

INGENIERÍA ELÉCTRICA
“REPORTE DE RESIDENCIA PROFESIONAL”

NOMBRE DEL PROYECTO:

**“MANTENIMIENTO MENOR A UNA UNIDAD GENERADORA DE
180 MW Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA C.H BELISARIO
DOMÍNGUEZ**

ALUMNNO:

Rubén Martínez Castro

ASESOR INTERNO:

M. en C. Karlos Velázquez Moreno

ASESOR EXTERNO:

Ing. Javier Alvarado García

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas junio de 2015



INDICE

CAPITULO I

1.1	Introducción.....	4
1.2	Problemática.....	5
1.3	Justificación.....	6
1.4	Objetivos.....	7
1.5	Alcances y Limitaciones.....	7

CAPITULO II

2.1	Caracterización Del Área En Que Se Participó.....	8
2.1.1	Antecedentes de la empresa.....	8
2.1.2	Organigrama de la Empresa.....	14
2.1.3	Misión, Visión y Valores.....	14
2.1.4	Descripción Del Área Donde Se Realizó El Proyecto.....	15

CAPITULO III

3.1	Fundamento Teórico	17
3.1.1	Mantenimiento.....	17
3.2	Tipos de Centrales.....	18
3.3	Aparatos de Medición.....	21
3.3.1	Medidor de Aislamiento.....	21
3.3.2	Multímetro.....	21
3.3.3	Amperímetro de Gancho.....	22
3.4	Generador Eléctrico.....	22
3.4.1	Rotor.....	24
3.4.2	Estator.....	28



CAPITULO IV

4.1 Mantenimiento A Estator del Generador.....	32
4.1.1 Pruebas Realizadas Al Estator.....	32
4.1.2 Actividades Relevantes del Estator.....	37
4.1.3 Materiales aislantes utilizados en la reparación de generadores Hidroeléctricos.....	45
4.2 Pruebas Realizadas al Rotor del Generador.....	53
4.3 Mantenimiento a Equipos Auxiliares.....	63

CAPITULO V

5.1 Resultados.....	65
5.2 Conclusiones y recomendaciones.....	75

REFERENCIAS

Anexo A DIAGRAMA UNIFILAR SUBESTACIÓN ANGOSTURA

Anexo B DIAGRAMA DE POLOS DEL GENERADOR

Anexo C REPORTE FOTOGRAFICO



CAPITULO I

1.1 Introducción

El mantenimiento del equipo eléctrico que conforma las centrales hidroeléctricas, es una parte fundamental que aseguran el funcionamiento correcto del sistema, garantizando su correcta operación y mejorando la calidad y confiabilidad de la energía eléctrica.

Hoy en día, el mantenimiento eléctrico es necesario para muchos aspectos en la vida diaria, y que está exenta al mantenimiento eléctrico, de una forma u otra, ya sea ésta, una pequeña, mediana o gran empresa en cuanto a instalaciones tenga disponible y en funcionamiento, nos indica que el mantenimiento eléctrico debe ser continuo.

Dentro de las centrales se conocen varios tipos de mantenimientos, pero solo dos tipos de mantenimientos son los más utilizados, los cuales son llamados por mantenimiento menor y mantenimiento mayor, ya que para el personal de trabajo a los equipos principales se les da el mantenimiento de rutina con fechas establecidas, estas son conocidas como mantenimiento menor y cuando el equipo empieza a presentar fallas continuamente, es ahí, donde se fijan las fechas para darle un mantenimiento mayor, ya que si no se da ese mantenimiento, la empresa y la central corren el peligro de dejar de suministrar la energía eléctrica.

Actualmente, la técnica de mantenimiento eléctrico debe desarrollarse necesariamente día a día, con la finalidad de optimizar la calidad de servicio entregado a los clientes, reducir costos y tiempos de intervención sobre cualquier instalación de la empresa que se pudiera ver afectada por eventos fortuitos o provocados por terceros.

El presente trabajo pretende mostrar una serie de pasos realizados en la empresa de CFE en la central hidroeléctrica Belisario Domínguez (angostura), para llevar a cabo un mantenimiento menor de una unidad generadora. También se analiza teóricamente todo lo relacionado con el proyecto, así como el mantenimiento que se realizó anteriormente y con base en eso se pretende crear una metodología para llevar a cabo un mantenimiento menor que sea confiable para una unidad generadora.



1.2 Problemática

La casa de máquinas de la central hidroeléctrica Belisario Domínguez, consta de 5 generadores, los cuales a su vez, tienen otros equipos trabajando en conjunto. Cada componente o equipo está en constante funcionamiento. Cuando el generador está en funcionamiento, y esa es la razón por la que el mantenimiento en ellos es trascendental, motivo por el cual se ve necesario la actualización o revisión de la metodología de mantenimiento para el generador y los equipos del sistema.

La energía hidráulica se obtiene de la caída del agua desde cierta altura a un nivel inferior lo que provoca el movimiento de ruedas hidráulicas o turbinas. Dichas turbinas o ruedas, a su vez, provocan un movimiento cinético de rotación, que se transmite a un generador eléctrico, y éste produce energía eléctrica. A la energía que proviene del agua se le llama Energía Hidráulica, y del sitio de dónde se obtiene, Central Hidroeléctrica.

Las centrales hidroeléctricas son estaciones desde las cuales se aprovecha la energía de un salto de agua para convertirlo en energía eléctrica. Hay diferentes tipos de centrales, dependiendo del servicio que den en el consumo global de la red.

Las centrales hidroeléctricas, si bien son fuentes de energía renovable, no son totalmente favorables para el medio ambiente. Durante la construcción estas centrales se rompe la armonía del medio ambiente es decir se altera el ciclo que lleva normalmente; Una evidencia clara de esto es la tala de árboles que se efectúa para mayor facilidad y traslado de materiales y paso de vehículos, la construcción de represas o pantanos artificiales altera la vida de la fauna acuática, ya que impide el remonte de los peces y estos comienzan a tener problemas en su ciclo reproductivo, aumentando así la disminución de la población acuática, todo esto además de que muchas veces deben trasladarse pueblos enteros para la realización de estos proyectos.

Los elementos más característicos de una central son la presa, los conductos de agua, la sala de máquinas, los transformadores y el parque de distribución

Se propone hacer un análisis del mantenimiento menor y pruebas desarrollado en el periodo de febrero-mayo y con base en eso. Es decir, en base a las pruebas realizadas, y el mantenimiento realizado a todas las partes y equipos que conforman el generador, se compararan resultados para el siguiente mantenimiento y observar la mejora de la unidad generadora.



1.3 Justificación

La central hidroeléctrica Belisario Domínguez, es una de las 5 centrales más importantes que operan en el estado de Chiapas, estas se encargan de la generación de energía eléctrica y de igual forma es el punto de partida hacia la transmisión de la energía producida, es decir, gracias a que están interconectadas a sistema interconectado nacional.

Esta central se mantiene operando de forma constante las 24 horas del día los 365 días del año, pero cabe recalcar que no siempre se mantienen trabajando todos sus generadores, esto dependerán de la demanda que se produzca. De modo que una parada imprevista significaría, mayor carga de trabajo hacia otros generadores u otras centrales. De allí la importancia de mantener en un estado saludable y productivo a todos los generadores, así como sus equipos auxiliares.

Las centrales hidroeléctricas no producen emisiones a la atmósfera, pero pueden afectar la calidad del agua y de los hábitats de vida silvestre. Por lo tanto, las centrales hidroeléctricas están siendo diseñados y operados para minimizar los impactos sobre el río. Algunos de ellos están desviando una parte del flujo alrededor de sus presas para imitar el flujo natural del río. Pero mientras esto mejora del hábitat fluvial de la vida silvestre, sino que también reduce la producción de la planta de energía. Además, escalas de peces y otros enfoques, tales como la mejora de las turbinas, se están utilizando para ayudar a los peces con la migración y reducir el número de peces muertos.

Se pretende analizar las actividades y pruebas del mantenimiento menor, el cual es realizado en un periodo de 6 meses, consiguiendo que cada unidad generadora tenga un promedio de 3 años entre cada mantenimiento menor. Este análisis está especialmente diseñado para los generadores de la central Belisario Domínguez.



1.4 Objetivos

Analizar resultados, pruebas y ajustes, en el orden correspondiente dentro del mantenimiento programado de la unidad generadora.

Objetivo Específico:

- Dar seguimiento a todas las actividades realizadas en el mantenimiento menor de la unidad generadora de la central hidroeléctrica.
- Dar seguimiento de las pruebas realizadas, tanto a la parte del rotor, estator y equipos auxiliares, y así mismo a los resultados obtenidos en las pruebas.

1.5 Alcances y limitaciones

Por cuestiones de programación de la central, el mantenimiento menor, se basará en la unidad generadora de la central hidroeléctrica Belisario Domínguez. Por consiguiente, este programa solo será recomendado su aplicación a los generadores de la misma central.

Ya que estos generadores, cuentan con la misma capacidad de generación, así como las mismas especificaciones técnicas, equipos auxiliares y condiciones de operación.



CAPITULO II

2.1 Caracterización Del Área En Que Se Participó

2.1.1 Antecedentes de la empresa

C. H. BELISARIO DOMINGUEZ

La C.H. Belisario Domínguez ubicada en el contexto de la Gerencia Regional de Producción Sureste y asignada a la Subgerencia Regional de Generación Hidroeléctrica Grijalva, es una de las cuatro grandes centrales que aprovechan el caudal hidráulico del río Grijalva. En virtud de su gran capacidad de embalse y ser la primera en la cascada de la cuenca del Grijalva, esta central resulta estratégica para el control de los embalses del resto de las centrales que se encuentran río abajo y mediante un buen programa de control de los niveles del vaso se asegura la generación del sistema Grijalva.

La planta es totalmente subterránea y tiene cinco unidades de 180 000KW cada una. Para la realización del plan integral del Grijalva, fue necesario construir el aprovechamiento de la angostura, que reúne un conjunto de características que lo sitúan como elemento básico para la explotación del río Grijalva y que se puede emplear ventajosamente en la generación de energía, dado que su vaso de almacenamiento regulariza en promedio el escurrimiento de 9 700 millones de m³ anuales.

HIDROLOGÍA

La cuenca que alimenta el embalse de la angostura está limitada por una serie de contrafuertes que la separan de la cuenca del Usumacinta, formadas por las sierras de independencia y san Cristóbal: entre estos dos contrafuertes y la sierra madre del sur alojado el altiplano chiapaneco.

En la región son frecuentes los ciclones tropicales que descargan inmensas lluvias generadoras de avenidas extraordinarias en los ríos Grijalva y Usumacinta los cuales afectan principal mente a las zonas costeras.

GENERALIDADES SOBRE LAS CENTRALES HIDROELECTRICAS

La función de una central hidroeléctrica es utilizar la energía potencial del agua almacenada y convertirla, primero en energía mecánica y luego en energía eléctrica.



Un sistema de captación de agua provoca un desnivel que origina una cierta energía potencial acumulada, el paso del agua por la turbina desarrolla en la misma un movimiento giratorio que acciona el alternador y produce la corriente eléctrica.

Para mantener una salida constante de voltaje en una instalación hidroeléctrica la velocidad de la turbina debe mantenerse constante independientemente de las vibraciones de la presión del agua que se mueve, esto requiere gran número de controles que tanto la turbina de Francis como la de Kaplan varían el Angulo de las palas en instalaciones de rueda pelton. El flujo de agua se controla abriendo y cerrando las boquillas eyectoras.

OBRA DE TOMA

La obra de toma comprende 10 compuertas accionadas cada una por un servomotor oleo dinámico a pistón. Cada servomotor está alimentado por una central independiente compuesta por una electrobomba de eje vertical con sus dispositivos de seguridad y control.

Cuando la compuerta está arriba (abierta) el pistón esta sostenido por el aceite de presión contenido en la capa inferior del cilindro, mientras que un microswitch automático recobra la bajada (12cm) de compuerta debido a la perdida de aceite a través de los empaques.

Si este dispositivo no opera, se tiene instalado un doble contacto para señalar luminosa y sonora de alarma en CA y CD en tableros de control de casa de máquinas.

El cierre de compuertas se produce en un cierre total de 20 seg. Y ocurre al quitar la presión del lado de apertura, cayendo por su propio peso amortiguando la velocidad de descenso en tres etapas consecutivas.

La apertura se produce al inyectan aceite a presión al cilindro inferior manteniendo una solo velocidad de subida. El tiempo total de izaje es de 15 min una vez cumplido el permiso "tubería llena".

Las casetas de control se localizan sobre la margen derecha. A la elevación de 543.00m y contienen cada una la central oleo dinámica que hace función a las dos compuertas de cada tubería de presión.

La estructura exterior sobre el vaso es a base de rejillas metálicas de 12 x 27 cada una y dan paso al agua mediante túneles revestidos de concreto de 8.70 m de diámetro por 195.00 m de longitud.



Cada compuerta mide 4.30 m de ancho por 8.90 m de alto y pesa 30.010 kg

La central oleo dinámica es marca CALZONI y los motores para elevar las compuertas son de las siguientes características:

Marca: AEG

Tipo: AM 180

Tensión: 440 V

Corriente: 38 A

Capacidad: 22 KW

Factor de potencia: 0.85

Velocidad: 7.740 r.p.m.

Frecuencia: 60 Hz

CORTINA

La cortina se desplaza sobre caliza blanda a la elevación 396 m formada de enroscamiento con núcleo central de arcilla compactada y parámetro vertical aguas abajo. De filtros y dos zonas de transición grava- arena.

Para su protección se instalaron dos pantallas de concreto integradas con pilotes secantes bajo las ataguías y una pantalla de inyecciones en los empotramientos y en el fondo de la cortina.

El volumen total de materiales empleados es de 4.19×10^6 m³ de los cuales 4×10^6 m³ corresponden a enroscamiento, transiciones y filtro.

El corazón de la cortina está formado de arcilla con un índice de plasticidad entre 15 y 16 y contenido de agua cercano al óptimo.

VASO.

Área de la cuenca: 18 099 Km²

Longitud del embalse: 100 Km

Elevación máxima de partes de agua: 3 200 m



Elevación media de la cuenca: 1 100 a 1 300 m.

Elevación mínima de la cuenca: 413.00m

Precipitación media anual: 1379 mm

Escorrentamiento medio anual: $9.7 \times 10^9 \text{ m}^3$

Escorrentamiento mínimo registrado: $59 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Avenidas

Registrada: $3820 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Diseño para el desvió: $5000 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Máxima extraordinaria (calculada) $23000 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Temperaturas.

Media máxima/ mínima mayo: $39.5^\circ\text{C} - 18.6^\circ\text{C}$

Media máxima / mínima enero: $34.1^\circ\text{C} - 9.2^\circ\text{C}$

Elevación desfogue: 417.50 m.s.n.m.

Almacenamiento total: $18.2 \times 10^9 \text{ m}^3$

N.A.M.E.: 539.50 m.s.n.m

N.A.M.O.: 528.10 m.s.n.m.

N.A min. 500.00 m.s.n.m

GENERADORES

Se encuentra con 5 generadores marca ASEA, acoplados a la flecha vertical de cada una de las turbinas hidráulicas y se localizan a la elevación 4.27.00 dentro de la caverna de casa de máquinas.

Las características principales de los generadores y sus equipos auxiliares, son las siguientes:

Alternador síncrono de eje vertical, trifásico, tipo sombrilla GGS 6500 EK.



Capacidades: continúa a F.P. = 0.95 atrasado, con 60°C máximo de sobrecalentamiento en el estator y en el rotor 191000 KVA.

