programa. “la confiabilidad de un

equipo puede diseñarse y fabricarse; sin embargo para conservar esta confiabilidad se requiere de un mantenimiento eficaz” (NFPA 70B, 2016).

### **3.3 Programas de mantenimiento preventivo eléctrico eficientes**

La eficiencia de los programa de mantenimiento mejora la seguridad y también reduce al mínimo las fallas de manera consistente con el análisis económico, es decir, los recursos económicos disponibles para los mantenimientos preventivos eléctricos se refleja en la reducción de los costos por reparaciones de los equipos averiados, (NFPA 70B, 2016, pág. 21).

El dimensionamiento de los programas de mantenimiento preventivo eléctrico eficientes ha ayudado a que las empresas distribuyan de mejor manera sus recursos, las intervenciones programadas y periódicas de los equipos mejoran la eficiencia de la producción asegurando la continuidad de la operaciones o el servicio.

### **3.4 Elementos fundamentales de los programas de mantenimiento**

Los programas de mantenimiento preventivo eléctrico deben contar con elementos fundamentales para su ejecución y eficiencia como son:

- Disponer de personal técnico calificado y responsable
- Inspecciones y pruebas rutinarias y planificadas
- Análisis de los informes de las inspecciones realizadas
- Inspección integral de los sistema eléctricos
- Registros completos y concisos
- Eficiencia y desempeños del personal técnico

### **3.5 Plan de mantenimiento preventivo eléctrico**

Dentro del plan de mantenimiento preventivo eléctrico se debe considerar factores como:

- La seguridad del personal técnico.- está relacionada con la falla de un equipo sin poner en riesgo la vida del personal, para esto se deberá dar directrices claras y precisas para garantizar la integridad del personal.
- Pérdida en la producción o paralización de los servicios.- los tiempos de paralizaciones no deberían ser extensos, además hay que tomar en cuenta los valores económicos que se pierden por la paralización.

- Establecer rutas críticas.- normalmente la ruta crítica la establecen los equipos de mayor complejidad o que representen una reparación integral, como por ejemplo: el mantenimiento de un compresor de gas en una planta de licuefacción.
- Clasificación de equipos críticos.- es importante clasificar cuales son los equipos críticos en función de su importancia dentro del proceso y cuáles son los equipos que deben tener mayor seguimiento e inspección
- Pérdida de equipo.- está relacionada con el daño irreparable de un equipo; esta situación se vuelve más complicada si el reemplazo del equipo demanda la importación del mismo.

Para establecer los lineamientos que se deben seguir dentro de los planes de mantenimiento, es recomendable seguir la ruta trazada de la tabla 3.1. En la que se observa cada uno de los pasos que hay que seguir como son la revisión de los históricos de mantenimientos, lo cuales no darán una pauta de las condiciones en que se encuentra el equipo. Es importante contar con los manuales de los equipos, además de la disponibilidad de repuestos que se tengan a la mano y designar los responsables para cada tarea, una vez que se haya completados estos pasos, se podrá realizar el mantenimiento. Esta tabla ayuda a la organización dentro del plan de mantenimiento, por lo general, algunas empresas cuentan con su propia ruta debido a la experiencia que han tenido.

**Tabla 3.1 Ruta recomendada para el plan de mantenimiento.**



### **3.5.1 Diseño de un plan de mantenimiento preventivo eléctrico**

La eficiencia del plan de mantenimiento preventivo eléctrico comienza con el diseño que se va a implementar, es así que en mantenimientos rutinarios los diseños no tienden a variar, pero en instalaciones donde se han implementado cambios en sus sistemas, se deberá realizar un esfuerzo consciente para garantizar optimizar el mantenimiento. El diseño va acorde a las necesidades del área usuaria, aquellos circuitos que por su construcción son duales y componentes removibles facilitan el mantenimiento; el proceso para diseñar el plan de mantenimiento consiste en:

- Analizar los equipos que están en operación recolectando y almacenando los datos resultados del análisis.
- Revisión de toda la documentación asociada al equipo como son: diagramas eléctricos, de conexión, manuales, frecuencia de mantenimiento, historiales y su respectiva verificación en el sitio.
- Elaborar las rutas de mantenimiento e inspección.
- Análisis de los costos del mantenimiento.
- Elaboración del cronograma.

También es necesario tomar en cuenta las sugerencias y recomendaciones del jefe del área u operador del equipo.

### **3.5.2 Recursos para un plan de mantenimiento preventivo eléctrico**

En la etapa de elaboración de los planes de mantenimiento preventivo eléctrico, hay que considerar los siguientes recursos:

- Mano de obra calificada.- el personal a cargo de realizar el mantenimiento, deberá ser el más idóneo y técnicamente preparado, y de no contar con ello, se deberá contratar a través de empresas contratistas o enmarcado en lo que dicen las leyes nacional.
- Repuestos existentes.- la falta de un repuestos que debe ser cambiado, alargarían los tiempos programado, lo cual disminuiría la eficiencia del plan de mantenimiento propuesto; debido a esto es recomendable contar con todos los repuestos especialmente si son móviles, los cuales tienden a desgastarse más rápido.
- Herramientas disponibles.- a fin de facilitar las labores en tareas mecánicas y eléctricas, se deberá contar con herramientas en buen estado y aisladas para el caso de trabajos eléctricos.
- Equipos de medición calibrados.- para determinar las condiciones físicas del equipo intervenido, el registro de mediciones acordes a los parámetros establecidos por el fabricante deberá realizárselo con equipos calibrados

por empresas especialistas, especialmente si son equipos costosos y que demanden una mayor precisión y exactitud en sus mediciones.

- Equipos de seguridad disponibles.- personal de seguridad deberá constatar el estado de los implementos de seguridad y calidad (arnés, línea de vida, casco, guantes, etc.) además de la capacitación para utilizarlos. En el medio, el personal técnico y supervisores deberán portar su licencia de prevención de riesgo laboral, antes llamada licencia de riesgo eléctrico.

### **3.6 Prácticas de mantenimiento preventivo eléctrico**

Estas prácticas se recomiendan para el mantenimiento preventivo de los sistemas y equipos eléctricos de potencia y unos de los propósitos es reducir los peligros contra la vida y la propiedad que puedan surgir de una falla o mal funcionamiento de los equipos, además, estas recomendaciones han sido preparadas con la intención de proporcionar una mejor comprensión de los beneficios de los mantenimientos.

#### **3.6.1 Cinco reglas de oro para el trabajo seguro**

El análisis de los procedimientos de seguridad en el área eléctrica ha conllevado a la creación de reglas que garantizan la seguridad de los trabajos y del personal eléctrico que lo ejecutará, conocidas como las Cinco reglas de Oro, y que comprenden:

1. Desconexión de los equipos antes de realizar un mantenimiento o cualquier trabajo que no demande el equipo con energía.
2. Bloqueo y etiquetado para prevenir cualquier reconexión de la fuente de alimentación cuando se ha procedido a desconectarla y en el caso de ser equipos automáticos como TTA (Tableros de Transferencia Automáticos), se deberá desconectar el sistema de control, además, se deberá colocar etiquetas que indiquen el trabajo que se está realizando, la fecha y el técnico asignado.
3. Comprobación de ausencia de tensión que deberá ser realizada con equipos de medición en buen estado, calibrados y con los implementos de seguridad de acuerdo a la NFPA 70E.
4. Colocar a tierra los circuitos, esto creará una zona de mayor seguridad, sobre todos si en los sistemas se cuentan con equipos auxiliares de alimentación como generadores externos.
5. Señalización del área de trabajo, esto ayuda a enmarcar la zona donde se realizaran los trabajos.



### **3.7 Pruebas eléctricas**

La condición eléctrica de un equipo que entrará en el plan de mantenimiento preventivo, estará determinada por las pruebas y mediciones que se le realicen, además, de la revisión de los sistemas de protección que involucre el funcionamiento del equipo. Otro aspecto importante es las condiciones de funcionamiento al cual ha estado operando antes del mantenimiento preventivo.

#### **3.7.1 Métodos y procedimientos de pruebas y medición**

Los métodos y procedimientos para realizar las pruebas eléctricas durante los mantenimientos preventivos eléctricos, están detallados en los equipos de medición, sin embargo, existe una norma como guía para su uso.

#### **3.7.2 Pruebas de resistencia de aislamiento**

“El aislamiento es el material entre los puntos de diferente potencial de un sistema eléctrico que evita el flujo de la electricidad entre esos puntos” (NFPA 70B, 2016). La causa más común de falla en los equipos eléctricos está en el material aislante, las pruebas de resistencia de aislamiento son realizadas para comprobar la condición y calidad del material aislante en equipos de CC y AC.

Entre las mediciones que son recomendadas para máquinas rotativas como motores o generadores está la medición de aislamiento de resistencia de máquinas rotativas, dirigidas a la verificación del estado de aislamiento de los devanados; con estas pruebas se pueden determinar:

- Corriente de absorción ( $I_A$ ) que es corriente la resultante cuando los niveles de tensión bajan hasta 0 voltios, esto depende del tipo y condición de material utilizado en el aislamiento, (IEEE std 43, 2006).
- Corriente de absorción ( $I_G$ ) que es la corriente constante en el tiempo y pasa a través del aislamiento, esto depende del tipo y condición de material utilizado en el aislamiento, (IEEE std 43, 2006).
- Efecto Electroendosmosis, observado a menudo en devanados antiguos que en presencia de humedad se obtienen diferentes valores de resistencia, (IEEE std 43, 2006).
- Resistencia de aislamiento ( $IR_t$ ), que corresponde a la capacidad del aislamiento eléctrico para resistir la corriente continua, la aplicación de tensión suele ser de 1 a 10 minutos, no siendo los únicos, (IEEE std 43,

2006). “Si el valor de resistencia de aislamiento medida al primer minuto es superior a 5000 MOhms, el índice de polarización calculado (I.P.) puede que no sea significativo” (EASA, 2005).

- Índice de polarización ( $PI_{t_2/t_1}$ ), que es la variación de la resistencia del aislamiento con el tiempo, la aplicación de tensión suele ser de 1 a 10 minutos, no siendo los únicos, (IEEE std 43, 2006). “El valor mínimo I.P. recomendados para bobinados con aislamiento clase B o superior es 2.0” (EASA, 2005).
- Corriente superficial de fuga, que es una corriente constante en el tiempo y que está presente en la superficie del devanado, esto depende de la temperatura y condición de material utilizado en el aislamiento, (IEEE std 43, 2006).

Durante el procedimiento de las pruebas de medición de resistencia de aislamiento los terminales de las fases del equipo deben aislarse y probarse por separado, esto permite la comparación de los valores en cada fase; las fases que no están siendo medidas deben conectarse a tierra, lo que permite la comprobación fase a fase; para probar el aislamiento a tierra basta solo con conectar todas las fases, además, se recomienda que todos los equipos externos se encuentren desconectados, (IEEE std 43, 2006, pág. 12).

Estas pruebas deben ser realizadas en los equipos para determinar si están aptos para su funcionamiento además que sus resultados deberán ser satisfactorios; antes de realizar la prueba de alta tensión (Hipot), deberán realizarse las pruebas de aislamiento (IR). “A menudo, los análisis de tendencia de los resultados son mejores indicadores del estado del aislamiento, que los valores absolutos” (EASA, 2005).

Los valores mínimos recomendados de la resistencia de aislamiento, de acuerdo a la IEEE std. 43 están detallados en la tabla 3.2, donde IR es el valor mínimo recomendado en la resistencia de aislamiento en mega-ohmios ( $M\Omega$ ) durante una prueba en un minuto (*1min*); es decir, el valor mínimo para devanados en máquinas después del año 1970, durante un minuto es de 100  $M\Omega$ . Esta tabla nos ayudará a comprender mejor el estado de los devanados a través de la resistencia y el estado dieléctrico del material que conforma los bobinados de los equipos. La utilización de esta tabla es recomendada y se deberá tomar en cuenta y analizar cada uno de los valores que se registren.

La temperatura en el que se encuentre en equipo es determinante debido a que aumentará o disminuirá los valores de resistencia, por lo que se recomienda realizar las mediciones cuando el equipo deje de funcionar y después de un cierto tiempo que el equipo haya funcionado, con el propósito de llegar a la temperatura ambiente.

**Tabla 3.2: Valores mínimos de la resistencia de aislamiento a 40°C.**

VALORES MÍNIMOS DE LA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN $M\Omega$	TIPO DE MÁQUINA
$IR_{1min} = kV + 1$	Para la mayoría de los bobinados fabricados antes de 1970, todos los bobinados de campo y otros no descritos abajo
$IR_{1min} = 100$	Para la mayoría de las armaduras C.C y bobinados C.A. fabricados después de 1970 (en pletina)
$IR_{1min} = 5$	Para la mayoría de la máquinas con estatores bobinados con alambre redondo y en pletina con tensiones por debajo de 1 kV.

Notas:

1.- $IR_{1min}$	es el valor mínimo recomendado de la resistencia de aislamiento de todo el bobinado de la máquina, en Mohms y a 40°C
2.- $kV$	es el valor rms de la tensión nominal de la máquina expresada en kV

Tomado de IEEE std 43.