Continúa a F.P. 0.95 atrasado, con 30°C máximo de sobrecalentamiento en el estator y en el rotor 225000 KVA.

Factor de potencia: 0.95 intensidad atrasada

Tensión: 13 800 V.

Frecuencia: 60 Hz

Velocidad nominal: 128.06 r.p.m.

Velocidad de desbloqueo: 245 r.p.m.

Numero de polos: 56

TURBINAS

Las cinco turbinas de la central son de tipo Francis vertical y se encuentran alojadas en la caverna que forma la case de máquinas localizadas a la elevación 420.30.

Los principales datos técnicos son los siguientes

Marca: Eschaer Wyss

Tipo: Francis vertical.

Potencia: 184 000 KW

Frecuencia: 60 CPS

Gasto: 218 m³/seg.

Caída neta: 91.5 m.

Velocidad: 128.6 r.p.m.

Velocidad de embalsamiento: 245 r.p.m.

Diámetro entrada espiral: 5.70 m

Diámetro entrada rodete: 4.65 m



Diámetro salida rodete: 5.28m

Diámetro flecha: 1.20 m

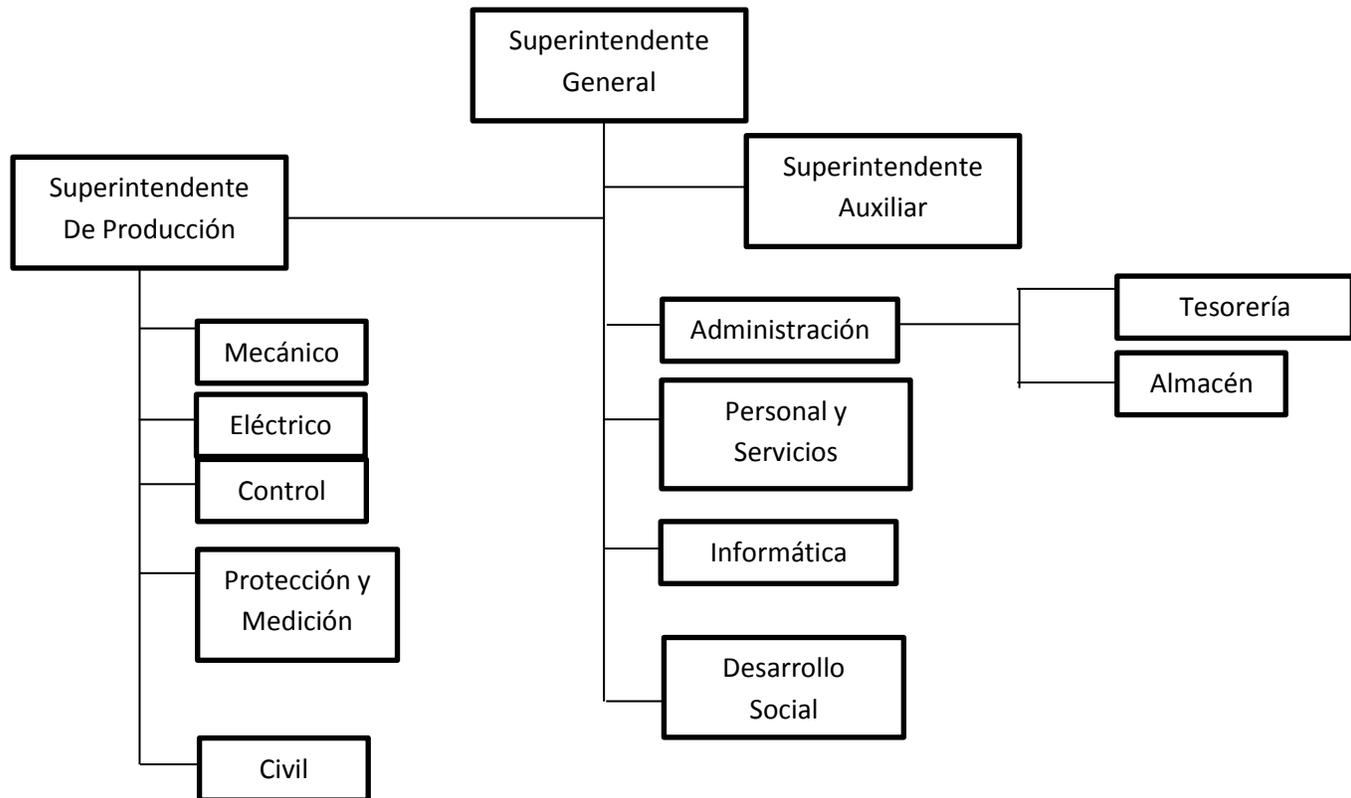
Diámetro chumacera guía: 1.60 m

Material rodete: acero inoxidable

Numero de alavés del rodete: 14

Rotación: en sentido de las manecillas del reloj.

2.1.2 Organigrama de la empresa



2.1.3 Misión, Visión.

Misión:

Prestar el servicio público de energía eléctrica con criterios de suficiencia, competitividad y sustentabilidad, comprometidos con la satisfacción de los clientes, con el desarrollo del país y con la preservación del medio ambiente.

Visión:

Ser una empresa de energía, de las mejores en el estado eléctrico a nivel mundial, con presencia internacional, fortaleza financiera e ingresos adicionales por servicios relacionados con su capital intelectual e infraestructura física y comercial.

Una empresa reconocida por su atención al cliente, competitividad, transparencia, calidad en el servicio, capacidad de su personal, vanguardia tecnología aplicación de criterios de desarrollo sustentable.

2.1.4 Descripción Del Área Donde Se Realizó El Proyecto

CASA DE MAQUINAS.

La casa de máquinas que se encuentra en la central hidroeléctrica la angostura es de tipo subterránea, la casa de máquinas se construyó en el interior de la rocosa montañosa de la margen derecha y su acenso es a través de un túnel de 640 m de longitud.

Su construcción se efectuó en dos etapas, alojando en la primera de ellas a las unidades 1, 2, y 3, y en la segunda etapa a las unidades 4 y 5.

Las dimensiones de ambas construcciones son las siguientes:

	Primera etapa	Segunda etapa
LONGITUD	113.50 m	99.00 m
ANCHO	19.30 m	19.30 m
ALTURA	46.40 m	46.40 m



TUNEL DE ACCESO.

El acceso a la central desde el exterior se logra mediante a un túnel excavado en la roca, de sección portal, permaneciendo sus paredes, en estado natural, es decir, sin muros de concreto.



En el interior de la montaña, el túnel se bifurca para dar acceso a casa de máquinas 1a etapa donde se encuentran las unidades 1, 2, y 3, y a casa de máquinas 2a etapa donde se encuentran las unidades 4 y 5.

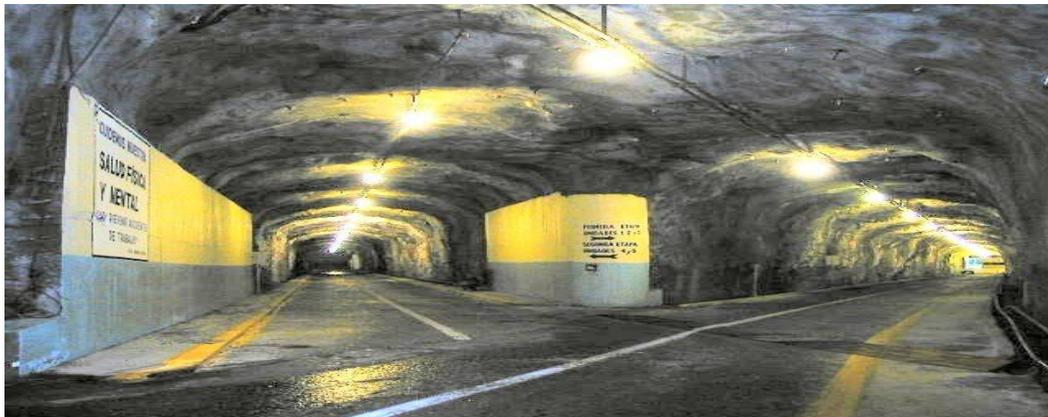
Las dimensiones de este túnel son:

Longitud (desde el exterior 1ra etapa): 640.00 m

Longitud (bifurcación 2da etapa): 200.00 m

Ancho: 7.80 m

Altura: 6.40 m





CAPITULO III

3.1 Fundamento Teórico

3.1.1 Mantenimiento

A continuación se hace mención de algunos conceptos fundamentales

Definición: Es el conjunto de actividades que tiene por objetivo la conservación y/o restitución del equipo o instalación, a sus condiciones óptimas de operación durante su vida útil.

Clasificación del Mantenimiento General

El mantenimiento puede considerarse tan antiguo como la existencia del hombre. Por relatos históricos sabemos que el hombre desde sus principios practicaba el mantenimiento, hasta de sus utensilios más primitivos, aunque no en forma lógica y ordenada, sino forzado por las necesidades básicas para su supervivencia, utilizando cada día medios más efectivos para conseguir sus fines. La existencia de una gran variedad de industrias, de diferentes condiciones, instalaciones, etc. Ha determinado a través del tiempo la necesidad de diferentes prioridades y técnicas para la aplicación del mantenimiento. A continuación se da una clasificación industrial del mantenimiento; con una breve descripción de los criterios técnicos de cada uno de ellos.

TIPOS DE MANTENIMIENTO:

Mantenimiento preventivo Se divide en los siguientes grupos:

- **Mantenimiento rutinario:** Es aquel que se efectúa en forma repetitiva en los equipos o instalaciones y que puede o no requerir licencia total de la unidad generadora. Consiste principalmente en revisión y limpieza de: filtros para agua, aceite y aire; niveles de aceite; engrase; así como correcciones menores reportadas por los operadores.
- **Mantenimiento menor:** Es el que de acuerdo con los registros de comportamiento (parámetros de operación), diagnósticos (sintomatología), experiencia y recomendaciones del fabricante, se requiere dar a los equipos e instalaciones, lo anterior no implica desarmar o sustituir los comportamientos principales. Requiere de una licencia total cuya duración dependerá de la capacidad y las condiciones de las unidades.
- **Mantenimiento mayor:** Es el que se realiza bajo la misma premisa que el menor y requiere de mayor tiempo, dependiendo de la capacidad de la

unidad generadora, debido a que en este tipo de mantenimiento se requiere demostrar, reparar y/o sustituir las partes principales de la unidad.

- **Rehabilitación:** Son aquellas actividades que se realizan en las unidades generadoras y en instalaciones y equipos auxiliares, que implica una modificación al diseño original, debido al avance tecnológico y al mejoramiento de la instalación. Para su realización en las unidades generadoras se requiere desacoplar la turbina del generador, desmontar totalmente la unidad y justifica con base al diagnóstico de la instalación y al correspondiente estudio de rentabilidad de la inversión. Cuando la central ha concluido su vida útil y se mantienen las instalaciones civiles, y la concesión de agua vigente, es conveniente efectuar un análisis técnico-económico para modernizar la instalación, empleando tecnología actual.

Mantenimiento correctivo o no programado. Se subdivide en dos tipos:

- **Mantenimiento por falla:** Son las actividades que se realizan en las unidades generadoras y equipos e instalaciones, que implica el restablecimiento de la condición operativa que fue interrumpida por una falla.
- **Mantenimiento por emergencia:** Se efectúa tiempo después de que se presenta una alteración en el comportamiento operativo del equipo o instalación y que aun cuando pueda mantenerse en operación la unidad.

3.2 Tipos de Centrales

Central hidroeléctrica

Lugar y conjunto de instalaciones, incluidas las obras de ingeniería civil y edificaciones necesarias, directa o indirectamente utilizadas para la producción de energía eléctrica, usando como elemento motriz el agua.

Pueden ser clasificadas según varios argumentos, como características técnicas, peculiaridades del asentamiento y condiciones de funcionamiento.

1. Según utilización del agua, es decir si utilizan el agua como discurre normalmente por el cauce de un río o a las que ésta llega, convenientemente regulada, desde un lago o pantano.

- **Centrales de Agua Fluente:**

Llamadas también de agua corriente, o de agua fluyente. Se construyen en los lugares en que la energía hidráulica debe ser utilizada en el instante en que se



dispone de ella, para accionar las turbinas hidráulicas. No cuentan con reserva de agua, por lo que el caudal suministrado oscila según las estaciones del año.

En la temporada de precipitaciones abundantes (de aguas altas), desarrollan su potencia máxima, y dejan pasar el agua excedente. Durante la época seca (aguas bajas), la potencia disminuye en función del caudal, llegando a ser casi nulo en algunos ríos en la época del estío.

Su construcción se realiza mediante presas sobre el cauce de los ríos, para mantener un desnivel constante en la corriente de agua.

- Centrales de Agua Embalsada:

Se alimenta del agua de grandes lagos o de pantanos artificiales (embalses), conseguidos mediante la construcción de presas. El embalse es capaz de almacenar los caudales de los ríos afluentes, llegando a elevados porcentajes de captación de agua en ocasiones. Esta agua es utilizada según la demanda, a través de conductos que la encauzan hacia las turbinas.

- Centrales de Regulación:

Tienen la posibilidad de almacenar volúmenes de agua en el embalse, que representan periodos más o menos prolongados de aportes de caudales medios anuales.

Prestan un gran servicio en situaciones de bajos caudales, ya que el almacenamiento es continuo, regulando de modo conveniente para la producción. Se adaptan bien para cubrir horas punta de consumo.

- Centrales de Bombeo:

Se denominan 'de acumulación'. Acumulan caudal mediante bombeo, con lo que su actuación consiste en acumular energía potencial. Pueden ser de dos tipos, de turbina y bomba, o de turbina reversible.

La alimentación del generador que realiza el bombeo desde aguas abajo, se puede realizar desde otra central hidráulica, térmica o nuclear.

No es una solución de alto rendimiento, pero se puede admitir como suficientemente rentable, ya que se compensan las pérdidas de agua o combustible.

2. Según la altura del salto de agua o desnivel existente:



- Centrales de alta presión:

Aquí se incluyen aquellas centrales en las que el salto hidráulico es superior a los 200 metros de altura. Los caudales desalojados son relativamente pequeños, 20 m³/s por máquina.

Situadas en zonas de alta montaña, y aprovechan el agua de torrentes, por medio de conducciones de gran longitud. Utilizan turbinas Pelton y Francis.

- Centrales de Media Presión:

Aquellas que poseen saltos hidráulicos de entre 200 - 20 metros aproximadamente. Utilizan caudales de 200 m³/s por turbina.

En valles de media montaña, dependen de embalses. Las turbinas son Francis y Kaplan, y en ocasiones Pelton para saltos grandes.

- Centrales de Baja Presión:

Sus saltos hidráulicos son inferiores a 20 metros. Cada máquina se alimenta de un caudal que puede superar los 300 m³/s. Las turbinas utilizadas son de tipo Francis y especialmente Kaplan.

3.3 Aparatos de Medición

3.3.1 Medidor de Aislamiento

Es un instrumento para la medida del aislamiento eléctrico en alta tensión. Se conoce también como "Megger", aunque este término corresponde a la marca comercial del primer instrumento portátil medidor de aislamiento introducido en la industria eléctrica. Se expresa en megohmios ($M\Omega$).