### 3.7.2.1 Tensiones pruebas de resistencia de aislamiento

En cambio los valores de tensión continua aplicados al devanado para la prueba de resistencia de aislamiento recomendados por la IEEE std. 43, están detallados en la tabla 3.3, donde se puede apreciar que los devanados de tensión nominal menor o igual a 1000 V, se prueban con un voltaje de 500 V, mientras que para equipos de mayor tensión, la tensión nominal también es superior, es decir a medida que sube los niveles de tensión del equipos, los niveles de pruebas también suben, se dice que es directamente proporcional las medidas de pruebas con respecto a los parámetros de tensión de cada equipo en particular, a diferencia que los niveles de tensión que se utilizan para las medidas son en CC mientras que para otras pruebas son en AC. El resultado de estas medidas deben ser registradas en tablas posteriores que servirán para diagnósticas y prever un registro de cada equipo en caso de una falla o daño en sus devanados.

**Tabla 3.3: Tensiones de C.C utilizadas en la prueba de resistencia.**

TENSIÓN NOMINAL DEL BOBINADO (V) <sup>a</sup>	TENSIÓN C.C. PARA LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO (V)
<1000	500
1000 - 2500	500 - 1000
2501 - 5000	1000 - 2500
5001 - 12000	2500 - 5000
> 12000	5000 - 10000

Tomado de IEEE std 43.

### **3.7.3 Registro de pruebas de resistencia de aislamiento**

De acuerdo a las recomendaciones en forma general emitidas por las NFPA 70B acerca de los registros a equipos eléctricos, indica que deberían ser precisos y contener toda la información vital, además que se debería poner especial atención para asegurar que toda la información relevante pase a formar parte del registro levantado, (NFPA 70B, 2016, pág. 22).

Entre los datos importante que deben constar en un registro de pruebas de resistencia de aislamiento estan:

- Fecha y hora cuando se realizó la prueba
- Condiciones climáticas al instante de realizar las mediciones
- Los rangos de tensión aplicado al devanado
- La lectura de en ohmios de acuerdo a la fracción de tiempo
- Marca y modelo del equipo utilizado
- Índice de polarización (IP)
- El responsable a cargo de realizar la prueba.

Las pruebas de resistencia de aislamiento deben ser realizadas antes y después de ejecutar el mantenimiento preventivo, lo que servirá para comparación de los valores registrados. En la tabla 3.4, se detalla el formato recomendado para el registro de las pruebas de aislamiento. Este formato se puede utilizar para registrar los valores de cada una de las pruebas, además que contiene toda la información del equipo, es decir sus parámetros de operatividad, parámetros de contrucción, tiempo de cada prueba, la temperatura antes y después del equipo, humedad relativa y las

características técnicas del equipo utilizado durante la medición, además de otros factores.

**Tabla 3.4: Formato de registro de pruebas de IR.**

REGISTRO DE PRUEBA - RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DE MAQUINAS ROTATIVAS														
Referencia: ANSI/IEEE 43, Práctica recomendada para las pruebas de resistencia de aislamiento de máquinas rotatorias														
						<b>Alcance</b>								
						<b>Absorción dielectrica - temperatura corregida</b>								
<b>Fecha</b>						<b>Maquinas c.a. 1000 KVA o más</b>								
						<b>Maquinas c.c. 100 KW o más</b>								
<b>Aparato</b>						<b>Tensión</b>				<b>Rating</b>				
<b>Condiciones de prueba:</b>														
<b>Lista de equipos de prueba asociados</b>														
<b>Incluidos en la prueba</b>														
<b>Tiempo de puesta a tierra del devanado</b>						<b>Prueba realizada</b>				<b>Horas despues de la parada</b>				
<b>Temperatura ambiente</b>						<b>°F</b>		<b>Humedad Relativa</b>			<b>%</b>		<b>Clima</b>	
<b>Temperatura equipo</b>								<b>Cómo se obtuvo</b>						
<b>Instrumento</b>								<b>Rango</b>			<b>Tensión</b>			
<b>Datos de prueba:</b>														
<b>Minutos</b>		0,25	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<b>Lectura</b>														
<b>Corrección</b>														
<b>MEGAOHMIOS</b>	Infinito													
	10.000													
	5.000													
	3.000													
	2.000													
	1.000													
	800													
	600													
	400													
	300													
	200													
	100													
	80													
	60													
	40													
	30													
	20													
	15													
	10													
	6													
4														
2														
1														
0.6														
0.2														
0.1														
0.06														
0.02														
Cero														
<b>Polarización Nro. (relación 10:1min.)</b>						<b>Chequeado por</b>								
<b>Observaciones</b>														

Tomado de NFPA 70B.

### **3.7.4 Pruebas de alta tensión (Hipot) para generadores**

Las pruebas de alta tensión, son pruebas que se le aplica al bobinado, aplicando un nivel de tensión específico sin que represente un esfuerzo excesivo, motivo por el cual no se recomienda repetir la prueba; los bobinados deben estar limpios y secos por lo que debe ser primero inspeccionado, (EASA, 2005, pág. 15).

Cuando se realiza la prueba en el conjunto excitatriz y devanado de los generadores asíncronos, los componentes que conforman el circuito de excitación deben ser puestos en cortocircuito, no se recomienda ponerlos a tierra y los demás circuitos que no estén sometidos a prueba deben ser conectados a tierra o a la carcasa del equipo; la prueba debe ser realizada en el lapso de un minuto a la frecuencia de funcionamiento 50 ó 60 Hz, además, los niveles de tensión de prueba en C.C. debe ser 1.7 veces el voltaje especificado para la prueba con tensiones C.A., como precaución toda vez que las pruebas terminen, es necesario que el devanado probado sea puesto a tierra para que descargue los niveles de tensión remanentes, (EASA, 2005).

Hay factores que afectan la condición del devanado y que deben ser evaluados antes de realizar la prueba de alta tensión, como son: la temperatura, la humedad, contaminación en la superficie, disposición del rotor, resina sin curar entre otros; además, existen metodos de ensayos de esta prueba detallados en la IEEE std 95. Las pruebas de Hipot a pesar que son pruebas destructivas, no envejecen en aislamiento, es decir, si las pruebas de Hipot en un bobinado son satisfactorias, el aislamiento del bobinado no se deteriorará por el ensayo; entre los métodos de ensayo para pruebas de Hipot más utilizados estan los siguientes:

- Prueba tensión escalonada, consiste en incrementar la tensión en forma escalonada, durante un minuto antes de volver a incrementarla; al final de la medición el equipo registra los datos de corriente realizando una comparación de corriente y tensión aplicada, (IEEE std 95, 2002).
- Prueba de rampa de voltaje, este ensayo consiste en el aumento lento y continuo de una tensión de 1kV por minuto, la principal ventaja de esta prueba sobre el metodo de voltaje escalonado es que da un mejor control

y una advertencia de una inminente falla evitando daños en el aislamiento, (IEEE std 95, 2002).

“Se recomienda que las pruebas de sobrepotencia C.C., no se deberían realizar como prueba de mantenimiento de cables de alimentación con aislamiento extruidos debido a la posibilidad de causar daños a los cables” (NFPA 70B, 2016).

### **3.7.5 Evaluación de los datos obtenidos en las pruebas eléctricas**

La evaluación de los datos obtenidos durante las pruebas eléctricas a los equipos estarán basada en lo siguiente:

- El estandar recomendado por el fabricante del equipo a prueba; para esto se deberá revisar los manuales y guías de mantenimiento adjuntas.
- La comparación de los datos de las pruebas antes y después de realizar el mantenimiento; para esto se deberá revisar los registros e históricos de pruebas.
- Correlacionar los datos obtenidos con los de otro equipo de igual características técnica (tensión, frecuencia, potencia, rpm, etc)

La interpretación y análisis de los datos obtenidos ayudará en la eficiencia de las pruebas practicadas al equipo.

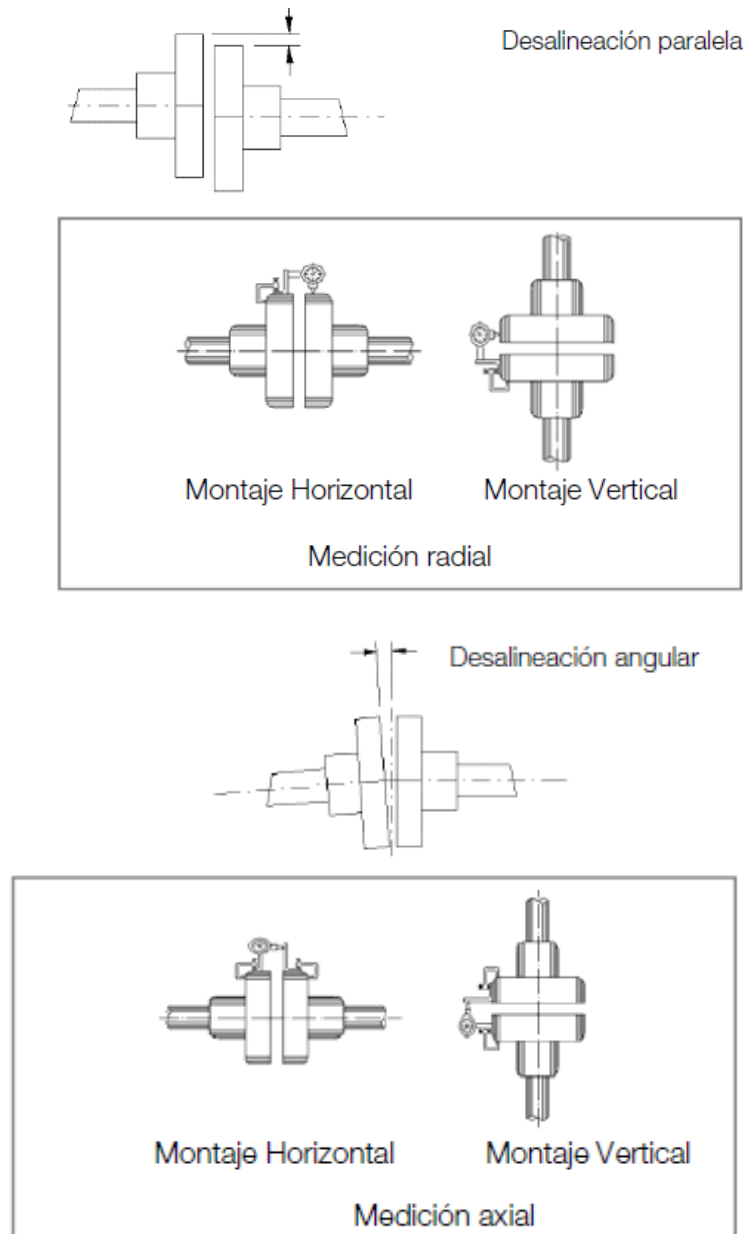
### **3.8 Inspecciones mecánicas**

Todo equipo que cumpla una función rotativa está expuesto a desgaste producido por desplazamiento, vibraciones y excesos de velocidad. En equipos rotativos, los rodamientos son los repuestos que presentan mayor deterioro, siendo el repuesto más crítico dentro de un motor o generador; el correcto engrasaje del rodamiento determinará la vida útil; entre los factores mecánicos que deben ser corregido en equipos rotativos están:

- *Alineación:* que debe ser de acuerdo a las recomendaciones del fabricante. El acomplamiento de los ejes de la máquina y del generador estarán alineados axial y radialmente como se muestra en la figura 3.8.
- *Nivelación:* con respecto a la superficie de apoyo se debe verificar si el equipo está alineado al plano vertical y horizontal; la medición se la realizará con un equipo certificado y calibrado. Para una correcta nivelación es necesario contar con calces que se iran insertando en la placas de nivelación.
- *Balanceo del eje:* está dirigido a corregir problemas de vibraciones en los equipos rotativos, además de ayudar a reducir los esfuerzo al que son

sometidos los rodamientos y la cimentación donde esta montado el equipo.

- *Cimentación:* constituye la estructura donde estará ubicado el equipo, la misma que debe ser lo suficientemente rígida y capaz de reducir esfuerzos mecánicos.



**Figura 3.1: Alineación paralela y angular.**  
Tomado de Manual generadores síncronos WEG.

### 3.8.1 Inspecciones y evaluaciones de partes móviles

Las inspecciones permiten tener una idea calificada de cómo, dónde y cuándo a cada pieza se le debería realizar el respectivo mantenimiento o reemplazo, evaluar la condición física de las partes móviles de un equipo



determinará si el equipo está funcionando dentro de los parámetros indicado por el fabricante, (NFPA 70B, 2016, pág. 21). Realizar inspecciones externa durante el engrasado de las partes moviles determinará el funcionamiento silenciosamente y sin recalentamiento.

Si hay partes moviles del equipo que han sido obstruidas con sedimento debido a las condiciones del medio, requieren lavado especiales con agua caliente no salina, más detergente, seguido de un lavado de agua caliente no salina pero sin detergente, ambos lavados a presiones no superior a 25 psi., las pruebas quimicas en el agua determinarán la presencia de elementos salinos, posteriormente el secado tendrá una duración de 2 horas y a temperatura menos de 85°C, con circulación de aire continua.