En realidad estos aparatos son un tipo especial de óhmetro en el que la batería de baja tensión, de la que normalmente están dotados estos, se sustituye por un generador de alta tensión, de forma que la medida de la resistencia se efectúa con voltajes muy elevados. Consta de dos partes principales: un generador de corriente continua de tipo magneto-eléctrico, movido generalmente a mano (manivela) o electrónicamente (Megóhmetro electrónico), que suministra la corriente para llevar a cabo la medición, y el mecanismo del instrumento por medio del cual se mide el valor de la resistencia que se busca. Son dos imanes permanentes rectos, colocados paralelamente entre sí. El inducido del generador, junto con sus piezas polares de hierro, está montado entre dos de los polos de los imanes paralelos, y las piezas polares y el núcleo móvil del instrumento se sitúan entre los otros dos polos de los imanes. El inducido del generador se acciona a mano, regularmente, aumentándose su velocidad por medio de engranajes. Para los ensayos de resistencia de aislamiento, la tensión que más se usa es la de 500 voltios, pero con el fin de poder practicar ensayos simultáneos a alta tensión, pueden utilizarse tensiones hasta 2500 voltios, esto de acuerdo al voltaje de operación de la máquina bajo prueba.

3.3.2 Multímetro

Un multímetro, es un instrumento electrónico de medida que combina varias funciones en una sola unidad. Las más comunes son las de voltímetro, amperímetro y óhmetro.

Existen distintos modelos que incorporan además de las tres funciones básicas citadas algunas de las siguientes:

- Un comprobador de continuidad, que emite un sonido cuando el circuito bajo prueba no está interrumpido (También puede mostrar en la pantalla 00.0, dependiendo el tipo y modelo).
- Presentación de resultados mediante dígitos en una pantalla, en lugar de lectura en una escala.



- Amplificador para aumentar la sensibilidad, para medida de tensiones o corrientes muy pequeñas o resistencias de muy alto valor.
- Medida de inductancias y capacidades.
- Comprobador de diodos y transistores.
- Escalas y zócalos para la medida de temperatura mediante termopares normalizados.

3.3.3 Amperímetro de Gancho

El amperímetro de gancho es una tenaza amperímetro que nos va a mostrar los parámetros de intensidad de corriente en una línea.

En el mercado existen una gran variedad de modelo y marcas por lo que sus rangos varían de acuerdo al modelo y la capacidad a medir, aquí se muestra algunos rangos de operación de algunos equipos:

CARACTERÍSTICAS:

En Baja Tensión los rangos de medida son: 60/150/300/600/1200 Amperes y en Alta Tensión existen equipos para medir, directamente en redes de alta tensión, voltaje, corriente, factor de potencia, armónicas, energía, etc. Miden voltaje hasta 40 kV y corrientes de hasta 3000 Amperes en redes de 230 kV.

3.4 Generador Eléctrico

Conjunto de equipos que transforman la energía hidráulica en energía eléctrica, siendo el par motriz una turbina y el par resistente el generador, incluyendo equipos auxiliares.

El generador es una maquina rotatoria capaz de convertir la energía mecánica en eléctrica. El generador es un convertidor de energía electromagnético construido de una parte móvil (rotor o inductor) y una parte fija (estator o inductor) las cuales están separadas por un entre hierro.

El generador síncrono es un convertidor de energía electromecánico constituido de una parte móvil (rotor o inductor) y la parte fija (estator o inducido) las cuales están separadas por un entre hierro

Un generador eléctrico es un dispositivo que convierte energía mecánica en energía eléctrica. Mantiene por tanto una diferencia de potencial entre dos puntos denominados polos.

En las centrales de generación de energía eléctrica (nucleares, térmicas, hidráulicas...) la energía mecánica que el generador transforma en energía eléctrica proviene del movimiento de una turbina, accionada dependiendo del tipo de central por vapor de agua, aire o agua. En la figura inferior se ha representado esquemáticamente el sistema de generación de energía eléctrica de una central hidráulica.

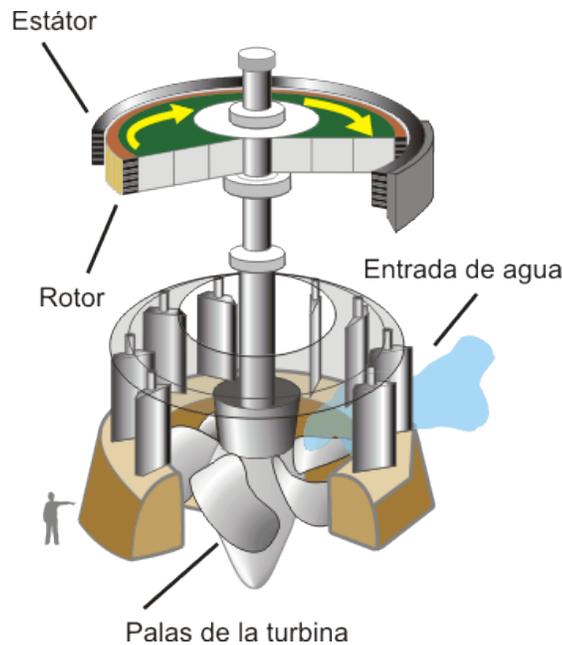


Fig. 3.1 Partes de un Generador

En la parte inferior de la figura se observan las palas de la turbina (accionada por agua) y las compuertas verticales que sirven para regular el caudal de agua que entra a la turbina. En la parte superior está representado el generador de energía eléctrica. Dicho generador consta de dos partes:

El estator, que es la parte estática del generador. Actúa como inducido.

El rotor, que es la parte móvil conectada al eje de la turbina. Es el que actúa como inductor.

El rotor puede estar constituido por un imán permanente o más frecuentemente, por un electroimán. Un electroimán es un dispositivo formado por una bobina enrollada en torno a un material ferro magnético por la que se hace circular una corriente, que produce un campo magnético. El campo magnético producido por

un electroimán tiene la ventaja de ser más intenso que el de uno producido por un imán permanente y además su intensidad puede regularse.

El estator está constituido por bobinas por las que circulará la corriente. Cuando el rotor gira, el flujo del campo magnético a través del estator varía con el tiempo, por lo que se generará una corriente eléctrica. En este enlace puede verse un esquema de una central hidráulica en funcionamiento.

3.4.1 Rotor

El rotor de un turbogenerador es una parte rotatoria de alta velocidad, que realiza diversas funciones. Tales como transmitir el par de carga de la turbina, soportar las bobinas del campo revolvente y los ventiladores para el enfriamiento de las bobinas del rotor. Por consiguiente la calidad del producto para lograr una alta confiabilidad, requiere de un sistema de exámenes que utilicen las técnicas más recientes. A fin de lograr la calidad en los procesos de producción de partes componentes.

Los componentes principales del roto son:

- a) Flecha
- b) Bobinas del rotor
- c) Anillos de retención
- d) Anillos de amortiguamiento
- e) cuñas

Las piezas polares son diseñadas para soportar grandes fuerzas mecánicas a fin de operar con seguridad a cualquier velocidad, incluyendo la máxima velocidad de desboque requerida por la turbina hidráulica.

Particularmente los extremos de las piezas polares se encuentran sometidos a las mayores fuerzas mecánicas, por lo que se someten a exámenes de partículas magnéticas después del corte y a examen de ultrasonido después de soldado, ambos exámenes son inspecciones estandarizadas.

Barras de cobre rectangulares con comúnmente utilizadas como el material para las bobinas del rotor.

El aislamiento entre vueltas de las bobinas del rotor, se verifica mediante la inserción de estas bobinas en un núcleo de prueba tal como devanado secundarios, y del aislamiento derivadas de las relaciones entre el número de vueltas/tensión de prueba de los devanados primarios y entre el número de



vueltas/el voltaje inducido en los devanados secundarios (bobinas del rotor). Este método, se combina con la prueba de potencial aplicado.

La soldadura de plata entre las bobinas del rotor y las guías terminales, y entre barras amortiguadoras y placas de conexión son sometidos a examen de líquidos penetrantes.

CARACTERISTICAS

el rotor está formado por un eje que soporta un juego de bobinas arrolladas sobre un núcleo magnético que gira dentro de un campo magnético creado bien por un imán o por el paso por otro juego de bobinas, arrolladas sobre unas piezas polares, que permanecen estáticas y que constituyen lo que se denomina estator de una corriente continua o alterna, dependiendo del tipo de máquina de que se trate.

En máquinas de corriente alterna de mediana y gran potencia, es común la fabricación de rotores con láminas de acero eléctrico para disminuir las pérdidas asociadas a los campos magnéticos variables, como las corrientes de Foucault y las producidas por el fenómeno llamado histéresis.

INDUCTOR, POLOS O CAMPO

El inductor está constituido por un imán permanente y una bobina de alambre magneto que se arrolla en el núcleo del imán y cuando se le hace pasar una corriente eléctrica crea un campo magnético que se suma al del imán permanente, en estas condiciones a la bobina se le denomina electro-imán.

IMÁN PERMANENTE.

El imán permanente consta de un núcleo de láminas o chapas de acero recocido y una zapata polar que constituye el polo del imán. En máquinas de baja capacidad, el núcleo y la zapata polar son una sola pieza, en las de alta capacidad el núcleo se forma y la zapata polar se atornilla al núcleo, todo de láminas de acero cuyo espesor no rebasa al milímetro y se troquela de la forma siguiente.

El polo del imán permanente se va formando superponiendo alternativamente una lámina con su parte saliente de un lado y encima de ésta, otra del otro lado, es decir, se va alternando una de un lado y otra del otro, montándose una sobre la otra en un perno que sirve de guía, una vez alcanzado su espesor, se remacha el perno para fijar las láminas.

El generador síncrono es un convertidor de energía electromecánica constituido por una parte móvil (rotor) y una parte fija (estator). El sistema inductor (rotor) contiene los polos magnéticos los cuales son excitados con corriente continua y están destinados para crear el flujo inductor. Este sistema cuenta con un circuito de excitación, el cual alimenta los polos del rotor mediante unos anillos colectores o también llamados anillos rosantes que giran con el rotor y a los cuales llega la corriente proporcionada por la excitación de la máquina.

Existen dos tipos de polos, los de polos salientes y de polos lisos. La aplicación de uno u otro está en función de diferentes variables como el tipo de planta generadora, la velocidad síncrona, etc. Por ejemplo para una planta hidroeléctrica debido a la baja velocidad, lo más adecuado es un generador de polos salientes, mientras que en plantas termoeléctricas, se ha optado por generadores de polos lisos debido a que se logran alcanzar velocidades de 3600 rpm.

ROTOR DE POLOS SALIENTES

En el rotor de polos salientes se cuenta con una estructura soporte en la cual se alojan los polos. La forma de dicha estructura depende de diferentes factores entre los cuales el más importante es el número de polos a ser colocados, lo cual se debe a que este tipo de rotores es aplicado en turbinas hidráulicas, las cuales alcanzan velocidades hasta 1200 rpm y se tiene la necesidad de una frecuencia de 50 o 60 Hz

Los polos regularmente son insertados sobre una masa sólida que tiene una superficie externa formada por tantas superficies elementales como polos tiene el rotor, de tal forma que el núcleo tiene forma de cola de milano. En el caso de rotores de diámetros grandes la franja superficial del rotor se construye de paquete de laminaciones con una debida distribución para fijarse al núcleo. Es notable el hecho de que las bobinas de excitación van alrededor de los núcleos polares y las bobinas se conecten en serie con el polo adyacente teniendo polaridad opuesta. Conjuntamente se utiliza un devanado de jaula de ardilla o expansiones polares. En condiciones normales este devanado no lleva ninguna corriente debido a que el rotor gira a velocidad de sincronismo.

Cuando la carga en el generador cambia repentinamente la velocidad empieza a fluctuar, produciendo variaciones momentáneas de velocidad por arriba o por debajo de la velocidad síncrona. Esto induce voltaje en el devanado de jaula de ardilla y a su vez una corriente la cual interacciona con el campo magnético rotatorio del estator que es traducido en corrientes parasitas

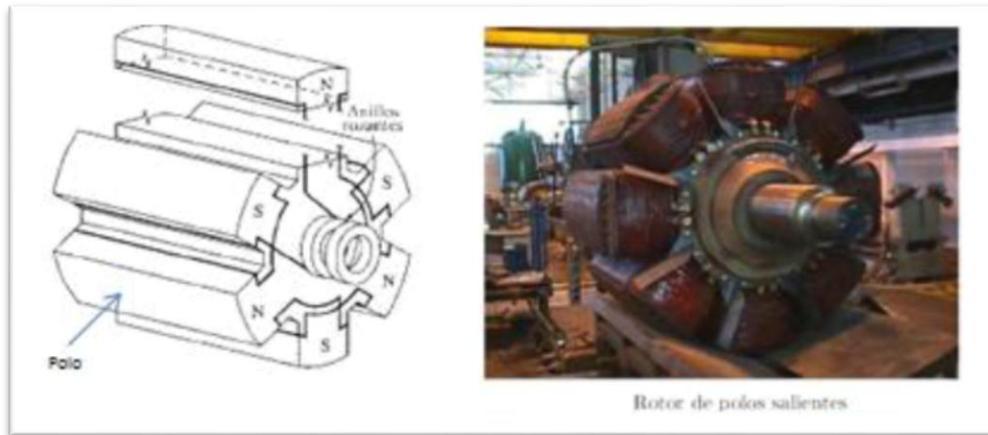


Fig.3.2 Rotor de polos salientes.

ROTOR DE POLOS LISOS.

Es bien sabido que la eficiencia en turbinas de vapor de gran velocidad es mayor que las turbinas hidráulicas, lo cual se hace extensivo en los generadores. La velocidad centrífuga ejercida en los rotores de polos lisos es la limitante en el diámetro máximo permitido. Otra limitante que se tiene es la velocidad máxima debido a que para un sistema de 60 Hz, no se puede utilizar menos de 2 polos por lo que la velocidad máxima puede ser 3600 rpm o 1800 rpm para rotores de 4 polos. Es por eso que para máquinas de gran capacidad los rotores deben tener una longitud muy grande.

Con este tipo de construcción el entrehierro cuenta con un espesor constante a lo largo de toda la circunferencia de tal forma que para que el campo magnético sea de forma senoidal, la distribución de las ranuras no es uniforme.

En este tipo de rotores las bobinas se colocan en forma radial lo cual permite una mayor distribución de la fuerza magnetomotriz (fmm) en cada polo consiguiendo una mejor onda senoidal en la fuerza electromotriz generada (fem).

En este tipo de rotores las bobinas de excitación son conductores de cobre de sección rectangular, colocadas a presión en las ranuras del rotor, las cuales cuentan con mica con fibra de vidrio como aislante.

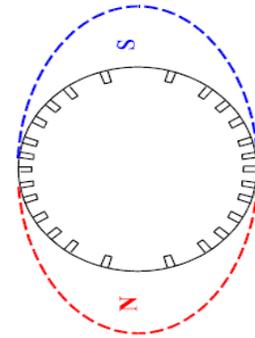
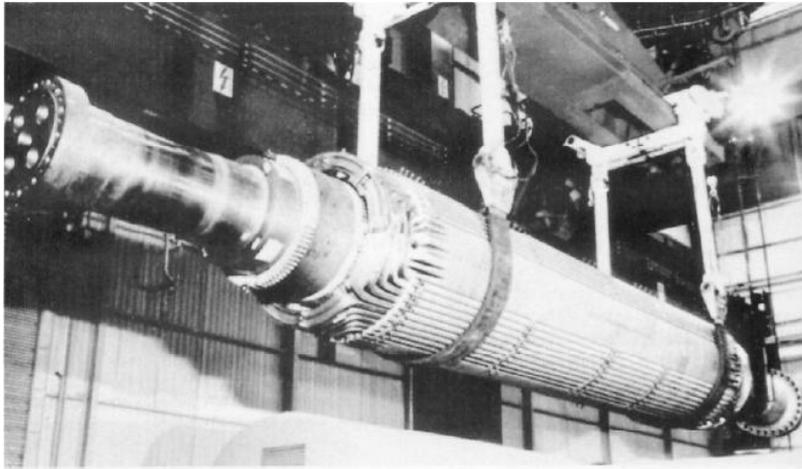


Fig.3.3 rotor de polos lisos

3.4.2 Estator

La parte fija del generador es el estator o inducido, el cual está constituido, principalmente de las siguientes partes:

- Carcasa
- Núcleo magnético
- Devanados
- Accesorios mecánicos y eléctricos

CARCASA

La carcasa es la estructura metálica la cual tiene como función sostener y centrar el núcleo magnético del estator.

Para centrales hidroeléctricas el montaje se hace en forma vertical mientras que para centrales termoeléctricas el montaje es horizontal.

Debido a las grandes velocidades a las que giran los generadores en las plantas termoelectricas, se busca que los generadores esten fijos, para poder evitar vibraciones por lo que la seccion de la carcasa puede adoptar diferentes formas dependiendo las dimensiones de la maquina, el material empleado y el sistema de ventilacion que se adopte.

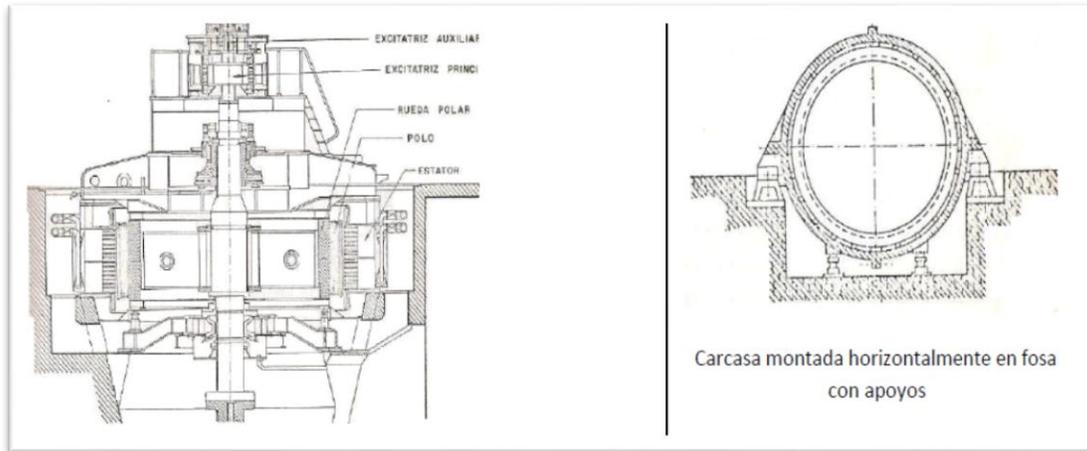


Fig. 3.4 carcasa montada vertical y horizontal

NÚCLEO MAGNÉTICO DEL ESTATOR

El núcleo magnético, está constituido por un conjunto de coronas circulares de laminación y cuenta con ranuras que contienen los devanados del estator. Este conjunto de laminaciones se encuentra centrado en la carcasa. Para formar este conjunto de laminaciones se puede utilizar láminas de acero al silicio de 0.35 a 0.5 mm de espesor ya que presenta pérdidas bajas.

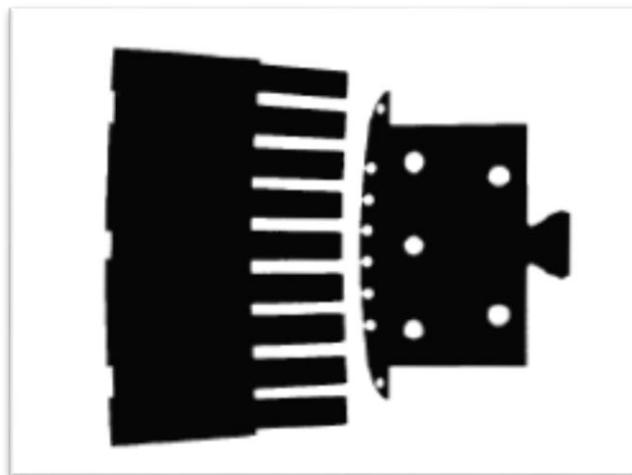


Fig. 3.5 núcleo magnético del estator

Para disminuir el efecto de las corrientes que circulan por las laminaciones se aíslan, ya sea con una capa de papel muy delgado y una capa delgada de barniz aislante.



Las ranuras del núcleo del estator en donde se alojan los conductores del devanado pueden ser de dos tipos fundamentalmente: abierto y semi cerradas.

Las ranuras del tipo abierto presentan la ventaja de que las bobinas pueden ser prefabricadas y después ser instaladas en el núcleo y permite simplificar la reparación de bobinas dañadas. Para las ranuras de tipo semi cerradas no permiten prácticamente el uso de bobinas prefabricadas, pero permite una perfecta ejecución del aislamiento por lo que las máquinas pueden operar a tensiones mayores.

DEVANADOS

Los devanados siempre son conectados en estrella y el neutro es conectado a tierra. La conexión en estrella es preferible por los siguientes motivos:

1.- el voltaje por fases es solo $1/\sqrt{3}$ o 58 % del voltaje entre líneas, lo que significa que el voltaje mayor entre un conductor del estator y el núcleo del estator aterrizado es solo 58% del voltaje de línea.

Por lo que se puede reducir el nivel de aislamiento entre las ranuras, por lo que nos permite incrementar la sección transversal de los conductores. Un conductor mayor nos permite incrementar la corriente y por ende permite aumentar la potencia de la máquina.

2. Cuando un generador está bajo carga, el voltaje inducido en cada fase tiende a distorsionarse y la forma de onda no es del todo senoidal. La distorsión es debido al voltaje de tercera armónica. Con la conexión en estrella la distorsión por armónicas de línea a neutro no aparece entre las líneas porque ellas se cancelan. Consecuentemente, los voltajes de línea permanece senoidal bajo cualquier condición de carga.

SISTEMAS DE EXCITACIÓN

Debido a que los generadores síncronos tienen su salida de voltaje en media tensión es necesario hacer uso de un sistema de excitación en el campo para alcanzar el voltaje de salida.

El diseño del sistema de excitación es parte sustancial del generador debido a que además de mantener el voltaje de salida estable, debe tener una respuesta rápida ante cambios repentinos de carga de tal manera que no altere la estabilidad del sistema.

En términos generales los sistemas de excitación se clasifican de acuerdo a la fuente de poder que se utiliza en la excitación de los cuales se derivan los siguientes:

- Corriente Continua (DC)
- Corriente Alterna (AC)
- Estática

EXCITACIÓN DE DC

En este tipo de excitación se hace uso de generadores de DC que proporcionan la corriente al rotor por medio de escobillas y anillos deslizantes. Generalmente el excitador es impulsado por el mismo eje del generador. Debido al constante mantenimiento y reemplazo de escobillas y anillos, causado por el desgaste de las escobillas o al polvo del carbón, estos sistemas de excitación han sido reemplazados por sistemas de excitación brushless (sin escobillas).

Aun así sistemas de excitación de DC se encuentran en servicio. En un sistema de excitación de DC típico, el cual cuenta con un conmutador el cual abastece de corriente continua al campo del generador principal, el excitador es controlado por un amplidina. Una Amplidina es una máquina de DC de construcción especial que tiene un conjunto de escobillas separadas en 90° eléctricos, uno sobre el eje directo (d) u otro sobre su eje de cuadratura.

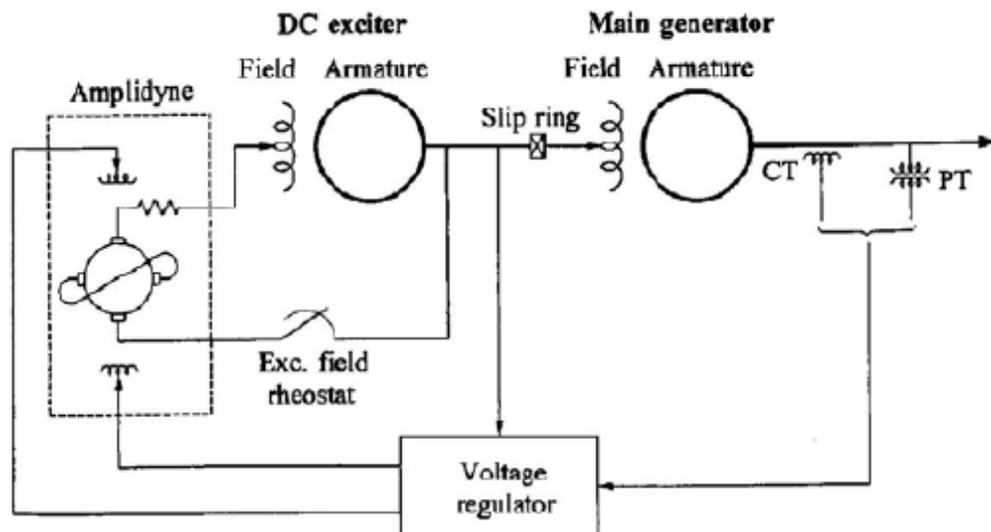


Fig. 3.6 Diagrama de excitación de DC



CAPITULO IV

4.1 Mantenimiento A Estator del Generador

4.1.1 Pruebas Realizadas Al Estator

Prueba De Alta Tensión: La prueba de alta tensión no es aceptada por muchos como una prueba de rutina para evaluar la condición del aislamiento del devanado del estator por considerarse una prueba destructiva. Sin embargo, realizada a niveles de tensión menos severos que en fábrica o en puesta en servicio, si el devanado pasa la prueba, se tiene un buen nivel de confianza en que este no va a fallar en operación cuando ocurra un transitorio de tensión.

La prueba de alta tensión se puede realizar con corriente directa o con corriente alterna. Se recomienda esta última por que somete al aislamiento a un esfuerzo más real respecto a la operación del generador y es más sensible que la corriente directa a defectos serios del aislamiento.

El inconveniente con la prueba con C.A. es que se requieren equipos de prueba de alta capacidad, especialmente en máquinas grandes. Por esta razón, generalmente esta prueba se realiza con C.D.

Resistencia De Aislamiento: La medición de la resistencia de aislamiento no se considera como una prueba de diagnóstico de la degradación del aislamiento, aunque en ciertos casos y condiciones si puede serlo. Más bien, el valor absoluto de la resistencia de aislamiento y el índice de polarización se usan para determinar la condición del aislamiento en cuanto a suciedad y humedad del mismo y decidir si el devanado es apto para operar o realizarle pruebas con tensiones elevadas. También, es la prueba de rigor para determinar si existe falla a tierra o entre fases en el devanado después de ocurrir un disparo del generador.

La práctica usual es que cuando se vayan a realizar pruebas dieléctricas con tensiones equivalentes a la nominal del devanado o mayores, se mida previamente su resistencia de aislamiento, incluyendo el índice de polarización, para asegurar que el devanado se encuentra en buenas condiciones de limpieza y seco para prevenir un posible daño al aislamiento por el esfuerzo de la tensión. Así mismo, después de realizar las pruebas dieléctricas, se miden de nuevo la resistencia de aislamiento y el índice de polarización para comprobar que no hubo ningún efecto adverso al aislamiento por las pruebas.

La tensión de prueba para la medición de resistencia de aislamiento debe ser siempre la misma; 1000 VCD a 5000 VCD, dependiendo de la tensión nominal de la máquina.

Pruebas Descargas Parciales: Por más cuidadoso que sea el proceso de fabricación del aislamiento de los devanados del estator, es imposible que la resina de impregnación de las cintas aislantes penetre y llene perfectamente todo el volumen del aislamiento por lo que siempre quedará una cantidad de huecos pequeños dentro del mismo. Cuando el aislamiento eléctrico del devanado es sometido a la tensión de operación del generador, en aquellos huecos donde se alcance a través de ellos un nivel de tensión de aproximadamente 3 kV/mm, se romperá dieléctricamente el aire contenido en ellos y se producirán descargas parciales. Las descargas parciales originadas en el semiciclo positivo de la tensión serán de polaridad negativa y las que se originen en el semiciclo negativo de la tensión serán de polaridad positiva. La magnitud de las descargas parciales depende del tamaño de los huecos, mientras más grandes sean los huecos, mayor será la magnitud de las descargas parciales.

La unidad de magnitud de las descargas parciales en pruebas fuera de línea realizadas en CFE es el pico coulomb, pC. Aun los devanados nuevos nacen con una cantidad de descargas parciales internas del orden de algunos miles de pC, generalmente de 2 a 3, dependiendo del equipo de medición y su calibración, en pruebas fuera de línea.

En condiciones no severas de operación de un generador, es decir, sin aflojamiento de los devanados, sin arranques y paros muy frecuentes, sin cambios bruscos y fuertes de carga y sin temperaturas excesivas, se espera que el aislamiento se vaya degradando gradualmente a lo largo de muchos años, apareciendo más huecos y los existentes haciéndose cada vez mayores. Sin embargo, ante la ocurrencia frecuente de los factores de degradación antes mencionados, la aparición de huecos y daños en diferentes puntos del sistema de aislamiento se acelera, con lo cual aumenta la cantidad y magnitud de las descargas parciales. Por esta razón, se considera que las descargas parciales son un síntoma y no la causa de la degradación del aislamiento. Sin embargo, una vez que las descargas parciales se presentan en gran cantidad y magnitud, su acción contribuye a acelerar la degradación del aislamiento.

En las pruebas fuera de línea se miden la magnitud y el patrón de distribución de las descargas parciales respecto a una onda senoidal de referencia con lo cual se trata de determinar el grado de la degradación y su probable localización en el sistema de aislamiento. La correcta interpretación de estos patrones de descargas parciales requiere mucha experiencia en este tipo de pruebas. La ventaja de las



pruebas fuera de línea es que, durante la medición, se puede ayudar a definir con más precisión la localización de las descargas parciales más intensas con sensores direccionales de ultrasonido y, en la zona de ranuras, con una sonda conocida como TVA. La medición en forma periódica, permite determinar la razón de degradación y, con cierta precisión, el tiempo de vida del aislamiento.

La medición fuera de línea de las descargas parciales tiene como desventaja que no indica el comportamiento de las descargas parciales en las condiciones de operación del generador, especialmente en generadores eléctricos enfriados con hidrógeno, por ejemplo, en los cuales las descargas parciales se reducen notoriamente por efecto del hidrógeno a presión, además de que se reducen también por que el devanado solo tiene tensión suficiente para generar las descargas parciales en un 20% del mismo aproximadamente, dependiendo de la tensión nominal. Adicionalmente, ya que solo se puede probar el devanado de una fase a la vez, aplicándole una tensión al devanado completo contra tierra, no permite detectar problemas entre fases en el cabezal, tal como la formación de caminos de falla entre fases.

Tampoco detecta problemas incipientes en el recubrimiento semiconductor en la ranura por aflojamiento de las barras.

La forma de evaluación del aislamiento mediante esta técnica es mediante los valores absolutos de descargas parciales y su incremento con el tiempo.

Es decir, se tiene que evaluar la tendencia. Un valor inicial de descargas parciales mayor al esperado no necesariamente significa que el aislamiento vaya a fallar pronto, se debe evaluar la magnitud del incremento con el tiempo.

Prueba De Descarga A La Ranura: Este tipo de descargas se producen en la superficie de la aislación, por falla de la pintura semiconductora en la sección de ranura. Son muy dependientes de la carga del generador, por las vibraciones electromagnéticas que esta produce; la temperatura tiene poca influencia en esta actividad. Para este caso, las curvas del PDA muestran un Predominio de los pulsos positivos.

Para efectos de análisis, las mediciones periódicas se deben ejecutar en condiciones similares de temperatura, tanto en vacío como a plena carga.