En cuanto a las vibraciones, todo los equipos vibran cuando estan en opercaión, sin embargo la vibraciones exesivas son indicativos de problemas, siendo la causa en la integridad mecánica de la maquina, como por ejemplo: desbalance dinámico, partes sucias, desaceleración, rodamientos en mal estado, así mismo, puede estar en la integridad eléctrica del equipo, como por ejemplo: una barra de rotor suelta, anillos y/o escibillas rozantes, alimentación defectuosa; en muchos caso la combinación de los dos factores (eléctrico y mecánico) tambien influyen en las vibraciones del motor, (NFPA 70B, 2016).

### **3.9 Orden y limpieza**

Realizar un mantenimiento preventivo a un equipo genera materiales sobrantes y desechables por el material utilizado, algunos casos de accidentes de trabajos por desorden o suciedad son reportados en talleres que no mantienen un ambiente de orden y limpieza. El Ministerio de Trabajo y Asunto Sociales de España ha elaborado un conjunto de buenas prácticas llamadas NTP 481, que recogen algunas recomendaciones de orden y limpieza en los lugares de trabajo.

El objetivo principal del orden y la limpieza es concientizar a todos los trabajadores a mantener un ambiente limpio que no genere desperdicios que

afecten al entorno. Entre las recomendaciones emitidas en la NTP 481, están:

- Eliminar todo lo que no es necesario.- la eliminación de material que no es necesario para cumplir la labor debe ser desechado, además, de clasificar lo que es útil o lo que se va a seguir utilizando de acuerdo al grado de necesidad; para ello se deberá considerar la frecuencia con la que necesita del material y la cantidad a utilizar, (Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España, 1998).
- El acondicionamiento del lugar de trabajo.- toda vez que se ha logrado desechar lo que no es necesario y dejado lo que es útil, se deberá ordenarlo, estableciendo lugares para guardarlos que no sean impropios, (Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España, 1998).
- No volver a ensuciar.- suele ser un poco difícil debido a la cantidad de trabajos que utilizan materiales de desecho como grasas, trapos, liencillo, etc., sin embargo, una vez terminado el trabajo se deberá realizar una nueva limpieza del área, así se evitará la acumulación de suciedad, (Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España, 1998).
- Crear hábitos de trabajo.- los cuales deben estar enfocados a la consolidación de correctas disciplinas de trabajo, cuando se convierte en un hábito la organización, la limpieza y el orden las condiciones de trabajos mejoran para los trabajadores, (Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España, 1998).

## CAPÍTULO 4

### GENERADORES ELÉCTRICOS DE HASTA 5MW

#### 4.1 Aspectos generales de generadores eléctricos

Los generadores eléctricos están compuestos de cinco partes fundamentales: estator, rotor, sistema de excitación, sistema de enfriamiento, y sistema de protecciones. En los generadores los devanados de campo están en el rotor, por lo que los términos devanado de campo y devanado de rotor se utilizan indistintamente, (Ponce, 2017, pág. 413).

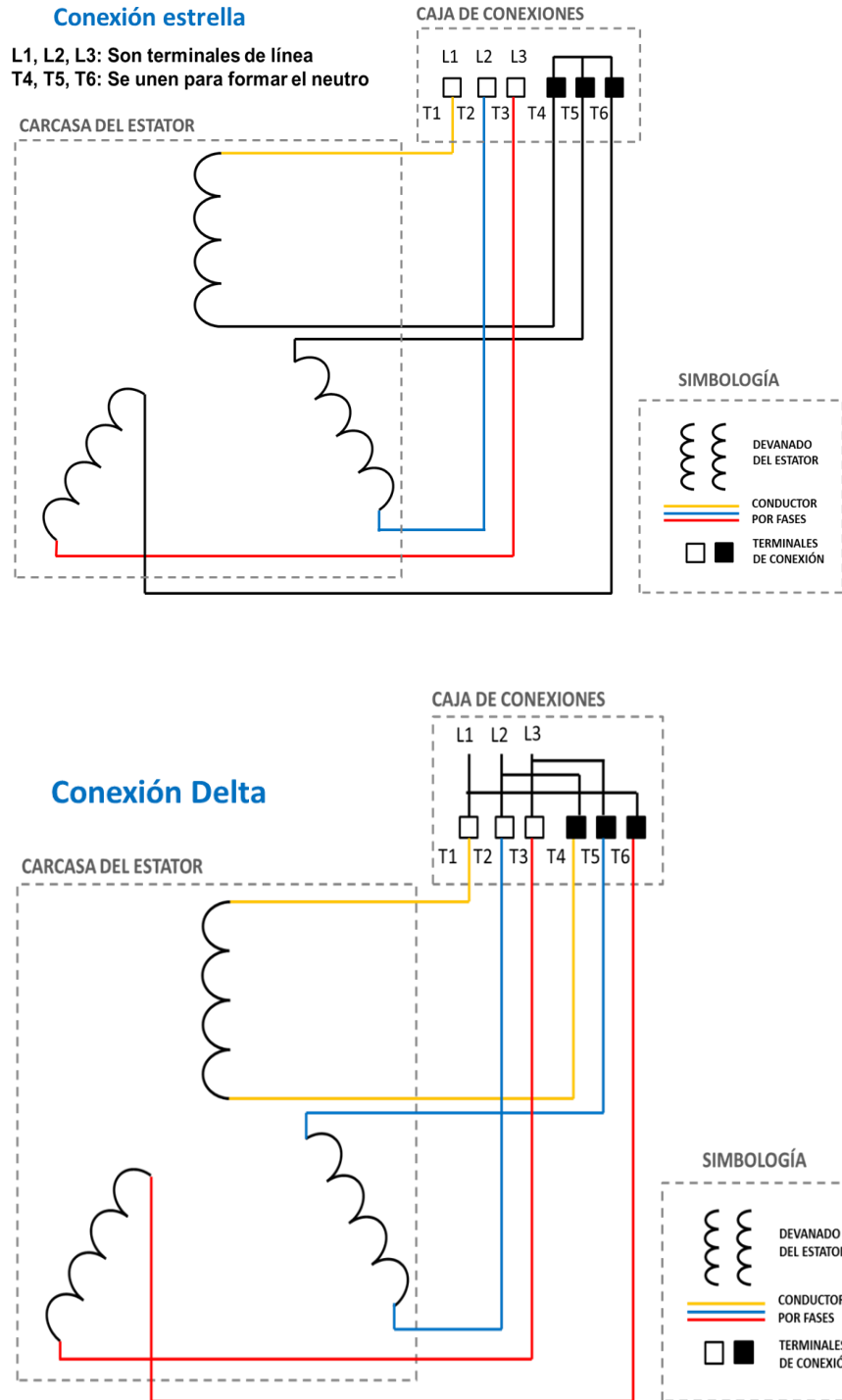
#### 4.2 Estator del generador

Está compuesto por un paquete de chapas (paquete laminado) con su respectivo devanado ubicado en el interior de la carcasa y está diseñado de acuerdo a las necesidades técnicas; el conductor del devanado de acuerdo a la potencia y niveles de tensión, está construido por hilo de sección rectangular, además que el aislamiento eléctrico del devanado está diseñado para operar a temperatura y voltaje específicos, (Fink, 2000). El estator está dividido en dos secciones que son:

- Sección mecánica
- Sección eléctrica

La sección mecánica comprende: la carcasa, el núcleo, los devanados y la caja de conexiones y la sección eléctrica corresponde al sistema de conexionado de los devanados en conexión estrella y conexión delta.

En el sistema de conexiones en estrella la mayoría de los generadores están conectados mediante los terminales T1, T2, T3 y los terminales T4, T5, T6 están unidos para formar el neutro como se muestra en la figura 4.1, mientras que la conexión delta están conectados entre sí los terminales T1 a T6, T2 a T4 y T3 a T5, y los terminales de la línea se conectan a L1, L2 y L3, (Harper, Enriquez, 2004). Este tipo de conexiones son las más usuales, sin embargo para bancos de transformadores se utilizan conexiones combinadas entre delta y estrella.



**Figura 4.1: Conexiones estrella y delta de un generador.**  
Tomado de Harper, 2004.

### 4.3 Rotor del generador

El rotor de un generador es en esencia un electroimán de grandes proporciones y está compuesto de polos magnéticos que pueden ser salientes como no salientes; los polos salientes están proyectados hacia

afuera del eje del rotor, mientras que los polos no salientes están contruidos al mismo nivel de la superficie del rotor como se muestra en la figura 4.2; debido a que el rotor está sujeto a campos magnéticos variables, se construye con láminas delgadas para reducir las pérdidas por corriente parásita, (Chapman, 2012).

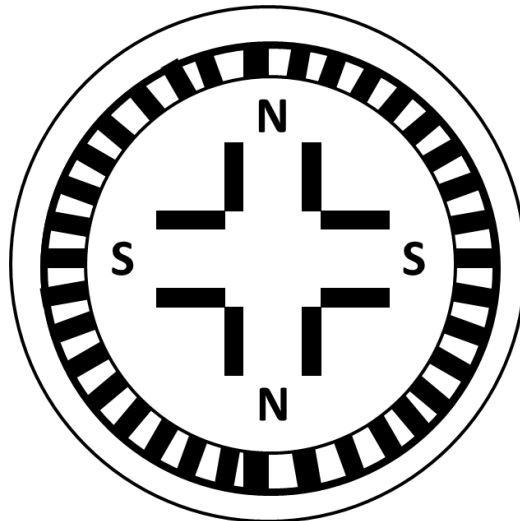


Figura 4.2: Esquema de rotor de polo saliente.

#### 4.4 Sistema de excitación del generador

Los generadores de gran tamaño para crear el campo magnético en el rotor utilizan un sistema de excitación sin escobillas, y basada en pequeños generadores de C.A o C.C., con polos de eje estacionarios que esta acoplado en el eje del generador, figura 4.3. La tensión generada en la excitatriz es rectificada por medio de diodos montados sobre la estructura rotatoria, regulada e inyectada al devanado del rotor, Harper, 2004.

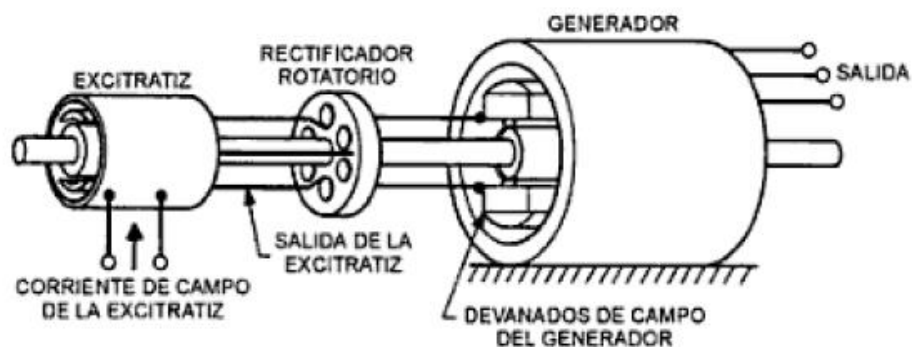
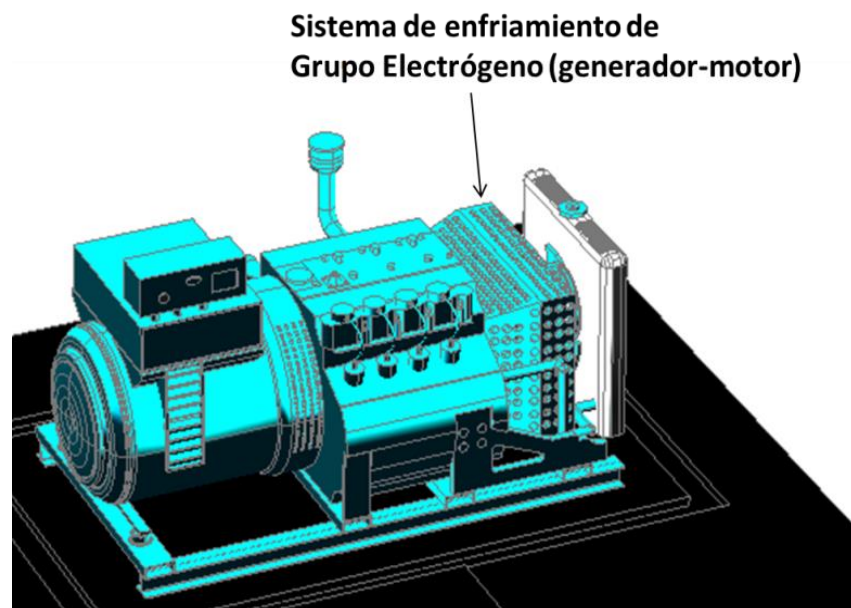


Figura 4.3 Excitatriz sin escobillas.

Tomado del libro de Generadores y transformadores, Harper.

## 4.5 Sistema enfriamiento del generador

El propósito del sistema de enfriamiento de un generador es mantener al equipo a una temperatura adecuada durante su operación, para lo cual utilizan un agente refrigerante que se encarga de evitar el sobrecalentamiento de las partes del generador, especialmente de los devanados y que varía de acuerdo al diseño del sistema como se muestra en la figura 4.4.



**Figura 4.4: Sistema de enfriamiento de grupo electrógeno.**

Los tipos de sistemas de enfriamiento normalmente usados en los generadores son: sistema aire enfriado, sistema aire-aire con intercambiador de calor y sistema aire-agua con intercambiador de calor, (Harper, Enriquez, 2004).

### 4.5.1 Sistema de enfriamiento de aire enfriado

Los generadores eléctricos que utilizan este sistema, se abastecen del aire exterior que está a temperatura ambiente como medio de enfriamiento, el aire entrante circula a través del estator y del rotor por medio de impulsores en ambos extremos del rotor, el aire caliente es extraído por la parte posterior del generador completando el ciclo de enfriamiento, normalmente este sistema se utilizan en equipos de menor potencia, (Harper, Enriquez, 2004).

#### **4.5.2 Sistema aire-aire con intercambiador de calor**

Los generadores con sistema aire-aire con intercambiador de calor son diferentes al tipo de sistema de aire enfriado, debido a que en el intercambiador de calor constantemente recircula el mismo aire a través del estator; la ventaja de este sistema es que conserva limpios los aislamientos, además elimina la necesidad de filtro por el constante cambio del aire, (Harper, Enriquez, 2004).

#### **4.5.3 Sistema aire-agua con intercambiador de calor**

Este tipo de sistema difiere del sistema de aire-aire, en que el calor residual que proviene del estator y rotor circula a través de un sistema de enfriamiento conformado por tubos de cobre, igual que los radiadores de los carros, por donde circula una corriente de agua que enfría el aire; la ventaja de este sistema es que no permite el ingreso de contaminantes.

#### **4.6 Protecciones del generador**

Las protecciones del generador están ubicadas en el devanado del estator y están diseñadas contra elevaciones de temperatura dentro del límite permitido de acuerdo a la clase térmica. La sumatoria de la temperatura ambiente con la temperatura elevada y la diferencia de temperatura que existe entre el devanado y el punto más caliente determinan el total de la temperatura, la temperatura ambiente es máximo 40°C, por norma, y arriba de eso las condiciones de trabajo son consideradas especiales, (WEG, 2003).

Para la medición de la temperatura en el generador se utilizan la siguiente instrumentación:

- *Termostatos*: son detectores térmicos del tipo bimetálicos, con contactos de plata normalmente cerrados que se abren con determinada temperatura y están conectados en serie o conforme al diagrama de conexión, (WEG, 2003).
- *Termistores*: igual que los termostatos son detectores térmicos construidos por semiconductores que varían la resistencia con respecto de la temperatura y están conectados en serie o conforme al diagrama de conexión, (WEG, 2003).

- *Termo-resistencia*: son elementos de resistencia calibrada construidas en platino, su funcionamiento es basado en el principio de la resistencia de los conductores eléctricos que varía respecto a la temperatura y se instalan una resistencia por fase.

En lo que corresponde a protecciones eléctricas, estas se instalarán en los tableros y en la máquina de acuerdo a la potencia del generador, como se muestra en la tabla 4.1, en la que los equipos de mayor potencia tendrán mayor número de protecciones y los equipos de menor potencia, menor número de protecciones. Para este trabajo, se ha tomado en cuenta los generadores de 3000 hasta 7000 KVA, los cuales entran en el rango de los 5 MVA que por su gran tamaño continen mayor número de protecciones que sus antecesores que son de menor potencia, es decir, el número de protecciones va de acuerdo a la potencia del equipo. Por lo general la mayoría de estas protecciones están diseñadas para preservar la integridad física del equipo.

**Tabla 4.1: Protecciones de acuerdo a la potencia del generador.**

RANGO DE POTENCIA DEL GENERADOR	CODIGO DE PROTECCIONES RECOMENDADAS
Hasta 150 KVA	50/51-52-59
De 150 hasta 1000 KVA	27-49-50-59-50/51
Arriba de 1000 KVA	27-32-49-50G-51V-52-59
Hasta 3000 KVA	CP-PR-27-32-49-50G-51V-52-59
De 3000 hasta 7000 KVA	CP-PR-32-40-46-49-50G-51V-52-59-87
Arriba de 7500 KVA	CP-PR-27-32-40-46-49-50G-51V-52-59-78-81-87

Tomado de Manual generadores síncronos WEG

Es decir, para generadores de potencia de hasta 5MW (5000 KVA), las protecciones que deben ser instaladas están en el rango de 3000 hasta 7000 KVA y corresponden a: CP capacitor; PR pararrayo; 32 relé de potencia reversa; 40 relé de pérdida de excitación; 46 relé de desequilibrio de corriente; 49 relé de sobre carga; 50G relé de sobrecorriente de tierra; 51V relé de sobrecorriente por trabamiento de tensión; 52 interruptor de potencia; 59 relé de sobretensión y 87 relé de protección diferencial (IEEE std C37.2, 2008). A continuación se detallan las siguientes simbologías de acuerdo a la IEEE std C37.2:

- C.- Capacitor



- PR.- Pararrayo
- 27.- Relé de bajatensión
- 32.- Relé de potencia reversa
- 40.- Relé de campo o baja excitación
- 46.- Relé de corriente de fase inversa
- 49.- Relé térmico o de sobrecarga
- 50.- Relé de sobrecorriente instantánea
- 50G.- Relé de sobrecorriente de tierra
- 51.- Relé de corriente de tiempo inverso
- 51V.- Relé de sobrecorriente con trabamiento por tensión
- 52.- Interruptor de c.a.
- 59.- Relé de sobrevoltaje
- 64.- Relé detector de tierra
- 78.- Relé de medición de ángulo de fase
- 81.- Relé de frecuencia
- 86.- Relé de bloqueo
- 87.- Relé de protección diferencia

## **CAPÍTULO 5**

### **MANTENIMIENTO PREVENTIVO RECOMENDADO DEL GENERADOR**

#### **5.1 Generalidades**

##### **5.1.1 Aspectos eléctricos**

Las partes de un generador como escobillas colectoras, conexiones a tierra y excitatriz, están expuestas a desgaste, que además requieren de un ajuste o reemplazo. Otras partes como los sistemas de ventilación y enfriamiento acumulan suciedad y requieren una limpieza frecuente. En cambio el aislamiento de los devanados del generador se deteriora con el tiempo y las altas corrientes que se manejen en el equipo, por lo que requiere de inspecciones y mantenimiento periódicos y rutinarios. Es decir, todas las piezas que forman parte de un generador están expuestas a cambios continuos por las altas o bajas vibraciones, estrés y temperatura lo cual produce aflojamiento o daños en las piezas como lo indice la normativa, (IEEE std 67, 2005).

Es importante observar el funcionamiento del equipo y detectar cambios inusuales de ruido o sonido durante el funcionamiento, temperatura fuera del límite nominal, vibraciones excesivas o cambio en la apariencia del exterior (esto es, en la carcasa), para esto se debe adoptar un calendario sistemático de inspección, pruebas y mantenimiento preventivo que conlleve a solucionar problemas menores, que con el tiempo se convertirán en problemas mayores como lo establece la normativa, (IEEE std 67, 2005).

En muchas partes del generador se pueden hacer revisiones rutinarias mientras se encuentre en funcionamiento el equipo. El tiempo de las revisiones y del mantenimiento debe ser determinado por el fabricante y la experiencia y capacitación del personal técnico, además se debe considerar el número de hora de operación, el número de arranques, el número de cortocircuitos en el sistema o corrientes transitorias entre otros factores que afectan la funcionabilidad y operatividad del equipo, como lo establece la normativa (IEEE std 67, 2005).

## **5.1.2 Anillos y escobillas del colector**

Debido a que las fallas en el colector del generador son de corta duración, se dificulta el monitoreo de forma remota, por lo que es necesario realizar un mantenimiento regular al colector para detectar y corregir posibles problemas antes que se produzca la falla, lo que garantizará que los anillos colectores sean confiables durante su funcionamiento, (IEEE std 67, 2005). Por lo que se sugiere el siguiente programa de mantenimiento:

### **5.1.2.1 Inspecciones diaria del colector**

Los problemas en las escobillas del colector pueden ocurrir repentinamente, por lo que es recomendada una revisión visual y se deberá realizar el respectivo mantenimiento o reparación si aparecen las siguientes condiciones:

- Desgaste en las escobillas
- Polvo o partículas
- Presencia de chispa
- Resortes en mal estado
- Conectores sobrecalentados
- Cambio de apariencia del anillo del colector

### **5.1.2.2 Inspecciones semanales del colector**

Una vez por semana se debe realizar una revisión completa al colector, tomando en cuenta las siguientes precauciones:

- Altos niveles de ruido dentro de la carcasa por lo que se debe utilizar protección auditiva, (IEEE std 67, 2005).
- Evitar el contacto directo con el colector, debido a que las tensiones de C.C, entre el colector y las escobillas que están entre los 200V y 600V, (IEEE std 67, 2005).
- Caídas de herramientas u otro objeto en el eje en movimiento o bobinado cuando está operativo el equipo.

## **5.2 Devanado estator**

Durante el mantenimiento preventivo que se realice al devanado del estator, se debe retirar por completo el rotor del estator, teniendo la precaución de no provocar roces con el estator durante la extracción, lo que

ocasionaría daños en las láminas del entrehierro y en el devanado del estator, de igual forma cuando se termine el mantenimiento y se proceda con la colocación del rotor en el interior del estator, (IEEE std 67, 2005).

No es recomendable que durante la extracción del rotor, se lo apoye en los anillos de retención, además que el rotor extraído debe ser colocado en un lugar sin humedad y protegido de equipos que puedan ocasionarle daño como golpes, (IEEE std 67, 2005).

Cuando se retiren las aspas del ventilador y los escudos del generador, deben ser identificados y marcados cuidadosamente para la reinstalación, teniendo en cuenta no usar punzones, marcas de cincel u objeto similares. Se debe utilizar el procedimiento adecuado para evitar dejar materiales como cinta, cables u otro en el interior del generador cuando se proceda a armarlo, (IEEE std 67, 2005).

Toda vez que se haya extraído el eje del rotor, se debe verificar que no se haya desgastado el barniz del aislamiento del devanado del estator y en caso de desgaste del barniz del estator se debe proceder a barnizarlo nuevamente con tiempos de secado de 24 horas en un ambiente cálido y sin presencia de humedad, (IEEE std 67, 2005).

El polvo en el devanado debe eliminarse preferiblemente con una aspiradora o con gas comprimido; cuando se utilice el gas comprimido, se debe tener cuidado que el gas que se vaya a utilizar contenga aire seco y durante su aplicación se deberá evitar excesiva presión del gas en el devanado debido a que podría causar desprendimiento del aislamiento, (IEEE std 67, 2005).

En cualquier caso, todas las superficies expuestas deben limpiarse con paños limpios embebido en una solución de limpieza recomendada por el fabricante, a fin de eliminar residuos de aceite o grasa proveniente de la lubricación de los rodamientos; es muy importante que la solución de limpieza no contenga solvente en grandes cantidades que sean nocivos para el aislamiento de devanado, (IEEE std 67, 2005).

### **5.3 Devanado rotor**

La revisión del rotor se la deberá realizar para determinar: posibles deformación y contaminación en el devanado rotórico, bloqueo de los conductos de ventilación, instalación incorrecta de las cuñas, puntos calientes y evidencia de sobrecalentamiento o quemaduras en la superficie, de observarse presencia de sobrecalentamiento es necesario consultar con el fabricante para realizar inspecciones internas que con lleven a una reparación, (IEEE std 67, 2005).

Los anillos colectores y terminales de conexión deberán ser limpiados y revisados en busca de calentamiento o picaduras que puedan afectar el funcionamiento del equipo. En caso de ser recomendado por el fabricante se deberá aplicar una capa delgada y uniforme de barniz en el rotor y en los anillos de retención para evitar la corrosión, (IEEE std 67, 2005).

### **5.4 Carcasa del generador**

Una correcta revisión e inspección se deberá realizar en la carcasa, en busca de signos de puntos calientes que se evidencia por la decoloración de la pintura, holguras o perforaciones en la carcasa. Los pernos pasantes aislados deben ser revisado para detectar un posible deterioro en el aislamiento, además se debe verificar la estanqueidad de todos los accesorios de sujeción con base a lo dispuesto por el fabricante, (IEEE std 67, 2005).

El óxido de hierro puede ser indicio de desgaste entre partes de hierro y acero como en los pernos de los escudos u otras partes. Si hay exceso de aceite presente en el generador debido a la fricción de sus partes móviles, esta se verá en forma de grasa de color oscura, (IEEE std 67, 2005).

#### **5.4.1 Caja de conexiones y terminales**

La caja de conexión y los terminales de salida del generador deben ser inspeccionados para detectar posibles aperturas, grietas, partes flojas, presencia de humedad o ingreso de aceite o grasa proveniente del sistema de lubricación del generador; además, del deterioro o sobrecalentamiento de

los conductores de conexión, lo cual puede ocasionar mal contacto o arcos eléctricos en el interior de la caja de conexiones, (IEEE std 67, 2005).

Existen generadores que utilizan conductores trenzados flexibles en la caja de conexión para realizar la conexión con los terminales del generador, lo cuales también deberán ser revisados, (IEEE std 67, 2005).