Prueba De Factor De Potencia: El factor de potencia permite conocer el estado interno de aislamiento de los bobinados, en base a la medición de las perdidas en watts que produce, al aplicar un alto voltaje determinado de 60 Hz.

Las pérdidas activas, que se traducen en calentamientos adicionales del bobinado, se originan en la parte resistiva del aislamiento; consecuentemente, todas las causas que lo deterioran. Ocasionalmente ocasiona un incremento de las mismas.

El bobinado y su aislamiento se comportan como un capacitor, donde el conductor de cobre y el núcleo son los terminales. En presencia de voltaje alterno, fluye una corriente total de carga, de dos componentes, una relativamente grande y desfasada en 90° con el voltaje aplicado (componente capacitiva), y otra en fase y de pequeña magnitud (componente resistiva).

El factor de potencia del aislamiento se define como:

$$FP = \cos\theta = \frac{I_r}{I_t}$$

$$\cos\theta = \frac{ExI_r}{ExI_t}$$

$$\cos\theta = \frac{\text{Watts}}{\text{Volts} \times \text{Amp}}$$

El factor de potencia, igual que el índice de polarización en la prueba de resistencia de aislamiento, es una cantidad adimensional, que facilita la comparación de diferentes volúmenes de aislamiento. Se expresa usualmente en porcentaje

El factor de pérdidas $\tan\delta$, que relaciona la corriente resistiva con la corriente capacitiva, numéricamente es semejante al factor de potencia $\cos\theta$, para ángulos pequeños de δ . Para ángulos mayores de δ ($>5^\circ$), la diferencia entre estos factores se vuelve apreciable.

El factor de disipación (FD) se puede convertir a factor de potencia (FP) y viceversa, utilizando las siguientes fórmulas:

$$FD = \frac{FP}{\sqrt{1 - FP^2}}$$

$$FP = \frac{FD}{\sqrt{1 + FD^2}}$$

Para todo propósito práctico, el factor de potencia (FP) y el factor de disipación (FD) son iguales hasta valores del 10 % ($\delta \approx 5^\circ$), y son casi iguales hasta un 30 % ($\delta \approx 17.3^\circ$), rango en el que se encuentran la mayoría de los resultados de prueba de aislamiento de equipos de alto voltaje.



La prueba del factor de potencia se realiza con un voltaje igual al 25% del voltaje nominal fase tierra del generador.

El factor de potencia medido, depende de la resistencia del volumen del aislamiento y de la resistencia de contacto de la superficie de la aislación y la ranura del estator.

La resistencia volumétrica depende del material de la cinta de refuerzo (papel, mylar o fibra de vidrio) de las hojuelas de mica, y del material aglutinante (goma laca, asfalto, resina poliéster o resinas epoxicas).

La resistencia de contacto es función del tipo de material de relleno que se utiliza para el ajuste lateral de la bobina en la ranura (papel o lanas rígidas semi conductoras), y de la clase de pintura o cinta conductora de la superficie de la bobina.

4.1.2 Actividades Relevantes del Estator

A este generador que se le dará mantenimiento es un alternador trifásico de conexión de estrella su factor de potencia es de 0.95 gira a una velocidad de 128,57 rpm y para su excitación tiene que ser de 500V, su voltaje de salida es de 13,800 V. Este generador cuenta con 56 polos por parte del rotor y en la parte del estator cuenta con 432 bobinas.

DESMONTAJE DEL GENERADOR.

Antes de desmontar el generador, lo primero que se debe realizar son las pruebas iniciales de resistencia de aislamiento al campo y la prueba de resistencia de aislamiento al grupo del generador aplicándole un voltaje de 5000V de C.D. como se observa en la imagen siguiente.



Fig. 4.1 Prueba de resistencia óhmica a campo

El diagnóstico de un alternador supone la obtención de datos sobre el estado de envejecimiento del aislamiento del estator, de su contaminación y de la estabilidad del aislamiento. Su control periódico permite valorar la evolución de su estado con el número de horas de servicio, permitiendo prever una avería intempestiva que siempre genera indisponibilidad e importantes daños añadidos.

Los criterios de diagnóstico se han obtenido sobre diferentes tipos de aislamientos y configuraciones de devanados, estando contrastados internacionalmente por su uso sistemático. Los valores de la resistencia de aislamiento, del índice de polarización, de la intensidad de absorción y de la intensidad de conducción, proporcionan criterios objetivos de diagnóstico.

La interpretación de estos datos comparados con los de máquinas similares y el seguimiento de su evolución permiten detectar con tiempo la degeneración del

aislamiento, su contaminación o el exceso de humedad que son los factores de riesgo en la operación de estos equipos.

Después que se le haya hecho las pruebas de R.A se hace el desmontaje del generador con la ayuda de la grúa viajera el gancho auxiliar retira las tapas antiderrapantes del generador después se hace retiro de viguetas de araña, piso falso, mampara superior, retiro de grapas de tolvas superior, retiro de resistencia calefactoras

También se hace retiro de grapas de tolvas inferiores, mampara inferior, tornillería de tolvas inferiores, retiro de tolvas inferiores, después que ha retirado las piezas el generador queda como se muestra en la imagen de abajo.



Fig. 4.3 Desmontaje del Generador

Después que se haya desmontado el generador se le hacen las siguientes pruebas:

La prueba de resistencia de aislamiento por fase al devanado del generador aplicándole un voltaje de 5000V c.d para ver en qué condiciones se encuentra es aislamiento del generador esta prueba es realizada fase por fase como se observa en la imagen siguiente.



Fig. 4.4 Prueba de Resistencia De Aislamiento por Fase

La siguiente prueba es la de alta tensión se aplicándole un voltaje de 14 000V c.d. esta prueba también es realizada fase por fase para ver si no se encuentra alguna falla en el estator como se observa en la imagen.



Fig. 4.5 Prueba de Alta Tensión por Fase

También se le hace la prueba de caída de tensión a polos, los polos que salgan más bajos a esos se les darán mantenimiento, se le aplica un voltaje de 220V c.a y se va midiendo polo por polo como se observa en la imagen.



Fig. 4.6 Prueba de Caída De Tensión a Polos

Después que se haya realizado las pruebas se esmerilan tuercas y rondanas de aspas de ventilación de polos 43, 44, 45,46, 47, 48, 16, 17, 18,19, 20. Se hace desconexión de serie, devanado amortiguador grapas de separador de polos 44, 45, 46, 47, 15, 16, 17, 18. Se retiran separadores de polos 43, 44, 45, 46, 47, 15, 16, 17, 18, 19.

Se hace retiro de polos No. 16, 17, 18, 19, 44, 45, 46 y 47 como se observa en la imagen siguiente.



Fig. 4.7 Polos del Generador

Se le hace pruebas por parte de LAPEM (laboratorio de pruebas a equipos y materiales) prueba de alta tensión por fase al devanado del generador aplicándole un voltaje de 18 Kv.



Fig. 4.8 Pruebas por LAPEM.

La fase A pasa, la fase B se encuentra falla en la bobina 376 y la fase C falla bobina 98 parte interna de la fase. Después de la prueba se hace retiro de yugo parte superior e inferior, retiro de separadores de la bobina 92 a la 98, se le retira el aislamiento a bobinas No. 98 a 92 para desoldarlas para su retiro y se corta en la parte inferior 93, 95, 98. Se desuelda bobinas de la 98 a la 92 parte superior y parte inferior 92 y 96, se hace retiro de bobinas 98, 97, 95, 93, 92 y se abren espiras para mover las bobinas 94 y 96.



Fig. 4.9 Bobinas Retiradas

Se hace limpieza de espiras de bobinas montadas y se les hace la punta de lápiz, se hace limpieza de ranuras 98 a la 92, se pone separador entre bobinas 93 y 92 y se acomoda bobina de fondo en ranura 98. Se inicia con el soldado de las espiras de la bobina, se acuña ranura 98 y se le hace prueba de alta tensión a 30 Kv a ambas bobinas después se concluye con el soldado de la bobina No. 98, se coloca separador de la bobina se encinta. También se suelda la parte inferior de cada bobina y se encinta. Estos mismo pasos se hacen en las demás bobinas.

Después de la reparación de la bobina se coloca tramo de yugo en donde fue la falla, se coloca mampara y se arma el piso falso donde fue la falla, se coloca vigueta y se aplica barniz aislante rojo a bobinas 92 a la 98 como se observa en la imagen.



Fig. 4.10 Bobinas después de Reparación

Después que se aplica el barniz aislante se coloca tornillería, prapes, tensores de piso falso, separadores de la ranura 88 a la 104 parte superior colocación de fleje y se encinta de la ranura 88 a la 104 después de reparación de bobina se hace prueba de R.A a fase A.B.C a 5000V, prueba de alta tensión a fase A, C a 14 Kv directo, se realiza prueba de alta tensión a fase B para analizar falla en bobina 376, se hace colocación de mampara parte inferior y se empieza a desoldar bobina 376 parte superior y se corta, se desacuña ranura 376 y se hace retiro, se realiza prueba de alta tensión se coloca bobina en la ranura 376 y se acuña hacen prueba aplicándole 30 Kv y se inicia con el soldado de espiras de bobina 376 parte inferior y superior, se hace encintado y se aplica barniz aislante rojo y se hace limpieza de los cabezales del devanado del estator.

Se realiza prueba de R.A por fase al devanado y alta tensión por fase al devanado, prueba de factor de potencia, resistencia óhmica, descargas parciales.

REVISION BARNIZ Y CUÑAS.

En la mayoría de los casos se observa la presencia de grietas y cierta cantidad de polvo amarillento sobre las cuñas en las ranuras, lo que indica un desgaste de estas.



Defecto:

Propagación de fracturas en las cuñas del rotor

Proceso de deterioro:

Desprendimiento de cuñas centrales, daño del núcleo, generación de puntos calientes

Consecuencias:

Falla del aislamiento del devanado por temperatura excesiva de operación.

Después que se realizaron las pruebas se inicia con revisión de laminado, revisión de puntos de soldadura en dedos opresores, medición de laminado del estator y se encuentra dedo flojo 407, 208, 207, 206, 205. Se encuentra polvo amarillo de 396-405 a nivel de la cuña 7 a 9.

MEDICION DE ALTURA DE LAMINADO DEL ESTATOR.

199 VS 198 = 2.398m	333 VS 334 = 2.40m
404 VS 403 = 2.400m	315 VS 316 = 2.40m
422 VS 423 = 2.400m	90 VS 91 = 2.401m
346 VS 345 = 2.390m	68 VS 69 = 2.398m
362 VS 363 = 2.400m	304 VS 305 = 2.40m
133 VS 132 = 2.399m	288 VS 289 = 2.40m
152 VS 153 = 2.400m	64 VS 65 = 2.398m
160 VS 161 = 2.400m	35 VS 36 = 2.40m
189 VS 190 = 2.41m	258 VS 259 = 2.40m
376 VS 377 = 2.39m	272 VS 273 = 2.40m
391 VS 392 = 2.397m	235 VS 236 = 2.40m
123 VS 124 = 2.40m	252 VS 253 = 2.40m
97 VS 98 = 2.401m	39 VS 40 = 2.40m
	15 VS 14 = 2.399m

Se hace revisión de dedos de ranura 150 a 181 y 376 a 396, se desacuña ranuras 351, 350, 349, 132,133, 134 y 135 por encontrarse demasiado flojos, laminado de unión de sexto con inclinación hacia arriba, se vuelve a acuñar las ranuras, se coloca fleje de ranura 351, 350, 349, 132,133, 134 y 135 se encinta amarra unos y nueves y se aplica barniz aislante.

Después que se haya revisado los dedos se realiza la prueba final de R.A y alta tensión aplicando 14 Kv, se montan los 8 polos en mantenimiento, se coloca lanas, cuñas y contra cuñas de los polos retirados, se hace conexión de serie de amortiguador de polos y se conecta el devanado de amortiguador de los polos.

Se coloca aspas de ventilación del rotor de ambos lados y se tornea las aspas a 300 Lb como se observa en la imagen.



Fig. 4.11 Torqueo de Aspas de Ventilación

Se hace el soldado de las aspas de ambos lados y se pintan.

Se coloca las tovas superiores e inferiores, colocación de mamparas superiores y inferiores, se coloca el piso falso, viguetas de araña del generador, grapas de tovas superior e inferior, se conecta trenzas a 190 lb y por último se colocan tapas antiderrapantes del generador. Fin del mantenimiento.



Fig. 4.12 Montaje del Generador

4.1.3 Materiales aislantes utilizados en la reparación de generadores hidroeléctricos.

Se presenta una relación de los materiales aislantes más comúnmente usados en reparaciones parciales y en reembobinados de generadores hidroeléctricos.

- 1.- barnices y resinas aislantes.
- 2.- aislantes.
- 3.- cintas y cordones de amarre.
- 4.- laminas aislantes.
- 5.- placas aislantes.
- 6 pintura conductora y semiconductor.

1. BARNICES Y RESINAS AISLANTES.

A).- Barniz normal secado al aire. Se utiliza como recubrimiento final a los devanados del estator y polos del rotor para protegerlos del polvo y humedad. También puede utilizarse como barniz de impregnación para embobinados de motores y transformadores tipo seco. Algunas de sus propiedades son las siguientes:

Color	transparente o rojo
Densidad	0.88 a 0.90 a 25°C.



Resistencia química al agua, aceite, ácidos y álcalis.

Dieléctrico en seco de la película. 1500 a 1700 volts/mil.

Penetración, flexibilidad y adhesión.

B).- Resina aislantes. Aunque existen diferentes tipos de resina como son: de poliéster, fenolicas, de silicón, etc. La que se utiliza normalmente en los trabajos de mantenimiento son las resinas epoxicas de curado a la temperatura ambiente. Estas resinas son plásticos termofijos de fácil manejo y aplicación.

La resina epoxi más fácil de conseguir en el mercado nacional es la marca BASA no. EN-263 que viene en dos partes: la parte "A" que es la resina y la parte "B" que es el catalizador o endurecedor. La presentación se efectúa agregado 0.0063 Kgs. De parte "B" por cada kilo de parte "A", mezclando perfectamente cuando se ha efectuado este pasó, se notara que la viscosidad del material decrece y que está listo para utilizarse.

Algunas propiedades:

Material ya mezclado tiempo de trabajo. 2-3 Hrs. A temperatura ambiente.

Sólidos 96 % de sólidos

Coeficiente de expansión al calor 3.4×10^{-5} pul/pulg/°C.

(ASTM D.495)

Punto de distorsión al calor 120°C (método ASTM D-648)

Peso específico 1.500-1.800 (ASTM D-792)

Resistencia de compresión. 18 compresión máxima PSI X 103 (método ASTM).

Resistencia al arco. 150 segundos (método ASTM D-490)

Resistencia dieléctrica. 600 Volts/mil "muestra de 1/8" (método ASTM D-15).

Esta resina se utiliza principalmente en aislamiento a mano de los cabezales de las bobinas. Impregnado con la mencionada resina cada vuelta de cinta de mica o de cinta de fibra de vidrio. Con lo anterior se logra un cuerpo rígido y se evitan cavidades que a la larga afecte el efecto corona.



Otros usos de esta resina pueden ser en reparaciones parciales de aislamiento sólidos, o para encapsular bobinas y circuitos electrónicos para protegerlos de la humedad, agentes químicos o choques mecánicos.