#### **5.4.2 Ventilador**

Las aspas del ventilador del generador deben ser revisados en busca de grietas, para lo cual se deberá inspeccionar por los métodos de líquidos penetrantes, o partículas magnéticas, teniendo en cuenta que los devanados del rotor y estator no se contaminen con los fluidos de prueba, (IEEE std 67, 2005).

### **5.5 Pruebas de C.A y C.C**

Para lograr el mantenimiento adecuado al generador, es necesario combinar las pruebas de mayor importancia con la inspección visual especialmente durante el procedimiento recomendado para cada prueba. Tanto la inspección visual como el procedimiento para realizar las pruebas deben ser coordinados para alcanzar una conclusión sólida del estado del equipo, (IEEE std 67, 2005). Por lo general este tipo de prueba se la realiza a los equipos que sus devanados han sido reparados en su totalidad, debido a que son pruebas destructivas.

#### **5.5.1 Medición de IR en los devanados del estator**

Para realizar las mediciones de resistencia de aislamiento (IR), es necesario contar con la ayuda de un megóhmetro, que es un instrumento que inyecta una sobrecorriente de pulso al material aislante con el fin de medir su resistencia. Los niveles de tensión recomendados para realizar la medición están detallados en la tabla 3.7.2. A continuación se detalla el procedimiento adecuado antes de realizar las mediciones en el equipo:

- Desconectar las acometidas salientes del estator ubicadas en la caja de conexiones.
- Desconectar y colocar a tierra el neutro del generador.

- Desconectar los instrumentos de medición como son: Transformadores de corriente y transformadores de potencial.
- Verificar que la carcasa esté con su respectivo sistema puesta a tierra.
- Realizar una medición de la temperatura en los devanados del estator.
- Aterrizar los sensores de temperatura instalados en el generador.
- Medir la presencia de humedad.

Las mediciones de la prueba de resistencia de aislamiento se deben realizar en la caja de conexiones del equipo. En la figura 5.1, se muestra la conexión del equipo de medición, en donde los polos positivo y negativo del megóhmetro deben estar conectados a la carcasa del generador la misma que deberá estar puesta a tierra y a las fases del devanado del estator respectivamente; es importante volver a indicar que la carcasa del estator durante la medición debe estar puesta a tierra. Los resultados de los valores de las prueba de resistencia de aislamiento del estator deben ser de acuerdo a la tabla 3.2 y registrado en el formato de registro de pruebas de resistencia de aislamiento recomendados en la tabla 3.4.

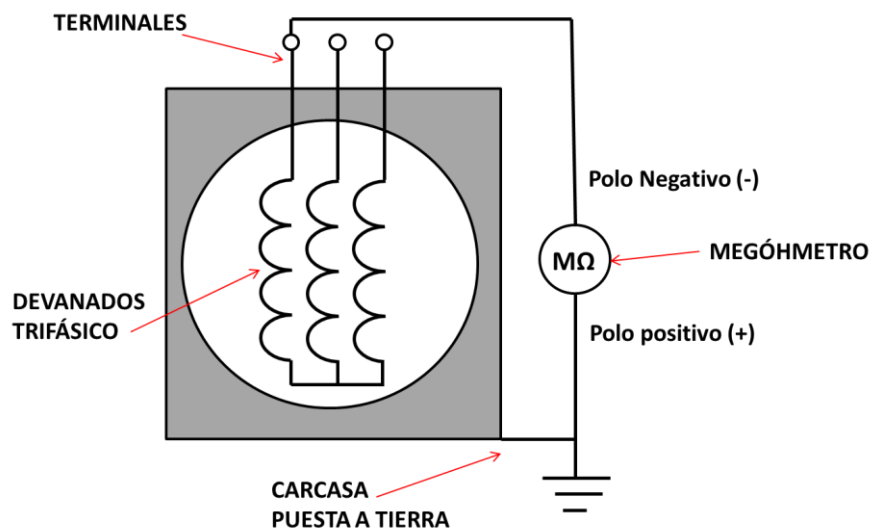


Figura 5.1: Conexión del megóhmetro.

### 5.5.2 Medición de IR en los devanados del rotor y de la excitatriz

Al igual que las mediciones de resistencia de aislamiento (IR) en el estator, también hay que realizar procedimientos adecuados antes de realizar las mediciones en el rotor y excitatriz. A continuación se detallan los procedimientos para las mediciones en el devanado del estator:

- Desconectar los terminales del devanado del rotor y el conjunto de diodo y resistores instalados en el eje.
- Conectar los polos positivos y negativos del megóhmetro con el eje y el devanado del rotor del generador respectivamente.

Los resultados de los valores de las prueba de resistencia de aislamiento del rotor deben ser de acuerdo a la tabla 3.2 y registrado en el formato de registro de pruebas de resistencia de aislamiento recomendados en la tabla 3.4.

Lo que corresponde a las pruebas de resistencia del devanado del estator de la excitatriz, se detalla el siguiente procedimiento:

- Desconectar la alimentación del devanado de la excitatriz.
- Conectar los polos positivos y negativos del megóhmetro con la carcasa de generador y el devanado de la excitatriz respectivamente. La carcasa del estator durante la medición debe estar puesta a tierra.

Los resultados de los valores de las prueba de resistencia de aislamiento del devanado del estator de la excitatriz deben ser de acuerdo a la tabla 3.2 y registrado en el formato de registro de pruebas de resistencia de aislamiento recomendados en la tabla 3.4.

De igual forma que las mediciones de resistencia de aislamiento al devanado del rotor del generador, al devanado del rotor de la excitatriz también hay que realizar las pruebas respectivas; para lo cual se detalla el siguiente procedimiento:

- Desconectar los terminales del devanado del rotor de la excitatriz y el conjunto de diodo instalados en el eje.
- Conectar los polos positivos y negativos del megóhmetro con el eje y el devanado del rotor de la excitatriz respectivamente.

Los resultados de los valores de las prueba de resistencia de aislamiento del devanado del roto de la excitatriz deben ser de acuerdo a la tabla 3.2 y registrado en el formato de registro de pruebas de resistencia de aislamiento recomendados en la tabla 3.4.

Toda vez que se termine de realizar las pruebas de resistencia de aislamiento, se debe tomar la precaución de colocar a tierra los devanados



probados para descargarlo de los niveles de tensión residuales producto de las pruebas.

### 5.5.3 Evaluación de las pruebas de resistencia de aislamiento (IR)

La normativa indica que para poder evaluar las condiciones del material de aislamiento de los devanados probados, se debe hacer referencia a los límites orientativos de las pruebas de resistencia de aislamiento (IR) como se detallan en la tabla 5.1, donde todo los valores resultados de las pruebas, que son menor a 2 MΩ, los devanados se recuperar mediante procedimientos de recuperación de aislamiento, hasta llegar a sus niveles aceptables de aislamiento, es decir en el rango de 100 a 500 MΩ o superior.

**Tabla 5.1: Límites orientativos de la resistencia de aislamiento en máquinas eléctricas.**

VALORES DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO	EVALUACIÓN DEL AISLAMIENTO
2 MΩ o menor	Inaceptable
< 50 MΩ	Peligroso
50 a 100 MΩ	Regular
100 a 500 MΩ	Bueno
500 a 1000 MΩ	Muy Bueno
>1000 MΩ	Óptimo

### 5.6 Consideraciones mecánicas

Para la operación y el mantenimiento de un generador es necesario un conocimiento profundo de su construcción, así como, la capacidad de poder reconocer y comprender las causas de las fallas en su sistema, que en muchos casos se deben a condiciones mecánicas, (IEEE std 67, 2005). Entre los aspectos mecánicos que deben tomarse en cuenta cuando se realiza la inspección de un generador están:

- La concetricidad del rotor con respecto a la turbina
- La posición axial del rotor con respecto al estator
- Las vibraciones que se presenten durante el funcionamiento
- La corriente parásitas en el eje debido al devanado del mismo
- El aislamiento del rodamiento

Los rodamientos son los elementos mecánicos que presentan, debido a la fricción y al deslizamiento al que están sometidos durante el funcionamiento generador, (IEEE std 67, 2005).

### **5.6.1 Anillos retenedores**

Los anillos retenedores deben ser revisando para detectar presencia de oxidación, picaduras o grietas, y por lo menos se deberá realizar una inspección visual periódicamente. En la actualidad en generadores de mediana y gran capacidad, se utilizan anillos de retención no magnéticos contruidos de aleaciones de manganeso y cromo, los cuales son muy susceptibles al agrietamiento por corrosión, por lo que se debe evitar el contacto con agua, (IEEE std 67, 2005).

El método más común utilizado para la detección de grietas en los anillos de retención son las pruebas de tintas penetrantes y las pruebas ultrasónicas. Las pruebas de tintas penetrantes requiere de la extracción de los anillos a diferencia de las pruebas ultrasónicas que se las puede realizar retirando los anillos o con los anillos instalados, (IEEE std 67, 2005).

### **5.6.2 Rodamientos**

Los rodamientos del generador deben ser inspeccionados cuidadosamente para verificar que se encuentre en buenas condiciones y que no exista presencia de partículas en las pistas de los aros interno y externo, (IEEE std 67, 2005).

## **5.7 Mantenimiento misceláneo**

### **5.7.1 Filtros de aire**

La suciedad que se encuentra en los filtros de aire, obstruirá los conductos de ventilación, por lo que se reducirá la cantidad de aire de refrigeración que circula, provocando sobrecalentamiento en el interior del generador, además del ingreso de partículas que afecten sus partes internas. Motivo por el cual los filtros deben inspeccionarse periódicamente y limpiarse o reemplazarse cuando sea necesario, (IEEE std 67, 2005). Es muy importante mantener el filtro de aire de los equipos sin rastro de

suciedad, debido a que las sobre temperatura en el equipo dependerá de las condiciones de los filtros, también influirá la vetustez de los mismos, por lo que es recomendable el reemplazo cada cierto tiempo.

### **5.7.2 Intercambiadores de calor**

El correcto funcionamiento de los sistemas de intercambiadores de calor se reduce debido a la acumulación de lodo u otro material, que conlleva a un mantenimiento periódico de este sistema. Una de las formas de verificar la suciedad o el deterioro del sistema, es mediante el aumento anormal de temperatura, (IEEE std 67, 2005).

Los tubos de enfriamiento pueden limpiarse con la unidad en funcionamiento, observando las recomendaciones del fabricante. Además es necesaria una revisión exhaustiva en cada tubo para detectar rastros de humedad o presencia de agua, lo cual puede ser indicio de una fuga, (IEEE std 67, 2005).

En el caso de máquinas enfriadas con hidrogeno, la limpieza de los turbos de enfriamiento cuando hay presencia de hidrogeno, es extremadamente peligrosa. Para este tipo de sistema de enfriamiento con hidrógeno, la superficie exterior de los tubos de enfriamiento deben inspeccionarse para detectar depósitos de carbonato de plomo, que son señales de la presencia de humedad, por lo que el hidrogeno debe mantenerse la más seco posible, (IEEE std 67, 2005).

#### **5.7.2.1 Detección de fuga de hidrógeno**

Las fugas de hidrogeno están relacionadas con el consumo excesivo de gas, es decir, si la cantidad de hidrógeno que se requiere para mantener una adecuada presión de gas es muy superior a lo normal o lo que indica el manual del fabricante, puede existir una fuga de hidrogeno que debe ser corregida. La presencia de fuga en el sistema de enfriamiento también puede detectarse observando la capacidad del equipo para mantener el gas bajo presión, (IEEE std 67, 2005). Para obtener resultados satisfactorios en el funcionamiento del sistema, es necesario corregir las caídas de presiones observadas en los cambios de temperatura y presión, (IEEE std 67, 2005).

## **CAPÍTULO 6**

### **PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA GENERADORES**

#### **6.1 Programa de mantenimiento preventivo del generador**

La frecuencia con la que se realiza el mantenimiento programado se basa en las horas de operación del generador durante el año, y se divide en tres categorías:

- Mantenimiento operacional
- Mantenimiento intermedio
- Mantenimiento mayor (overhaul)

En el mantenimiento operacional no es necesario que el generador se encuentre fuera de funcionamiento, sin embargo para los mantenimientos intermedio y mayor, el generador debe estar fuera de funcionamiento.

##### **6.1.1 Mantenimiento operacional del generador**

El mantenimiento operacional consiste básicamente en una inspección visual alrededor del equipo, para asegurarse de un adecuado funcionamiento y para detectar indicios de deterioro.

Este tipo de mantenimiento se lo realiza diariamente y es recomendable realizarlo a diario para que resulte práctico. Normalmente el periodo del mantenimiento operacional es de aproximadamente 16 horas en el sitio donde se encuentra instalado.

##### **6.1.2 Mantenimiento intermedio del generador**

El mantenimiento intermedio está enfocado en la revisión de los sistemas de protección y la limpieza de los sistemas de refrigeración que utilicen como agente refrigerante el hidrógeno, lo que garantizará el óptimo funcionamiento del generador.

Es recomendable que este tipo de mantenimiento se lo realice cada seis meses sobre la base de la experiencia obtenida durante el primer año de funcionamiento.

### **6.1.3 Mantenimiento mayor del generador**

Este mantenimiento incluye el desarme del generador para una inspección, revisión y mantenimiento del generador. Es recomendable llevar un registro detallado de las alarmas y fallos en el equipo a fin de garantizar el correcto mantenimiento en esta etapa.

## **6.2 Diseño del plan de mantenimiento preventivo del generador**

Existen numerosos fabricantes de generadores eléctricos, y cada fabricante provee un plan de mantenimiento orientativo y adecuado para su equipo, debido a que el mantenimiento puede variar con las condiciones de trabajo en la que se encuentra el equipo. La norma Nema (Asociación Nacional de Fabricante Eléctricos), en su publicación del estándar Nema MG 1, motores y generadores, indica que “la operación continua de un generador tiene que permitir periodos de mantenimiento” (NEMA MG1, 1998).

En la tabla 6.1 se muestra como guía para este trabajo el plan de mantenimiento preventivo entregado por el fabricante de un generador eléctrico, tomando como referencia los planes y rutinas de mantenimientos de un generador marca WEG de 5.2 MW, y de un generador marca Leroy Sommer de 2 MW, el plan contempla mantenimiento cada cierto tiempo y su eficiencia dependerá de las intervenciones que se le realice al equipo, para esto el fabricante en cada una de las tareas ha implementado rutinas de mantenimiento, como son: ajustes, control, verificación y otras.

**Tabla 6.1 Plan de mantenimiento preventivo entregado por el fabricante para generadores eléctrico.**

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE UN GENERADOR					
COMPONENTES	DIARIAMENTE	SEM ANUALMENTE	CADA 3 MESES	ANUALMENTE	CADA 3 AÑOS
GENERADOR COMPLETO	Inspección del ruido y de vibraciones		Drenar el agua condensada	Reapretar los pernos de carcasa, escudos y base	Desmontar el generador, verificar partes y piezas
BOBINAS DEL ESTATOR Y ROTOR				Inspección visual, medir resistencia de aislamiento	Limpieza; verificación de la fijación y bobinas; medir resistencia de aislamiento
SOPORTES	Control de ruido	Reengrasar: respetar intervalos conforme placa de lubricación			Limpieza de los soportes, sustituir, inspeccionar casquillos, inspeccionar pista del eje y recuperar cuando sea necesario
CAJA DE CONEXIONES, CONEXION A TIERRA				Limpieza interior y reapretar pernos	Limpieza interior y reapretar pernos
ACOPLAMIENTO		Despues de la primera semana de funcionamiento: verificar alineamiento y fijación		Verificar alineación y fijación	Verificar alineación y fijación
DISPOSITIVOS DE MONITOREO		Registro de los valores de medición			Desmontar y hacer test del modo de funcionamiento
FILTRO DE AIRE			Limpieza	Limpieza	Limpieza
ANILLOS		Control de superficie, limpieza y contacto		Control y limpieza	
ESCOBILLAS		Control , substituir cuando el tamaño haya sido desgastado			

## **PARTE II APORTACIONES**

### **CAPÍTULO 7**

#### **MEJORAMIENTO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

##### **7.1 Introducción**

Los planes de mantenimiento que se realizan de forma general a un equipo eléctrico están destinados a la conservación, preservación y confiabilidad del equipo; sin embargo su eficiencia dependerá mucho de las actividades de mantenimiento que se realicen dentro del plan, es así, que en muchas ocasiones los planes de mantenimiento provistos por el fabricante son generalizados, para todos los generadores eléctricos.

La normativa IEEE std 67, establece guías de mantenimiento para generadores eléctricos de las turbinas, que añadidas a los planes de mantenimiento de los fabricantes, complementarían y mejorarían las rutinas de mantenimientos preventivo a los generadores y con ello la confiabilidad del sistema eléctrico.

##### **7.2 Importancia del mejoramiento del plan de mantenimiento**

El deterioro paulatino de los equipos eléctricos es un proceso normal en su vida útil, que depende de las condiciones ambientales y trabajo al que están expuestos. Muchos de los fabricantes elaboran los planes de mantenimiento de sus equipos para ambientes normales, sin embargo dentro de la industria, las condiciones ambientales varían de acuerdo a la ubicación del equipo, es así que, un generador que está funcionando en una ciudad, generando energía eléctrica a una entidad financiera, no va a tener el mismo desgaste y deterioro que un generador que está funcionando en una estación de gas cercana a un muelle donde el ambiente agresivo por la salinidad del mar. El mejoramiento del plan de mantenimiento, tomando en cuenta las situaciones climáticas y ambientales que están expuestos los equipos garantizaran la correcta funcionalidad de los mismos.

### **7.3 Mejoramiento al plan de mantenimiento para la eficiencia**

El deterioro y desgaste de las piezas de los equipos empiezan desde su instalación en el lugar de trabajo y los mantenimientos que se realicen desde su instalación, serán los indicativos que permita la eficiencia del equipo, sin el respectivo plan de mantenimiento preventivo, se asumen riesgos mayores de sufrir una falla del equipo.

El mejoramiento al plan de mantenimiento del generador reducirá accidentes, minimizará los costos de operación, podrá identificar problemas inminentes y aplicar soluciones casi instantáneas antes que lleguen a producirse problemas mayores que requieran reparaciones de mayor costo, es decir, la eficiencia del plan de mantenimiento se reflejará en el manejo de los tiempos y costos para la empresa.

### **7.4 Beneficios del mejoramiento del plan de mantenimiento**

Un plan de mantenimiento bien estructurado reduce accidentes y también reduce los costos por fallas imprevistas de los equipos; existen dos beneficios del mejoramiento al plan de mantenimiento que son los beneficios directo y menores, estos dos beneficios ayudaran a la eficiencia del plan de mantenimiento. Cada uno está dirigido a diferente área como son económica y técnica, además se pueden medir cualitativamente y cuantitativamente.

#### **7.4.1 Beneficios directos**

Estos beneficios son medibles económicamente, debido a que se miden por la reducción en los costos de reparaciones y en la reducción de los tiempos de paralización de los equipos.

#### **7.4.2 Beneficios menores**

Al igual que los beneficios directos, estos son medibles y además son muy reales que resultan de la mejora en la seguridad de los equipos y del personal, es decir, para poder entender como el mejoramiento al plan de mantenimiento sirve para la seguridad del equipo y del personal, se deberá entender la mecánica del plan, esto es, los procedimientos para realizar las inspecciones, pruebas y reparaciones.



## **7.5 Elementos fundamentales del mejoramiento del PMP**

Los elementos fundamentales que deben conformar en el plan de mantenimiento (PMP) para su mejoramiento son:

- Técnicos responsables, capacitados y calificados
- Inspecciones, pruebas y revisiones del equipo periódicamente
- Inspecciones y análisis de los sistemas y equipos eléctricos para determinar los requerimientos y prioridades
- Inspecciones de rutinas programadas
- Análisis precisos de los informes de inspección y pruebas con el objeto de tomar medidas correctivas en bien del equipo
- Registros concisos y completos
- Manuales de operación y mantenimiento de cada equipo
- Interpretación de planos o PI&D
- Análisis de causa raíz de alguna falla que se haya presentado en el equipo
- Seguridad industrial y control ambiental.
- Equipamiento completo (herramientas de trabajo)

## **7.6 Plan de mantenimiento preventivo mejorado**

En la tabla 7.1, se muestra el plan de mantenimiento preventivo mejorado de un generador, tomando como base el plan de mantenimiento preventivo presentado en la tabla 6.1., en la que se incluye además el término técnico “overhaul” el cual indica que un equipo necesita un mantenimiento preventivo y correctivo desmontando todas las partes del generador por personal capacitado

Para esta propuesta se incluyó las recomendaciones de la IEEE std 67, como son: chequeo e inspecciones exhaustivas, registros de pruebas eléctricas, análisis de vibraciones, reemplazo de partes en mal estado y el control de ruido y demás factores que afecten el correcto funcionamiento del equipo. Además se hizo especial énfasis en la revisión de las partes más críticas del generador como son: las escobillas, anillos, dispositivos de monitoreo y protecciones y los devanados del estator y rotor.

También se tomó en cuenta los reajustes en los pernos debido a las vibraciones del equipo durante su funcionamiento y el re-engrase de sus partes móviles que constituyen en trabajos mecánicos.

**Tabla 7.1: Plan de mantenimiento preventivo mejorado de un generador con base a la IEEE std 67.**

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO MEJORADO DE UN GENERADOR					
COMPONENTES	DIARIAMENTE	SEMANALMENTE	CADA 3 MESES	ANUALMENTE	CADA 3 AÑOS (OVERHAUL)
GENERADOR COMPLETO	Inspección del ruido y de vibraciones	Prueba y análisis de Vibraciones Revisión de los sistema puesta a tierra	Revisión de las líneas de drenaje Drenar el agua condensada de ser necesario Visualización de partes oxidadas	Reapretar los pernos de carcasa, escudos y base Prueba de Vibraciones	Desmontar el generador, verificar partes y piezas Pruebas eléctricas Revisión y pruebas de tintas penetrantes al ventilador Verificación del estado de los rodamientos y chumaceras de ser el caso
BOBINAS DEL ESTATOR Y ROTOR	Inspección en busca de ruido anormales	Chequear los niveles de tensión de salida del generador	Chequear los niveles de tensión de salida del generador	Inspección visual, medir resistencia de aislamiento	Limpieza; verificación de la fijación y bobinas Medición de resistencia de aislamiento Barnizado de devanados rotórico y estatórico
SOPORTES	Control de ruido	Reengrasar: respetar intervalos conforme placa de lubricación	Revisión del estado de los pernos de anclaje.	Revisión del estado de los pernos de anclaje.	Limpieza de los soportes, sustituir, inspeccionar casquillos, inspeccionar pista del eje y recuperar cuando sea necesario
CAJA DE CONEXIONES, CONEXIÓN A TIERRA	Verificación de pernos de la tapa flojos debido a las vibraciones	Verificación de presencia de oxidación	Verificar presencia de agua o suciedad en su interior Limpieza interior y reapretar pernos	Verificar presencia de agua o suciedad en su interior Limpieza interior y reapretar pernos	Verificar presencia de agua o suciedad en su interior Limpieza interior y reapretar pernos
ACOPLAMIENTO	Inspección del ruido y de vibraciones	Despues de la primera semana de funcionamiento: verificar alineamiento y fijación	Verificar alineación y fijación	Verificar alineación y fijación	Verificar alineación y fijación
DISPOSITIVOS DE MONITOREO Y PROTECCIONES	Registro de los valores de medición, TC's y TP's	Registro de los valores de medición, TC's y TP's	Registro de los valores de medición, TC's y TP's y comprobación de con los meses anteriores	Desmontar y hacer test del modo de funcionamiento	Desmontar y hacer test del modo de funcionamiento, reemplazar de ser el caso
FILTRO DE AIRE	Chequeo de la cantidad de aire	Limpieza	Limpieza	Reemplazo de filtros de aire	Reemplazo de filtros de aire Limpieza de los conductos de ventilación
ANILLOS	Verificar presencia de: a) Polvo general y particulado b) chispas c) Coletas deshilachadas o sobrecalentadas d) Cambio en la apariencia de la película de anillo colector.	Control de superficie, limpieza y contacto, además verificar: exceso de ruido, tensión fuera del nominal, vibración fuera del rango según el manual y piezas móviles que se encuentren sueltas.	Verificar presencia de: a) Polvo general y particulado b) chispas c) Coletas deshilachadas o sobrecalentadas d) Cambio en la apariencia de la película de anillo colector.	Control de superficie, limpieza y contacto, además verificar: exceso de ruido, tensión fuera del nominal, vibración fuera del rango según el manual y piezas móviles que se encuentren sueltas.	Limpieza de: a) Polvo general y particulado b) chispas c) Coletas deshilachadas o sobrecalentadas d) Cambio en la apariencia de la película de anillo colector.
ESCOBILLAS	Verificar presencia de: a) Polvo general y particulado b) desgaste del cepillo c) chispas d) resortes rotos	Verificar presencia de: a) Polvo general y particulado b) desgaste del cepillo c) chispas d) resortes rotos	Control , reemplazo de acuerdo al desgaste	Reemplazo de escobillas	Reemplazo del porta escobillas
INTERCAMBIADOR DE CALOR	Verificar presencia goteo o escapace de hidrogeno según sea el caso Chequeo de la temperatura del Generador	Verificar presencia de acumulación de lodo u otro agente contaminante Chequeo o monitoreo de la temperatura del Generador Verificación de fuga de hidrogeno de ser el caso.	Verificar presencia de: aceite, polvo, carbonato de plomo o grasa. Limpieza de lodo u otro agente contaminante de ser necesario	Verificar presencia de: grieta, perforaciones, goteo, aceite, polvo o grasa. Limpieza de lodo u otro agente contaminante	Prueba hidrostática en busca de perforaciones Limpieza de los tubos del intercambiador

## CAPÍTULO 8

### PROPUESTA PARA LA EFICIENCIA DEL PMP DEL GENERADOR

#### 8.1 Directrices a considerar

Para lograr la eficiencia de un plan de mantenimiento preventivo, es necesario mejorar la seguridad y reducir al mínimo las fallas en los sistemas eléctricos de manera consistente acordes a un análisis económico que beneficie a la empresa. Sin embargo existen otros factores que se tratan a continuación de los cuales se debe mejorar.