Otro tipo de resina epoxica es la HYSOL R9-2039 con endurecedor HD3404 de Indael de México, S.A., que es una resina de alta penetración que se utiliza para impregnar y aislar las laminaciones de los estatores que han sido afectadas por fallas eléctricas o por golpe. Esta resina se aplica después de haber reparado la falla y limpiado perfectamente el laminado como aislamiento y protección final. También puede utilizarse en vaciado y encapsulado de componentes eléctricos y electrónicos.

Propiedades:

Relación de mezclado en peso 100 /11

Curado 24 Hrs, a la temperatura ambiente

Viscosidad a 25°C 11.000- 13 000 (ASTM D.1824)

Gravedad específica 1.15-1.17 (a 25°C ASTM D1475)

Resistencia a la compresión PSI 16.000

Coefficiente de expansión térmica (30-90°C) 55×10^{-6} a la 6

Resistencia volumétrica 7.7×10^{-6} a la 13

2.- CINTAS AISLANTES.

Cinta de mica. La cinta de mica constituye el aislamiento básico de las bobinas de generadores por sus altas propiedades dieléctricas, térmica, resistencia al efecto corona, etc. Una bobina para 15 KV, lleva de aislamiento básico alrededor de 13 capas de cinta de mica de 0.007 "con traslape a la mitad y una o dos capas de cinta de vidrio para darle resistencia mecánica. La cinta de mica es un material flexible y de espesores uniformes lo cual facilita su manejo para aislar bobinas con formas de diseño complicado. Se encuentra disponible en rollos de espesores de 0.0045" y anchos de 1/2 a 2" normalmente viene aglutinada con resina de poliéster y existe combinada con resina epoxica. Puede mezclarse fácilmente con otros materiales como mylar, fibra de vidrio, etc.

Resistencia eléctrica ASTM.- 650 a 1.100 VPH

Clase 165 1 180°C



Espesores 0.0045" a 0.007"

CINTA DE VIDRIO

La cinta de vidrio tiene magníficas propiedades mecánicas, térmicas y dieléctrica por lo que se emplea como el aislamiento final en las bobinas de generadores para darle mayor protección mecánica. Como mencionamos anteriormente en una conexión o cuerpo de una bobina después de ampliar el aislamiento básico con cintas de mica se le proporciona una o dos capas de cinta de vidrio con lo que adquiere mayor solidez y resistencia mecánica.

La cinta de vidrio natural viene en espesores de 0.007" y en anchos de 1/2"; 3/4" y 1".

Además viene combinada, con las características de temperaturas siguientes:

Vidrio barnizado con poliéster	130°C	Temperatura
Vidrio barnizado con epoxi	155°C	"
Vidrio barnizado con silicón	180°C	"
Vidrio Mylard – epoxi	155°C	"
Vidrio – Rubber – Silicón	180°C	"

CINTA DE MYLARD

Es una cinta de poliéster que presenta peculiares características como son: gran resistencia mecánica. El material que más alto valor dieléctrico presenta de aproximadamente 3 KV.

Por milésima de espesor a 150°C – 60 Hz

Temperatura de trabajo continuo – 150°C

Inerte a la mayor parte de los productos químicos

(Ácidos, cloruros)

Punto de fusión 250°C

Los espesores normales son 0.001", 0.002", 0.005" y 0.007".



3.- CINTAS Y CORDONES DE AMARRE.

En generadores hidroeléctricos de gran capacidad se emplean generalmente dos tipos: cordón de fibra de vidrio tratado y cinta de dacron termocontractil.

CORDON DE FIBRA DE VIDRIO TRATADO

Material integrado por un amplio número de fibras de seda de vidrio impregnadas de una resina especial a base de poliéster, catalizada y termoendurecible.

La resina de impregnación se derrite por la influencia del calor y se endurece después formado con todas las capas un solo bloque aumentado considerablemente la resistencia mecánica de las fibras.

Su resistencia térmica constante es de 155°C, viene un cordón redondo don diámetros de 1 a 5 mm y en cinta que van de ½ a 1”.

CINTA DE DACRON TERMOCONTRACTIL

Es una cinta que tiene excelentes características mecánicas. A la aplicación de calor se contrae consiguiendo un mayor apriete en los amarres de los cabezales de las bobinas. Esta no se consigue en el país.

Resistencia térmica 155°C.

4.- LAMINAS AISLANTES.

En esta clasificación podemos citar a la baquelita, Celeron, poliéster y lamicon en sus espesores delgados los cuales se utilizan principalmente para lograr el apriete adecuado de las cuñas de bobinas del estator y apriete de bobinas de polos del rotor. Estos materiales las características principales se proporcionan en el punto No. 5 placas aislantes. Además se utiliza los siguientes aislantes para aislar aristas de polos, puntas de bobinas en pruebas, etc.

Papel nomex. Alta resistencia dieléctrica y alta resistencia térmica. Puede ser laminado solo o con otros materiales para formar compuestos rígidos o flexibles.

Espesores: de 0.05 a 0.76 mil pulgadas.

Resistencia a tensión lb/pulg.2 de 21 a 500 (ASTM-D828-60)

Resistencia dieléctrica KV/mm de 21 a 28 (ASTM-D-149)

Constante dieléctrica 10³ Hz 2.0 a 3.4 (ASTM-D150)



Hilar. Láminas de poliéster de la fábrica Dupont. Excelentes propiedades eléctricas, térmicas y físicas.

Resistencia dieléctrica 25°C – CA – 7,500 Volts/mil (ASTM – 149-64)

150°C – CA – 6,000 “

Constante dieléctrica 25°C – 60 Hz – 3.3 (ASTM-150-65T)

Resistividad superficial 10¹⁶ Ohms/cuadro - (ASTM-D257-66)

Resistencia de aislamiento 10¹² Ohms.

5.- PLACAS AISLANTES.

Placas de aislamiento sólido, tienen altas propiedades de aislamiento eléctrico, excelente resistencia a la humedad y al calor. Son fácilmente troquelables. Se utiliza en cuñas para las bobinas, en separadores, rellenos para cuñas de bobinas, etc.

BAQUELITA

Muy buenas propiedades de aislamiento eléctrico, adecuado para resistir altos voltajes en condiciones bajas de humedad fácilmente maquinable.

Resina: fenólica

Refuerzo: papel

Espesores: de 1/64“ a 2”

Resistencia dieléctrica paralelo KV (Min) 40 – 60

Resistencia al aislamiento 1 X 10⁵ megaohms.

Resistencia a la flecha lb/pulg² 15000

Temperatura máxima de operación 138°C.



6.- PINTURAS CONDUCTORAS Y SEMICONDUCTORAS.

La aplicación de las pinturas semiconductoras tiene como finalidad poner a tierra firmemente la superficie exterior del aislamiento de los lados activos de las bobinas que se encuentran dentro de las ranuras, y lograr una distribución uniforme del potencial de la superficie de los cabezales de las bobinas hacia el cuerpo de hierro.

Los lados de las bobinas que se encuentran dentro de las ranuras reciben una pintura conductora (laca a base grafito) y los cabezales de las bobinas reciben una pintura semiconductor: laca a base de carborundum. En algunos casos se utiliza en vez de la laca a base de grafito papel grafitado con el que se enrollan los lados de las bobinas que van adentro de las ranuras.

La pintura a base de grafito deberá sobresalir a ambos lados del estator a una longitud equivalente a la altura de los dedos opresores y la pintura a base de carborundum deberá traslaparse con la otra pintura en una longitud de $\frac{1}{2}$ " la cual varía según la tensión o diseño del fabricante.

La reparación y aplicación de las pinturas son muy importantes por lo que se deberá revolver muy bien antes de su aplicación. Cualquier interrupción de las pinturas en las bobinas que se utilicen en reparaciones o en embobinados nuevos deberán repararse.

En bobinas reparadas se deberá resanar cuidadosamente las pinturas de protección, para conseguir un buen contacto entre la capa nueva y existente. Todas las grietas en la pintura vieja deberán resanarse.

La pintura conductora está diseñada para uniformizar esfuerzos de voltaje en las superficies de aislamiento y para prevenir daños por efecto corona se usa principalmente para aplicarse en las superficies exteriores de las bobinas en la parte que está alojada en el laminado; y aproximadamente dos o tres centímetros externa al laminado en ambos extremos de la bobina dependiendo del voltaje de operación.

Las especificaciones son:

Color	verde oscuro
Tiempo de aplicación	1 hora
Secado	24 horas



Rendimiento (aproximado) 500 ft²/gal.

Se puede aplicar por brocha o pistola de aire, se deberá agitar durante su uso, la superficie deberá estar limpia y seca.

No será necesario solvente ya que la pintura viene en las proporciones adecuadas para aplicarse directamente.

La superficie deberá estar seca y libre de suciedad, grasa, polvo, aceite, limpieza con algún solvente adecuado en caso de que tenga grasa o aceite.

Lo más comúnmente usada es la marca Glyptal No. 9921 marca – General Electric.

4.2 Pruebas Realizadas al Rotor del Generador

Imagen del polo

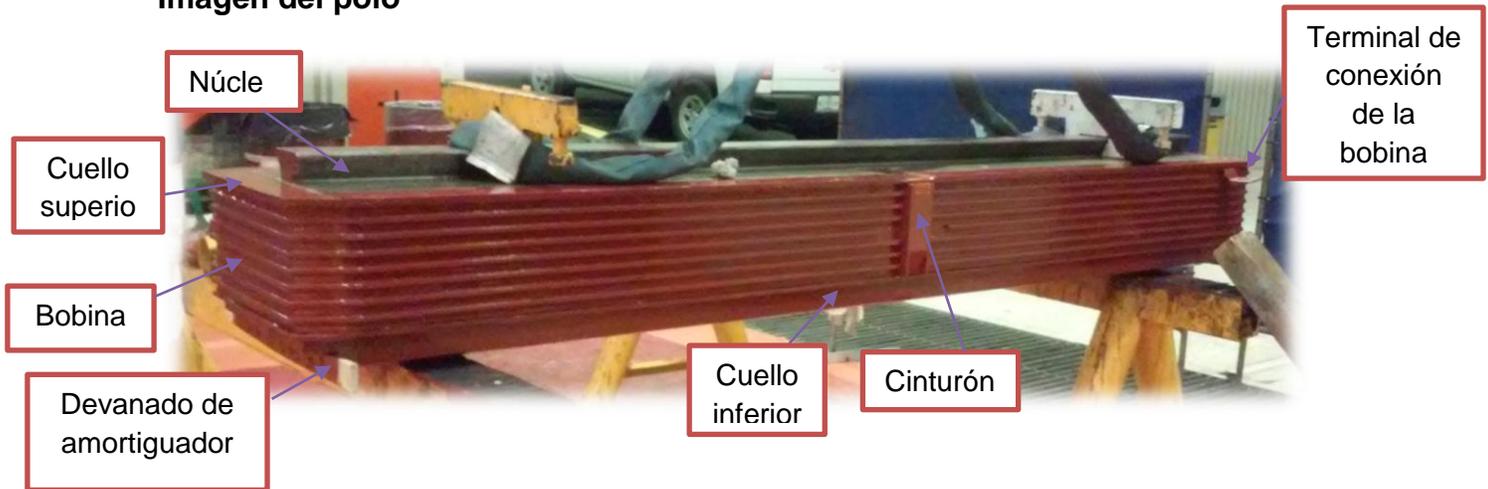


fig. 4.13 partes que componen un polo

Antes del inicio del mantenimiento se prepara el área de trabajo. Colocar una lona para evitar dañar el piso de playa de montaje, también se colocan burros para el soporte de los polos, así como una mesa de madera.

Materiales para el mantenimiento

- Papel nomex de alta resistencia eléctrica
- Baquelita tipo pliego
- Barniz dielectrico dupont base 35
- Resina epoxica
- Adhesivo pegado rápido marca DEVCON
- Silicón de alta temperatura
- Fibra scotch brite
- Solvente Maquisa
- Lija de agua marca FANDELI(120)

Herramientas para el mantenimiento

- Desarmador plano
- Prensas
- Dado 24
- Matraca
- Brocha
- Punto de golpe
- Formón



- Martillo
- Carda
- Dispositivo para separar bobina del núcleo
- Eslinga
- Tablones de madera
- Burro
- Lona
- Trapo

Equipo de medición para mantenimiento

- Multímetro
- Aparato de medición de resistencia de aislamiento
- Aparato de medición de resistencia óhmica

Material de seguridad

- Peto
- Careta
- Casco
- Lentes
- Guantes
- Zapatos de suela dieléctrica

Prueba de caída de tensión

Al inicio del mantenimiento a polos se realiza prueba de caída de tensión, esta prueba consiste en aplicar un voltaje de 220 de c. a. A los polos del generador, sabiendo que estos están conectados en serie. La caída de tensión en cada polo deberá ser de 3.92V de c. a. aproximadamente, sabiendo que el generador cuenta con 56 polos en su rotor.

Es decir:

$$\frac{220V}{56} = 3.92V$$

Para la medición es necesario contar con un voltímetro, este se conectara la serie de amortiguador de los polos. Dependiendo del resultado de la prueba, los polos con menor valor, serán a los que se les dará mantenimiento. Los resultados se llenaran en el formato correspondiente.

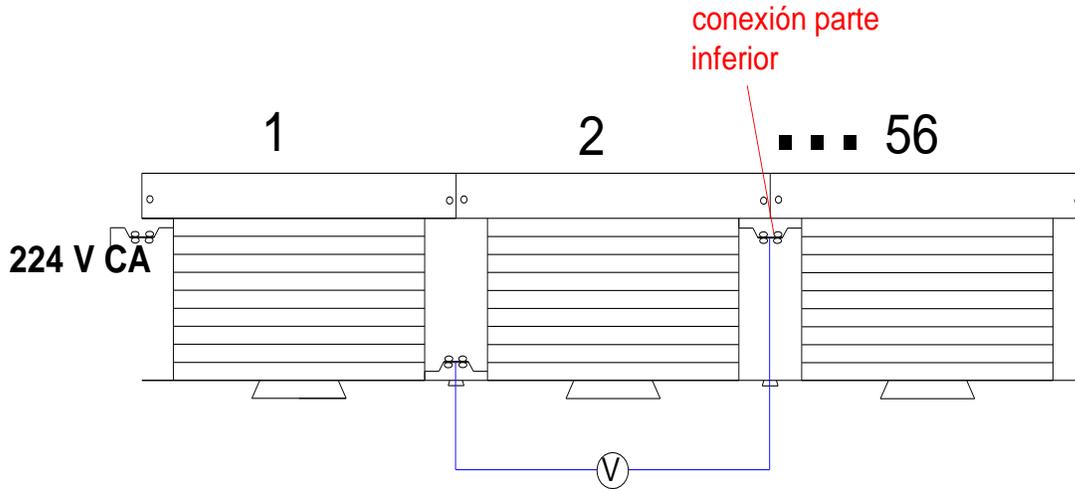


Fig. 4.14 diagrama de medición de caída de tensión

Prueba de resistencia de aislamiento

Desmontados los polos a dar mantenimiento se realizan pruebas de resistencia de aislamiento de manera individual, en esta prueba se aplica un voltaje de 500 V de c. d. al polo, esto consisten en revisar la calidad del aislamiento de la bobina del polo, ya que esta pudo verse afectada por diversos factores, tales como el polvo o la humedad entre otros.

Se realizar con un medidor de resistencia de aislamiento, se conecta el positivo a una de las terminales del polo y el negativo a tierra. Los resultados se observaran en la tabla 6 y 7.

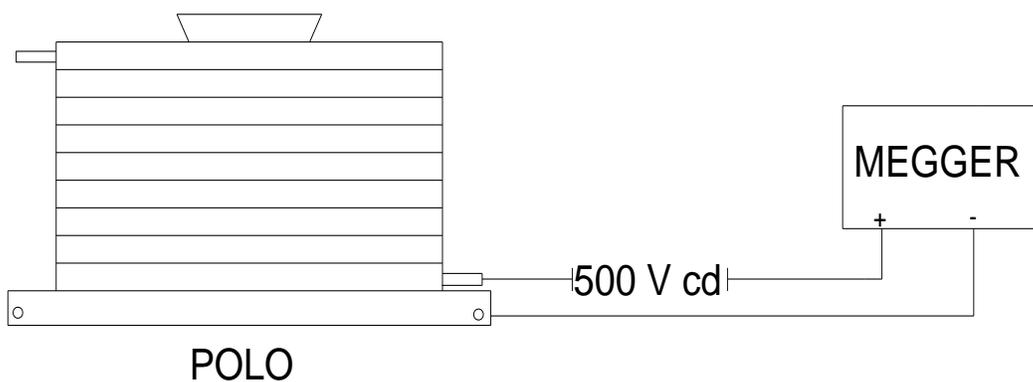


Fig. 4.15 Diagrama de conexión y medición de prueba de resistencia de aislamiento.

Prueba de resistencia óhmica

En esta prueba se aplica un voltaje de 50.6 A. aproximadamente al polo, para revisar la calidad del conductor de la bobina del polo, se espera un valor de 5.25 mΩ aproximadamente, los resultados se observaran en la tabla 8 del capítulo 4.

Esta prueba se realizó con un equipo para realizar la prueba de resistencia óhmica, C1 se conecta a unas de las terminales del polo, tiene como función inyectar corriente, C2 se conecta al otro terminal del polo. P1 se conecta a la misma terminal que C1 y P2 a la misma terminal que C2, esto tiene como función la medición de la diferencia de potencial, y por medio de la ley de ohm se obtiene el valor de la resistencia. Es decir:

$$V = RI$$

$$R = \frac{V}{I}$$

$$R = \frac{265 \text{ mV}}{50.6 \text{ A}} = 5.24 \text{ m} \Omega$$



Fig. 4.16 Medición de resistencia óhmica a polos

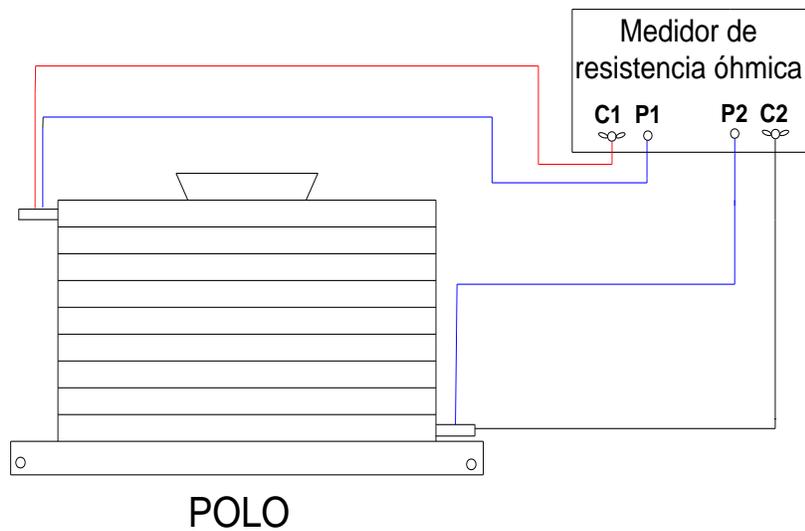


Fig. 4.17. Diagrama de conexión y medición de prueba de resistencia óhmica

Prueba de caída de tensión entre espiras

Ya retirada la bobina del núcleo, realizar la prueba de caída de tensión entre espiras, esta prueba consiste en aplicar un voltaje de 220 V de c. a. entre espiras del polo, se conectara una lámpara, la cual tendrá como función ser una resistencia, los resultados se observaran en la tabla 9 del capítulo 4.

Para la medición es necesario contar con un voltímetro, este se conectara en paralelo a las espiras del polo. Los resultados se llenaran en el formato correspondiente.

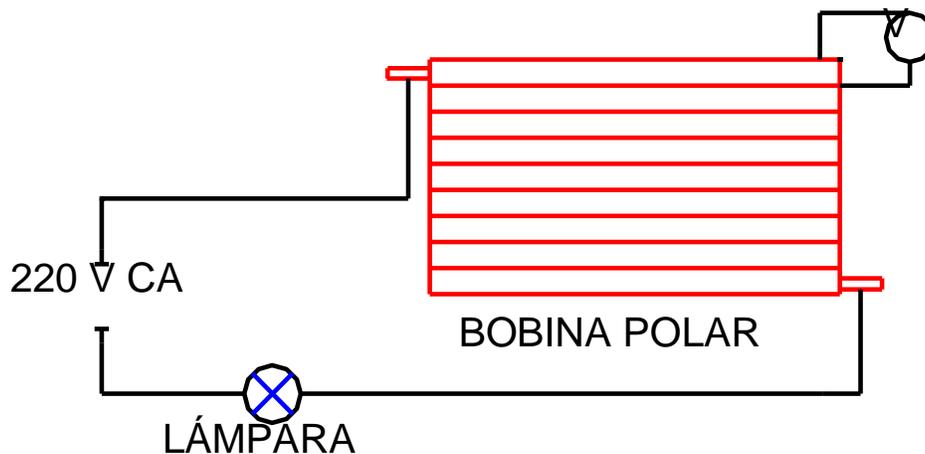


Fig.4.18 diagrama de conexión y medición de prueba de caída de tensión entre espiras

Proceso de mantenimiento a polos

Después de la prueba de resistencia óhmica, se separa el núcleo y bobina polar para dar mantenimiento. Para ello se quita cinturón, el cual tiene como función ajustar la bobina y el polo. también se quitan los cuellos, tanto el inferior como superior.



Fig. 4.19 bobina polar y núcleo separados

Del núcleo se quita la placa aislante así como la baquelita del polo.

Después a la bobina polar le dan limpieza con fibra scotch y solvente dieléctrico, para finalmente volver a aplicar barniz.



Fig. 4.20 Aplicación del barniz en la bobina polar.

Limpiar con removedor de barniz a los cuellos superiores e inferiores, para posteriormente volver a aplicar el barniz.



Fig. 4.21 Núcleo, bobina y cuello después de la aplicación del barniz.

Aplicar el papel nomex en la parte superior de la bobina polar y en la parte inferior del núcleo esto se pega con la resina devcon, este papel se aplica para evitar las partículas de polvo y así prevenir que penetre en la bobina y el núcleo, y así descartar una falla a tierra.

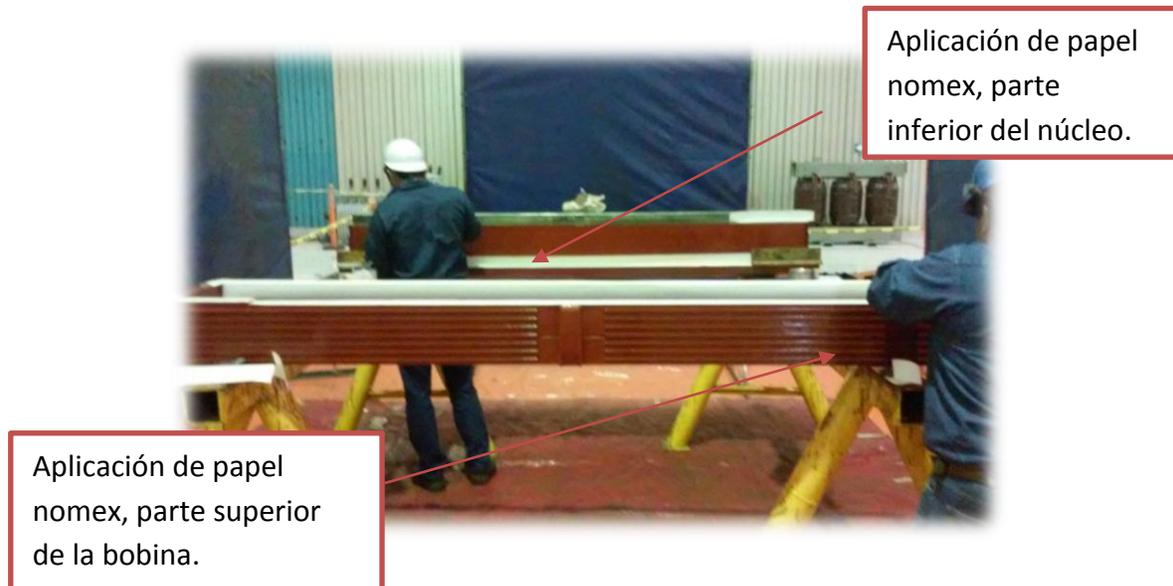


Fig.4.22 Aplicación de papel nomex en el núcleo y en la bobina.

Colocar la baquelita en el núcleo, Así mismo en la parte superior se le coloca silicón de alta temperatura, para evitar suciedad al núcleo. Así como la placa aislante.



Fig. 4.23 Aplicación de la baquelita al núcleo.

En conjunto con los soportes, y la grúa, se coloca el núcleo para posteriormente ensamblar a la bobina.



Fig. 4.24 Colocación de núcleo, para unión con bobina.

Con la ayuda de la grúa se une la bobina polar al núcleo. Después se coloca una armadura para apretar el núcleo y la bobina.



Fig. 4.25 Unión y apriete del núcleo con la bobina polar.

Para la limpieza de las lanas se utiliza una lija de agua marca FANDELI (120) y se aplica solvente.



Fig. 4.26 Limpieza de lanas.

Para la limpieza de las cuñas y contra cuñas ocupan un aparato para lijar llamado carda, después del lijado se aplica solvente.

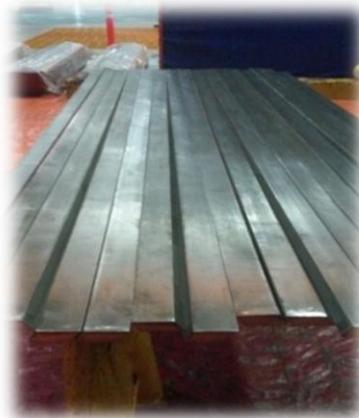


Fig. 4.27 Cuñas y contra cuña después de mantenimiento.

4.3 Mantenimiento a Equipos Auxiliares

Pruebas a apartar rayos

Resistencia de aislamiento.

Con el objeto de determinar mediante pruebas dieléctricas el posible deterioro o contaminación en apartarrayos de una sección, o en unidades de varias secciones, se efectúan las pruebas de resistencia de aislamiento. Con la prueba de resistencia de aislamiento se detecta:

- a) Contaminación por humedad y/o suciedad en las superficies internas de porcelana.
- b) Entre-hierros corroídos.
- c) Depósitos de sales de aluminio, aparentemente causados por interacción entre la humedad y los productos resultantes del efecto corona.
- d) Porcelana fisurada, porosa o rota.
- e) Envoltente polimérico degradado, contaminado o fisurado



FIG. 4.28 Prueba de R.A a apartarrayos.

Pruebas a transformadores

Prueba de resistencia de aislamiento

La resistencia de aislamiento se define como la resistencia en megaohms que ofrece un aislamiento al aplicarle un voltaje de corriente directa durante un tiempo dado, medido a partir de la aplicación del mismo. A la corriente resultante de la aplicación de voltaje, se le denomina “corriente del aislamiento” y consta de dos componentes principales:

Las conexiones para realizar la prueba se realizan de la siguiente manera:

Al efectuar las pruebas de resistencia de aislamiento a los transformadores, hay diferentes criterios en cuanto al uso de la terminal de guarda del medidor. El propósito de la terminal de guarda es para efectuar mediciones en mallas con tres elementos (devanados AT, devanado BT, y tanque), y puede decirse que la corriente de fuga de un sistema de aislamiento conectada a esa terminal no interviene en la medición.

Si no se desea utilizar la guarda, el tercer elemento se conecta a través del tanque a la terminal de tierra, la corriente de fuga solamente tendrá la trayectoria del devanado de prueba a tierra. Con el objeto de unificar la manera de probar los transformadores de potencia, en este procedimiento se considera la utilización de la terminal de guarda.

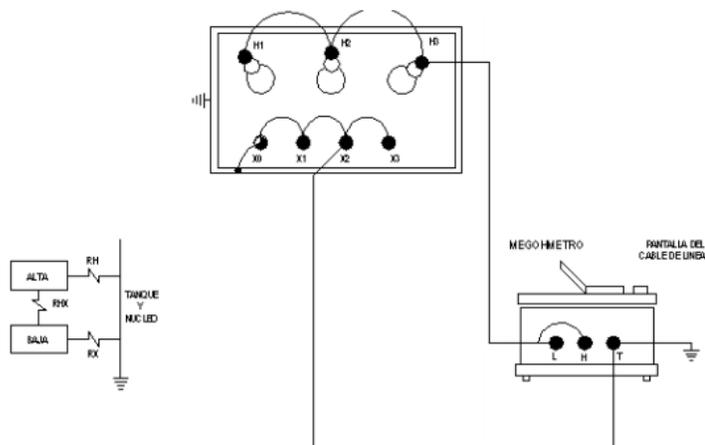


FIG. 4.29 diagrama de medición de RI al transformador

Prueba de relación de transformación

La relación de transformación puede definirse en función de las características de construcción o en función de las variables de operación. En función de las características de construcción es la razón del número de vueltas del devanado de alta tensión al número de vueltas del devanado de baja tensión.

En esta definición incluimos la necesidad de que el transformador se excite en vacío, es decir, sin carga, puesto que si existiera corrientes en los devanados, las tensiones que mediríamos no serían iguales a las fuerzas electromotrices inducidas, debido a que se producirían caídas de voltaje en las resistencias y reactancias de dispersión. Para determinar la relación de transformación en laboratorio existen tres métodos:

- Método de los voltímetros.
- Método del transformador patrón.
- Método del potenciómetro de resistencia.

Básicamente, los tres métodos consisten en aplicar a uno de los devanados una tensión alterna, y detectar el valor del voltaje inducido en el otro devanado. Los artificios para llevar a cabo estas operaciones son los que dan las tres variantes fundamentales



FIG. 4.30 prueba de relación de transformación

CAPITULO V

5.1 Resultados

5.1.1 Prueba de Alta Tensión

INICIAL

PRUEBA POR FASE								
	Voltaje		Corriente					
FASE	Inicial	Final	Inicial	15 seg	30 seg	45 seg	60 seg	Final
A	14	14.1	14 μ A	9 μ A	6 μ A	4 μ A	3 μ A	3 μ A
B	14	14.1	12 μ A	7 μ A	5 μ A	4 μ A	3 μ A	3 μ A
C	14	14.2	21 μ A	11 μ A	7 μ A	4 μ A	3 μ A	3 μ A

DESPUES DE REPARACIONES

PRUEBA POR FASE								
	Voltaje		Corriente					
FASE	Inicial	Final	Inicial	15 seg	30 seg	45 seg	60 seg	Final
A	14	14	27 μ A	24 μ A	23 μ A	23 μ A	23 μ A	23 μ A
B	14	14.2	41 μ A	31 μ A	28 μ A	27 μ A	26 μ A	26 μ A
C	14	14.1	23 μ A	18 μ A	16 μ A	13 μ A	13 μ A	13 μ A

Como se observa en la segunda tabla los resultados del mantenimiento fueron mejores que los de la primera tabla, esta prueba consiste en que calidad se encuentra el aislamiento del devanado de estator se hace fase por fase hasta llegar al minuto.

TABLA 1 Resultados de la prueba de alta tensión, inicial y después de reparación.