##### 8.1.1 Entrenamiento y capacitación del personal

Un personal técnico capacitado es el indicado para estar a cargo para la planificación y programación de las tareas del plan de mantenimiento, y el personal que se encargue de realizar las tareas debe ser entrenado para entender los peligros y las lesiones que puede ocasionar la energía eléctrica.

Además el entrenamiento también debe estar dirigido para entender las prácticas y procedimientos de trabajos exigidos en relación a la seguridad. Los entrenamientos pueden ser teóricos en una sala y práctico en el trabajo. De acuerdo a la NFPA 70B, el personal técnico debe estar entrenado y tener conocimiento en lo siguiente:

- La construcción y operación de los equipos.
- Métodos específicos de trabajo.
- Riesgo eléctrico que pueden presentarse con un equipo o método de trabajo específico.
- Uso apropiado de técnicas preventivas especiales, de equipo de protección personal, de aislamiento y protección de materiales, y de equipos de herramientas aisladas y de prueba.
- Habilidad y técnica necesarias para distinguir piezas energizadas expuestas de otra parte del equipo.
- Habilidad y técnica necesaria para determinar la tensión nominal de las partes energizadas expuestas.
- Proceso de toma de decisiones necesario para determinar el grado del peligro.
- Planificación del trabajo preciso para realizar la tarea en forma segura.
- Autodisciplina necesaria para mantener un ambiente de trabajo seguro.
- Mantener un registro del entrenamiento de cada técnico.

### **8.1.2 Levantamiento de información, inspección y análisis de datos**

Todo el generador debe tener una inspección y una evaluación íntegra que permita al personal técnico a cargo de mantenimiento tener una idea apropiada de cómo, dónde y cuándo cada parte y componente del equipo debe estar incluido en el plan de mantenimiento. Además de determinar las condiciones físicas del equipo, la inspección debe determinar las condiciones operativas del equipo, y como el nivel de carga de trabajo podría afectar la frecuencia del mantenimiento.

Otro tema que es importante que se debe analizar es las condiciones medioambientales del sitio donde se encuentra el equipo, debido a que podría afectar la frecuencia del mantenimiento.

En el transcurso de la inspección, se deben revisar las condiciones de los dispositivos de protección eléctrica como son el caso de fusibles, interruptores automáticos, relé de protección, entre otros. Estos dispositivos de protección son considerados como válvulas de seguridad de un sistema eléctrico y por lo tanto el correcto funcionamiento garantizará la seguridad del personal técnico, la protección del equipo y la reducción de pérdidas económicas.

### **8.2 Planificación y desarrollo del mantenimiento**

El propósito de los planes de mantenimiento como se había indicado anteriormente es la de reducir los riesgos, fallas o mal funcionamiento de los equipos eléctricos, en este caso el generador; para la planificación y desarrollo del mantenimiento se deben considerar 4 pasos básicos:

- Recopilar todos los datos de los sistemas y equipos.
- Determinar qué equipos son los más críticos
- Desarrollar un sistema de supervisión
- Definir el personal necesario, interno y externo.

Para poder implementar y realizar el plan de mantenimiento es recomendable que una sola persona asuma la responsabilidad de la implementación. Al responsable se le debe otorgar la autoridad para la realización del trabajo y debe contar con la cooperación de las demás áreas

involucradas (como gerencia, producción, etc.) esta persona responsable designada para para dirigir el plan de mantenimiento debería estar calificada con las siguientes competencias:

- Competencia técnica, es decir, tener los amplios conocimientos en todos los aspectos de mantenimiento eléctrico, acordes con la educación, el entrenamiento, y la experiencia.
- Habilidades administrativas y de supervisión, es decir, tener las habilidades para la planificación y desarrollo de objetivos de amplio alcance para así lograr resultados específicos.

El supervisor del mantenimiento encargado de ejecutar el plan de mantenimiento debe tener comunicación con las personas responsables de cada actividad dentro del plan de mantenimiento.

Cada persona responsable de realizar una tarea o supervisar un grupo de trabajo deberá contar con las siguientes herramientas:

- Copias de todos los procedimientos de trabajo, inspección y pruebas.
- Diagramas unifilares y de conexiónado.
- Diagramas esquemáticos.
- Registro completo de los datos de rotulación.
- Catálogo de los fabricantes.
- Suministro de formularios de informe.
- Equipos de protección personal en buen estado
- Usos de los implementos de seguridad como son extintores, mantas dieléctricas
- Manejo de software
- Históricos de los mantenimientos
- Listado de repuestos disponibles
- Procedimientos de cada empresa
- Políticas de seguridad e higiene de cada empresa

### **8.3 Métodos y procedimientos de trabajo**

Los procedimientos son conjunto de acciones de forma consecutiva realizada para lograr un objetivo; el personal que realiza el mantenimiento debe desarrollar sus propios procedimientos de trabajo, aunque existen equipos que ya disponen de procedimientos para calibración y pruebas proporcionados por el fabricante, la aplicación de estos es probablemente única.

Los procedimientos de inspección, prueba y reparación pueden incluir una variedad de formularios lo suficientemente simples y resistentes para ser utilizados en el área de trabajo, que por lo general es un taller.

#### **8.4 Análisis del procedimiento de seguridad para el mantenimiento**

Los generadores antes de comenzar la fase de prueba se deberán examinar de acuerdo a las recomendaciones del fabricante para detectar condiciones inseguras que debe ser corregida antes de proceder con las respectivas pruebas. Es importante que todo el Equipo de Protección Personal (EPP) se encuentre en buenas condiciones y disponible para ser utilizado el momento que se lo requiera.

Además de los EPP, se deberá proveer y exigir al personal el uso de casco (si amerita), gafas o pantallas faciales, protección auditiva (acordes a los niveles de decibeles), mascarilla, arnés y líneas de vida u otro equipo adecuado para el trabajo a realizar.

##### **8.4.1 Bloqueo y etiquetado de los equipos**

Las etiquetas son dispositivos de señalización, que indica una advertencia o la prohibición de “NO OPERAR” o “NO ENERGIZAR”, cuando se realice un trabajo en el equipo, es decir las etiquetas son colocadas para aislamiento o bloqueo de fuentes de alimentación eléctrica. El propósito del bloqueo y etiquetado para equipos que están fuera de servicio, inspeccionándose o en mantenimiento es de prevenir accidentes al personal. Para lograr esto, es necesario identificar las fuentes de alimentación, incluido los posibles retornos de energía a través de tablero de transferencia conectados al sistema donde se encuentra instalado el equipo e informar a los supervisores del área donde se realizará el trabajo.

Los dispositivos de aislamiento como candados de seguridad y etiquetas deben presentar las siguientes características de acuerdo al procedimiento de seguridad LOTO (Lock –Out / Tag-Out):

- Resistentes a las condiciones ambientales como el calor, la humedad y sustancias corrosivas que se encuentren presentes en el área de trabajo.

- Normalización y estandarización de los colores utilizados para identificar los dispositivos de seguridad. Cuando se realiza un mantenimiento eléctrico de un equipo se dispondrá de un candado de color rojo como se muestra en la figura 8.1.
- Las etiquetas que se utilicen deben estar sujetas a los dispositivos de seguridad (candados u otros), además la identificación en las etiquetas debe estar clara y legible, sin rasgo de deterioro.
- Las etiquetas deben ser reutilizables y no se podrán remover accidentalmente.

Durante el mantenimiento de un equipo es de suma importancia que las personas que están realizando el mantenimiento se aseguren que el equipo no se pueda activar de forma accidental, de igual forma que no libere energía almacenada, para estos los técnicos o el personal que va a realizar la tarea deberá tener en cuentas estas recomendaciones.

La norma 29 de la OSHA establece que las personas que realizan estas actividades deben estar protegidos contra el arranque inesperado de la máquina, por lo que se debe contar con procedimiento de operación y mantenimiento de cada equipo, las violaciones a las recomendaciones de LOTO son sancionada en las empresas, para eliminar estos riesgo, las empresas deben implementar programas de bloqueo y etiquetado.



**Figura 8.1: Candados de seguridad.**  
Tomado de Brady.

## 8.5 Elaboración de los permisos de trabajo

Los permisos de trabajo son documentos con una secuencia de actividades que permiten identificar y catalogar los riesgos que existen al realizar un trabajo en específico, preservando la integridad de las personas, instalaciones y del ambiente.

Cada empresa dispone de su formato de permiso de trabajo, sin embargo, los riesgos que se evalúan es estandarizado. En la figura 8.2 se adjunta un formato orientativo de un permiso de trabajo en el cual se incluye cada una de las tareas que son críticas, los tiempos que se tiene proyectado realizar el trabajo, la renovación del mismo y el tipo de riesgo que va de acorde al trabajo a realizar, estos permisos están enumerados a fin de seguir una secuencia de trabajo, y el personal de seguridad deberá verificar que se cumplan cada una de las recomendaciones escritas en el permiso de trabajo, la violación de una de estas actividades es sancionada.

En este formato de permiso de trabajo se han incluido los trabajos en caliente que comprenden todas las operaciones con generación de calor, producción de chispas, llamas o elevadas temperaturas en proximidad de líquidos o gases inflamables; de recipientes que contengan o hayan contenido gases licuados, etc. Por ejemplo: soldadura y oxicorte, emplomado, esmerilado, taladrado, etc. Los trabajos en frío los cuales son las operaciones que normalmente se realizan sin generar calor pero que se efectúan en instalaciones por las que circulan o en las que se almacenan fluidos peligrosos. También comprenden trabajos tales como: reparaciones en las bombas de trasvase de líquidos corrosivos, sustitución de tuberías, etc.

Este formato pretende facilitar que se efectúe una revisión del estado de las instalaciones, dejando plasmado de forma simple a modo de "listado de control" la contestación a una serie de preguntas mediante la colocación de marcas en su correspondiente casillero. Las respuestas deben ser concretas y sin ambigüedades. No obstante se deja abierta la posibilidad de introducir, ocasionalmente, aclaraciones o indicaciones especiales.



PERMISO DE TRABAJO										
N° PERMISO DE TRABAJO <input style="width: 100px;" type="text"/>										
<b>1.1 DATOS DE EJECUCIÓN</b>										
FECHA:	HORA INICIO:	HORA DE FIN:	EJECUTOR:		EMPRESA:		CONTRATISTA:	EMPRESA CONTRATISTA:		
<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 100px;" type="text"/>		<input style="width: 100px;" type="text"/>		<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 100px;" type="text"/>		
SITIO OPERATIVO:					<b>1.2 EXTENSIÓN DEL PERMISO DE TRABAJO</b>					
TRABAJO A REALIZAR:					FECHA	HORA	FIRMA APROBADOR			
ÁREA/PLANTA/EQUIPO:					<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 100px;" type="text"/>			
<i>Nota: Seleccione con: Si o No</i>										
<b>2. TIPOS DE TRABAJO</b>					<b>3. INFORMACIÓN DE GESTIÓN DE QUÍMICOS Y DESECHOS</b>					
<input type="checkbox"/> Trabajo en Caliente	<input type="checkbox"/> Trabajo en Atmosferas Peligrosas o Inflamables	<input type="checkbox"/> Trabajos Eléctricos	<input type="checkbox"/> Trabajo de Izaje	<input type="checkbox"/> Trabajo en Altura	<input type="checkbox"/> Trabajos en Excavaciones	<input type="checkbox"/> Trabajos en espacios confinados	<input type="checkbox"/> Trabajos en Frío	<input type="checkbox"/> Generación de Residuos Peligrosos	<input type="checkbox"/> Inflamable	<input type="checkbox"/> Contaminante
<input type="checkbox"/> Otro (Especificar): <input style="width: 100px;" type="text"/>								<input type="checkbox"/> Generación de Residuos no peligrosos	<input type="checkbox"/> Orgánicos	<input type="checkbox"/> Inorgánicos
								<input type="checkbox"/> Generación de residuos Líquidos	<input type="checkbox"/> Aceitoso	<input type="checkbox"/> Oleoso
								<input type="checkbox"/> Otros	<input type="checkbox"/> Reciclable	<input type="checkbox"/> Reutilizable
<b>4. VERIFICACION ANTES DE INICIAR EL TRABAJO</b>										
<b>4.1 PRECAUCIONES GENERALES</b>			<b>Uso de Elementos Protección Personal</b>			<b>Monitoreo de atmósferas (Responsable SSA)</b>				
<input type="checkbox"/> ¿Trabajos con equipos en operación?	<input type="checkbox"/> Casco	<input type="checkbox"/> Protección auditiva	HORA	OXIGENO	L.E.L.	H2S	CO	OTRO:		
<input type="checkbox"/> ¿Personal responsable del Área notificado?	<input type="checkbox"/> Guantes	<input type="checkbox"/> Calzado punta de acero								
<input type="checkbox"/> ¿Vías de escape identificadas y libres de obstáculos?	<input type="checkbox"/> Gafas	<input type="checkbox"/> Pantalla Facial								
<input type="checkbox"/> ¿Área señalizada y protegida?	<input type="checkbox"/> Mascarilla	<input type="checkbox"/> Arnés y línea de vida								
<input type="checkbox"/> ¿Personal recibió inducción de seguridad?	<input type="checkbox"/> Otros									
<input type="checkbox"/> ¿Se requiere Equipo de Rescate?	<input type="checkbox"/> ¿Se requiere supervisión permanente?									
<input type="checkbox"/> ¿Se requiere Verificación de Atmosferas inflamables?										
<input type="checkbox"/> ¿Personal competente en el trabajo a realizar?										
<input type="checkbox"/> ¿Se requiere Equipos con tarjeta de bloqueo?	Nombre	Firma	Nombre	Firma						
<input type="checkbox"/> ¿Los equipos están de medición de gases están Calibrado?	Persona asignada a la Supervisión		Responsable de la medición							
<b>4.2 TRABAJO EN CALIENTE</b>			<b>4.3 TRABAJOS ELÉCTRICOS</b>			<b>4.4 TRABAJO EN ALTURA</b>				
<input type="checkbox"/> ¿Sistema contra incendios disponible y operativo?	<input type="checkbox"/> ¿Trabajo con tensión?	<input type="checkbox"/> ¿Se ha llenado la Lista de Chequeo para andamios?	<input type="checkbox"/> ¿Extintor de incendios disponible y operativo?	<input type="checkbox"/> ¿Circuitos vivos protegidos o identificados?	<input type="checkbox"/> ¿Se ha llenado la Lista de Chequeo para Escaleras?	<input type="checkbox"/> ¿Se ha llenado la Lista de Chequeo del Arnés de Seguridad?	<input type="checkbox"/> ¿Personal tiene EPP de trabajo en altura ?	<input type="checkbox"/> ¿Equipo de Protección personal certificado?		
<input type="checkbox"/> ¿Equipos de soldadura en buen estado?	<input type="checkbox"/> ¿Interruptores principales bloqueados y etiquetados?	<input type="checkbox"/> ¿Se ha llenado la Lista de Chequeo del Arnés de Seguridad?	<input type="checkbox"/> ¿Material combustible retirado o protegido?	<input type="checkbox"/> ¿Herramientas especiales disponibles y en buen estado?	<input type="checkbox"/> ¿Procedimiento de trabajo en alturas?	<input type="checkbox"/> ¿Puntos de anclaje revisados?	<input type="checkbox"/> ¿Equipo de Protección personal certificado?	<input type="checkbox"/> ¿Personal capacitado para trabajo en altura?		
<input type="checkbox"/> ¿Pisos humedecidos o protegidos (cuando aplica)?	<input type="checkbox"/> ¿EPP especiales disponibles y en buen estado?	<input type="checkbox"/> ¿Se ha llenado la Lista de Chequeo de Elevadores Telescópicos?	<input type="checkbox"/> ¿Monitoreo de Atmosferas inflamables?	<input type="checkbox"/> ¿Técnico con certificación?	<input type="checkbox"/> ¿Procedimiento de trabajo en alturas?	<input type="checkbox"/> ¿Equipos de izaje apropiados y en buen estado?	<input type="checkbox"/> ¿Se ha llenado la Lista de Chequeo de Elevadores Telescópicos?	<input type="checkbox"/> ¿Se tiene el aprobación medica de trabajo peligroso?		
<input type="checkbox"/> ¿Canaletas, trincheras, ductos protegidos?	<input type="checkbox"/> ¿Equipo contra incendios Tipo C disponible?		<input type="checkbox"/> ¿Pantallas y protecciones para chispas colocadas?	<input type="checkbox"/> ¿Procedimiento de reconexión?						
<input type="checkbox"/> ¿El equipo está aislado con válvulas o juntas ciegas?	<input type="checkbox"/> ¿Equipo para medir corriente y voltaje disponible y en buen estado?		<input type="checkbox"/> ¿Áreas sin materiales combustibles ?	<input type="checkbox"/> ¿Los equipos se encuentran conectados a tierra o con circuitos ICTFT?						
<b>4.5 TRABAJOS EN ESPACIOS CONFINADOS Y/O ATMOSFERAS PELIGROSAS O INFLAMABLES</b>					<b>4.6 BLOQUEO Y ETIQUETADO</b>					
<input type="checkbox"/> ¿Espacio confinado purgado y drenado? (líquido)	<input type="checkbox"/> ¿Se requiere guardia en el exterior?	<input type="checkbox"/> ¿Se requiere bloqueo de equipos eléctricos?	<input type="checkbox"/> ¿Espacio confinado ventilado? (gas)	<input type="checkbox"/> ¿Equipos de comunicación disponibles y en buen estado?	<input type="checkbox"/> ¿Se requiere bloqueos mecánicos?	<input type="checkbox"/> ¿Se colocaron los bloqueos?				
<input type="checkbox"/> ¿Concentración de oxígeno entre 19,5 y 23,5%? (límites seguros)	<input type="checkbox"/> ¿Se requiere equipo de respiración autónomo? (resul. monitoreo)		<input type="checkbox"/> ¿Nivel de explosividad igual o inferior al 5% del L.E.L.?	<input type="checkbox"/> ¿Personal cuenta con equipo de respiración con filtros apropiados?			# Tarjeta	Aislado por:	Firma	
<input type="checkbox"/> ¿Concentración de gases tóxicos por debajo del TLV?	<input type="checkbox"/> ¿Iluminación disponible, a prueba de explosión y en buen estado?		<input type="checkbox"/> ¿Se determino la dirección del viento? /Dirección: <input style="width: 50px;" type="text"/>	<input type="checkbox"/> ¿El equipo está aislado con válvulas o juntas ciegas?						
<input type="checkbox"/> ¿Señalización específica ?	<input type="checkbox"/> ¿Equipos y herramientas a prueba de explosión?		<input type="checkbox"/> ¿Procedimiento de trabajo en espacios confinados?	<input type="checkbox"/> ¿Se tiene el aprobación medica de trabajo peligroso?						

Figura 8.2 Formato orientativo de permiso de trabajo.

## **CAPÍTULO 9**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **9.1 Conclusiones**

Las plantas de generación térmica ocasionan mayor contaminación ambiental que las demás plantas de generación eléctrica.

Los generadores de potencia mayor a 1 MW, producen mayor desgaste en sus partes móviles; siendo éstas las más críticas dentro del mantenimiento del equipo.

Las normativas eléctricas y de seguridad garantizan la eficiencia de los planes de mantenimiento preventivos de los equipos.

Los programas de mantenimiento preventivo optimizan los tiempos y recursos en las empresas e influyen en la productividad de las plantas.

Las pruebas eléctricas en el generador determinan el estado de los devanados del rotor y estator, con lo que se puede obtener un diagnóstico más preciso de las condiciones operativas del equipo.

## **9.2 Recomendaciones**

Para asegurar el correcto funcionamiento de los generadores y así evitar cortes de energía no programado, es necesario realizar el mantenimiento periódico acorde al plan de mantenimiento.

Los registros de pruebas eléctricas, deberán ser analizados y evaluados para determinar las condiciones eléctricas del equipo además de guardar la información para futuras intervenciones del equipo.

El personal técnico, deberá ser capacitado y adiestrado en el manejo de software especializado de mantenimiento que facilite planificación del mantenimiento.

En cada actividad de mantenimiento que se realice al generador, se deberá incluir temas de seguridad, daño ambiental, orden y limpieza, además el control en el área de trabajo de los niveles de ruidos permisibles para el ser humano que se encuentran en la normativa OSHA.

Se deberá contar con un amplio stock de materiales que puedan satisfacer las necesidades que se vayan presentando durante el mantenimiento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Banco Central del Ecuador. (2017). *Reporte del sector Petrolero*. Quito: S/N.
- Boyce, M. P. (2012). *Gas Turbine Engineering*. Oxford: Elsevier.
- Calloni, J. C. (2006). *Alta Tensión*. Buenos Aires: Alsina.
- Chapman, S. J. (2012). *Máquinas Eléctricas*. Mexico DF: Mc Graw Hill.
- EASA. (2005). *Norma EASA AR100-2005*. St. Louis: EASA.
- Empresa Eléctrica Pública de Guayaquil. (2012). *NORMAS DE ACOMETIDAS, CUARTO DE TRANSFORMADORES Y SISTEMAS DE MEDICIÓN, NATSIM*. Guayaquil: S/N.
- Fink, D. G. (2000). *MANUAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, DECIMO TERCERA EDICIÓN*. MEXICO DF: MC GRAW HILL.
- Gobierno Nacional del Ecuador. (2015). *LEY ORGÁNICA DEL SERVICIO PÚBLICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA*. Quito: Editora Nacional.
- Harper, E. (2004). *LIBRO PRÁCTICO DE LOS GENERADORES, TRANSFORMADORES Y MOTORES ELÉCTRICOS*. Mexico DF: Limusa.
- Harper, E. (2015). *ELEMENTOS DE DISEÑO DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS*. Mexico DF: Limusa.
- IEEE std 43. (2006). *IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery*. New York: IEEE.
- IEEE std 67. (2005). *IEEE Guide for Operation and Maintenance of Turbine Generators*. New York: IEEE.
- IEEE std 95. (2002). *IEEE Recommended Practice for Insulation Testing of AC Electric Machinery (2300 V and Above) With High Direct Voltage*. New York: IEEE.

- IEEE std C37.2. (2008). *IEEE Standard for Electrical Power System Device Function Numbers, Acronyms, and Contact Designations*. New York: IEEE.
- Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España. (1998). *NTP 481: Orden y limpieza de lugares de trabajo*. Madrid: S/N.
- Morillo, A. d. (2014). *Seguridad y prevención de riesgos en el almacén*. España: Paraninfo.
- NEMA MG1. (1998). *Motors and Generators*. Rosslyn, Virginia: NEMA Standards Publication.
- NFPA 70B, N. (2016). *Prácticas recomendadas para el mantenimiento de equipos eléctricos*. Quincy, Massachusetts: NFPA.
- Ponce, P. (2017). *MÁQUINAS ELÉCTRICAS, TÉCNICAS MODERNAS DE CONTROL*. Colombia: Alfaomega.
- WEG. (2003). *INSTALLATION AND MAINTENANCE MANUAL SYNCHRONOUS GENERATORS S LINE*. Jaraguá do Sul: S/N.

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Pine Tobar, William Russell**, con C.C: # 0921240107 autor del trabajo de titulación **Análisis del Plan de Mantenimiento Preventivo para generadores de turbina a gas de hasta 5 MW con base a la norma IEEE std. 67**, previo a la obtención del título de **Ingeniero en Eléctrico-Mecánica** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 19 de marzo de 2019

f. \_\_\_\_\_

Nombre: **Pine Tobar, William Russell**

C.C: **0921240107**



## REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

### FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	Análisis del Plan de Mantenimiento Preventivo para generadores de turbina a gas de hasta 5 MW con base a la norma IEEE std. 67		
<b>AUTOR(ES)</b>	William Russell, Pine Tobar		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Ing. Raúl, Montenegro Tejada, M.Sc.		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería en Eléctrico Mecánica con mención en gestión empresarial industrial		
<b>TITULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero en Eléctrico-Mecánica		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>		<b>No. PÁGINAS:</b>	
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Generación, Mantenimiento, seguridad		
<b>PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:</b>	Generador, mantenimiento, eficiencia, centrales, energía, normativas		
<b>RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):</b>			
<p>Las centrales de generación térmicas a lo largo del tiempo han demostrado ser de mayor eficiencia en la industria energética de país, muy a pesar de la contaminación ambiental que genera su funcionamiento, además presentan mayores ventajas sobre las centrales hidroeléctricas, que las hacen de mayor rentabilidad; sin embargo para mantener su eficiencia es necesario contar con un plan de mantenimiento eficiente que garantice la confiabilidad de su principal componente como es el generador eléctrico y por consiguiente la estabilidad del sistema eléctrico; con base a lo anterior la comunidad internacional ha logrado la estandarización de recomendaciones y procedimientos de mantenimiento que han servido como guía para la mejora en los programas de mantenimiento del generador. Se estima que los gastos de mantenimiento de los equipos en la industria ocupan el 40% del presupuesto anual de una empresa, es así que, siendo tan importante el mantenimiento de los equipos dentro del presupuesto de una industria, los planes de mantenimientos también constituyen una mejora en la eficiencia de la producción debido a los tiempos de paralización de los equipos ocasionado por problemas o falta de mantenimiento. El poder analizar los fallos que han ocurrido o que se tiene la probabilidad que ocurran, además de los altos costos de la pérdidas de equipos, hacen posible la fiabilidad de un plan de mantenimiento, con base a normativas internacional vigentes, este proyecto aporta acciones a seguir para el correcto plan de mantenimiento de los generadores eléctricos de las centrales de generación térmica</p>			
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593-984887655	<b>E-mail:</b> pinewilly@hotmail.com	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::</b>	<b>Nombre:</b> Philco Asqui, Luis Orlando		
	<b>Teléfono:</b> +593-4-220933 ext 2007		
	<b>E-mail:</b> luis.philco@cu.ucsg.edu.ec/ute@cu.ucsg.edu.ec		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			