5.1.2 Prueba de Resistencia de Aislamiento por Fases

CAPACITANCIA										
TEMPERATURA		27.4 °C			27.9 °C			27.9 °C		
PARTE PROBADA		ϕ A			ϕ B			ϕ C		
VOLTAJE DE PRUEBA		5000 V			5000 V			5000 V		
CONEXIÓN DE PRUEBA	LINEA	A ϕ			ϕ B			ϕ C		
	GUARDA									
	TIERRA	BC			AC			AB		
TIEMPO	LECTURA	K	MΩ	LECTURA	K	MΩ	LECTURA	K	MΩ	
15 Seg.	646		646	623		623	633		633	
30 "	1,170		1,170	1170		1170	1170		1170	
45 "	1,680		1,680	1660		1660	1630		1630	
1 Min.	2,100		2,100	2090		2090	2080		2080	
2 "	3,610		3,610	3700		3700	3560		3560	
3 "	4,940		4,940	4910		4910	4830		4830	
4 "	6,230		6,230	6200		6200	5970		5970	
5 "	7,430		7,430	7420		7420	7120		7120	
6 "	8,590		8,590	8480		8480	8260		8260	
7 "	9,640		9,640	9580		9580	9260		9260	
8 "	10,600		10,600	10700		10700	10300		10300	
9 "	11,500		11,500	11600		11600	11300		11300	
10 "	12,500		12,500	12700		12700	12000		12000	
RELACION 3/1			2.352380952			2.349282297			2.322115385	
RELACION 10/1			5.952380952			6.076555024			5.769230769	

Tabla 2 resultados de resistencia de aislamiento por fases.

5.1.3 Prueba de Resistencia de Aislamiento Después de Reparación

CONEXIÓN DE PRUEBA	LINEA	A ϕ		ϕ B			ϕ C		
	GUARDA								
	TIERRA	BC		AC			AB		
TIEMPO	LECTURA	K	M Ω	LECTURA	K	M Ω	LECTURA		M Ω
15 Seg.	285		285	269		269	377		377
30 "	375		375	256		256	529		529
45 "	440		440	406		406	681		681
1 Min.	488		488	444		444	803		803
2 "	592		592	531		531	1150		1150
3 "	644		644	579		579	1400		1400
4 "	678		678	610		610	1600		1600
5 "	706		706	636		636	1770		1770
6 "	727		727	656		656	1900		1900
7 "	744		744	672		672	2000		2000
8 "	759		759	688		688	2140		2140
9 "	770		770	700		700	1230		1230
10 "	783		783	710		710	2340		2340
RELACION 3/1			1.319672131			1.304054054			1.743462017
RELACION 10/1			1.604508197			1.599099099			2.914072229

TEMPERATURA OBTENIDA CON: _____

Tabla 3 resultados de la prueba de resistencia de aislamiento después de las reparaciones

La prueba de resistencia de aislamiento sirve para comprobar el estado del aislamiento del devanado en relación a la humedad y suciedad que pudiera existir, es por ello que el resultado en la relacion10/1 deberá ser >1, esto quiere decir que el aislamiento del devanado se encuentra en un estado óptimo.



5.1.4 Prueba de Caída de Tensión a Polos del Rotor

Datos de la prueba

Tensión aplicada al campo: 224.3

Unidad no: u-4

Equipo para prueba: multímetro fluke 117

Datos del generador

Marca: asea

no. serie: 6554666

Capacidad nominal: 191 MVA.

Tensión del campo: 500 v.

Tensión nominal: 13.8 KV.

No. POLO	VOLTAJE	No. POLO	VOLTAJE	No. POLO	VOLTAJE
1	4.5	20	4.149	39	3.739
2	4.334	21	4.487	40	4.195
3	4.487	22	4.528	41	4.307
4	4.102	23	4.391	42	4.396
5	4.122	24	3.978	43	4.494
6	4.322	25	3.987	44	2.817
7	4.341	26	3.878	45	0.622
8	3.946	27	4.166	46	2.451
9	3.877	28	4.19	47	3.723
10	3.711	29	4.48	48	4.026
11	3.875	30	4.511	49	4.171
12	4.211	31	4.498	50	3.729
13	4.436	32	4.586	51	3.71
14	4.195	33	4.655	52	3.79
15	4.095	34	4.174	53	3.781
16	3.895	35	4.053	54	3.792
17	3.167	36	3.668	55	4.843
18	3.58	37	3.494	56	4.543
19	3.821	38	3.465		

Tabla 4 resultados de la prueba de caída de tensión a los polos del generador
Polos que se les dio mantenimiento

Los cuadros en gris, se les dará mantenimiento a estos polos. Ya que son los polos que obtuvieron los valores más bajos de voltaje.



5.1.5 Prueba Resistencia de Aislamiento a Polos del Rotor

TEMPERATURA	RESISTENCIA DE AISLAMIENTO						RESISTENCIA OHMICA					
	POLO NUM <u>18</u> AL POLO NUM			POLO NUM <u>19</u> AL POLO NUM			POLO NUM <u>46</u> AL POLO NUM			POLO NUM <u>47</u> AL POLO NUM		
VOLTAJE DE PRUEBA	ANTES DEL MANTENIMIENTO			DESPUES DEL MANTENIMIENTO			ANTES DEL MANTENIMIENTO			DESPUES DEL MANTENIMIENTO		
CONEXIÓN DE PRUEBA	LINEA						LINEA					
	GUARDA						GUARDA					
	TIERRA						TIERRA					
TIEMPO	LECTURA	K	MΩ									
15 Seg.	103.2	-	103.2	90.7	-	90.7	91.6	-	91.6	96	-	96
30 "	169.2	-	169.2	151.9	-	151.9	152.3	-	152.3	161.2	-	161.2
45 "	227.7	-	227.7	198.3	-	198.3	219.5	-	219.5	215.7	-	215.7
1 Min.	285.1	-	285.1	259.7	-	259.7	252	-	252	257.1	-	257.1
2 "	449.3	-	449.3	328.3	-	328.3	413	-	413	420	-	420
3 "	656.1	-	656.1	498	-	498	495	-	495	506	-	506
4 "	682	-	682	670	-	670	585	-	585	595	-	595
5 "	780	-	780	628	-	628	644	-	644	644	-	628
6 "	780	-	780	628	-	628	644	-	644	644	-	644
7 "	780	-	780	628	-	628	644	-	644	644	-	644
8 "	780	-	780	628	-	628	644	-	644	644	-	644
9 "	780	-	780	628	-	628	644	-	644	644	-	644
10 "	780	-	780	628	-	628	644	-	644	644	-	644
RELACION 3/1			2.301			1.917			1.964			1.968
RELACION 10/1			2.735			2.418			2.555			2.504



TEMPERATURA	RESISTENCIA DE AISLAMIENTO						RESISTENCIA OHMICA					
	POLO NUM <u>44</u> AL POLO NUM			POLO NUM <u>45</u> AL POLO NUM			POLO NUM <u>16</u> AL POLO NUM			POLO NUM <u>17</u> AL POLO NUM		
VOLTAJE DE PRUEBA	ANTES DEL MANTENIMIENTO			DESPUES DEL MANTENIMIENTO			ANTES DEL MANTENIMIENTO			DESPUES DEL MANTENIMIENTO		
CONEXIÓN DE PRUEBA	LINEA						LINEA					
	GUARDA						GUARDA					
	TIERRA						TIERRA					
TIEMPO	LECTURA		MΩ	LECTURA		MΩ	LECTURA		MΩ	LECTURA		MΩ
15 Seg.	57.7	-	57.7	92	-	92	91.7 gh	-	91.7 gh	94.2gh	-	94.2gh
30 "	84.9	-	84.9	156.1	-	156.1	146.6g h	-	146.6g h	155.6	-	155.6
45 "	105.7	-	105.7	205	-	205	186.6g h	-	186.6g h	210	-	210
1 Min.	121.2	-	121.2	238.9	-	238.9	227.7	-	227.7	228.8	-	228.8
2 "	158.5	-	158.5	312.4	-	312.4	375.5g h	-	375.5g h	389.8	-	389.8
3 "	183.3	-	183.3	440	-	440	456	-	456	485	-	485
4 "	183.3	-	183.3	508.2	-	508.2	541	-	541	587	-	587
5 "	183.3	-	183.3	547.6	-	547.6	638	-	638	688	-	688
6 "	183.3	-	183.3	547.6	-	547.6	638	-	638	688	-	688
7 "	183.3	-	183.3	547.6	-	547.6	638	-	638	688	-	688
8 "	183.3	-	183.3	547.6	-	547.6	638	-	638	688	-	688
9 "	183.3	-	183.3	547.6	-	547.6	638	-	638	688	-	688
10 "	183.3	-	183.3	547.6	-	547.6	638	-	638	688	-	688
RELACION 3/1			1.512			1.84			2.002			2.119
RELACION 10/1			1.512			2.292			2.801			3.006

Tabla 5 resultados de la prueba de resistencia de aislamiento a los polos del generador

La prueba de resistencia de aislamiento aplicada al devanado del polo, comprobar el estado del aislamiento del devanado en relación a la humedad, suciedad, o polvo que pudiera existir, es por ello que el resultado en la relacion10/1 deberá ser >1, esto quiere decir que el aislamiento del devanado se encuentra en un estado óptimo.

5.1.6 Prueba de Resistencia Óhmica

No. Polo	Corriente (A)	Voltaje (V)	Resistencia Ohmica (Ω)
16	50.6	265.7	5.25
17	50.6	267.9	5.26
18	50.6	265.2	5.26
19	50.6	265.1	5.25
44	50.6	265	5.25
45	50.6	256.7	5.07
46	50.6	265.7	5.2
47	50.6	256.8	6.06

Tabla 6 resultados de la prueba de resistencia óhmica.

Esta prueba consiste en medir la calidad del conductor de la bobina, es por ello que las resistencias medidas deben tener valores bajos, a comparación de la corriente, ya que esta debe ser de mayor valor.



5.1.7 prueba de caída de tensión entre espiras

NUMERO DE POLO: 45 UNIDAD: 4

MEDICION ENTRE ESPIRAS	LECTURA mV
1-2	0.37
2-3	0.71
3-4	0.40
4-5	0.73
5-6	0.40
6-7	0.72
7-8	0.37
8-9	0.69
9-10	0.32
10-11	0.61
11-12	0.26
12-13	0.52
13-14	0.21
14-15	0.30
15-16	0.21
16-17	0.47
17-18	0.22
18-19	0.53
19-20	0.20
20-21	0.27
21-22	0.56
22-23	0.26
VOLTAJE TOTAL	9.33

Tensión de prueba: 127V

Corriente de prueba: 5.68^a

Tabla 7 Resultados de la prueba de caída de tensión entre espiras



5.1.8 pruebas de resistencia de aislamiento al grupo

PARTE PROBADA	PRUEBA AL GRUPO	
VOLTAJE DE PRUEBA	5000V	
CONEXIÓN DE PRUEBA	LINEA	ESTRELLA NEUTRO
	GUARDA	
	TIERRA	TIERRA
TIEMPO	LECTURA	$M\Omega$
15 Seg.	4.05	4.05
30 "	7.82	7.82
45 "	7.93	7.93
1 Min.	7.98	7.98
2 "	8.05	8.05
3 "	8.05	8.05
4 "	8.05	8.05
5 "	8.05	8.05
6 "	8.05	8.05
7 "	8.05	8.05
8 "	8.05	8.05
9 "	8.05	8.05
10 "	8.05	8.05
RELACION 3/1	1.00877193	
RELACION 10/1		

Tabla. 8 Resultados de la prueba de R.A a grupo del generador.



5.1.9 prueba de resistencia de aislamiento al campo

PARTE PROBADA	CAMPO	
VOLTAJE DE PRUEBA	500V	
CONEXIÓN DE PRUEBA	LINEA	ANILLO
	GUARDA	
	TIERRA	TIERRA
TIEMPO	LECTURA	MΩ
15 Seg.	81.6	81.6
30 "	83.6	83.6
45 "	83.8	83.8
1 Min.	84.1	84.1
2 "	80	80
3 "	80	80
4 "	80	80
5 "	80	80
6 "	80	80
7 "	80	80
8 "	80	80
9 "	80	80
10 "	80	80
RELACION 3/1	0.95124851	

Tabla. 9 Resultados de la prueba de R.A al campo del generador



Conclusiones y recomendaciones

El mantenimiento es importante en la vida diaria, este dependerá de las necesidades que se tengan, por ejemplo, ya sea un mantenimiento eléctrico o mecánico, que debe aplicarse en una empresa ya sea chica, mediana o grande etc. Es por eso que se hacen rutinas de mantenimiento para cuidar a los equipos que se tengan ya que si no se realiza, ese equipo podría presentar fallas en un determinado tiempo, esto implicaría pérdidas económicas y por consecuencia un paro de suministro de la empresa.

Con la implementación del sistema de mantenimiento eléctrico preventivo-predictivo, y mecánico, se evitan posibles paradas en los equipos y se logra tener una mejor disponibilidad de los mismos ya que estos equipos son la base fundamental de la producción y el bienestar económico para la empresa, por lo tanto no debe descuidarse.

El estator de un generador está expuesto a vibraciones, calor, humedad, suciedad de distinto tipo, y otros factores que afectan diferentes partes del mismo, el devanado de este debe tener además de un nivel de aislamiento eléctrico alto, también debe de dar cierta protección mecánica a los bobinados, de igual forma las partes del rotor, en especial los polos, los equipos auxiliares, tales como los transformadores, apartarrayos entre otros.

Si el mantenimiento no se diera adecuadamente al programa establecido el equipo operaría de una mal manera por eso es recomendable estar organizado para un buen mantenimiento eléctrico.

Con ello se podrá tener una planeación adecuada en donde se darán los mantenimientos bien estructurados y sin equivocaciones, y por último el programa tendrá la opción de ser modificado cuando se requiera, y esto lo podrá hacer el encargado.

Es importante agregar que el 65% de la energía eléctrica que llega a nuestras casas son alimentados por centrales hidroeléctricas. Las cuales transforman la energía potencial del agua para generar energía eléctrica. La energía eléctrica ayuda para hacer de muchos de nuestros trabajos algo más fáciles con la ayuda de los objetos tecnológicos que pueden funcionar gracias a ella.

Luego de realizar todas las etapas para la implementación del sistema de mantenimiento eléctrico, se desarrolló un manual para los posibles usuarios del módulo de servicio, con la finalidad de optimizar el proceso de aprendizaje.



Recomendaciones.

- El Personal del departamento se reunirá para analizar programa de actividades.
- Se Definirán los frentes de trabajo.
- Cada frente de trabajo deberá sacar licencia local para los trabajos realizados.
- Todo el personal debe contar con su equipo mínimo de seguridad personal: ropa de trabajo, casco, guantes, gafas, tapones.

Referencias Bibliográficas

- [1] Chapman S. J., Máquinas Eléctricas, Ed. Mcgraw-Hill, México 1995.
- [2] Cortés G., Control de motores de inducción utilizando la técnica de rediseño de lyapunov, tesis maestría, Cenidet, Cuernavaca, Mor., Diciembre 2002.
- [3] Luis Martínez Barrios. Apuntes de máquinas eléctricas y construcción de máquinas.
- [4] Fink, Donald G., Wayne Beaty, H. Manual De Ingeniería Eléctrica. XIII Edición. Tomo II. México. Mc Graw Hill. 1996.
- [5] Theodore Wildi, Sexta Edición 2007, Maquinas Eléctricas Y Sistemas De Potencia, Naucalpan De Juárez Edo. De México, Pearson Educación De México S.A. De C.V.
- [6] Departamento de Expresión Grafica. AutoCAD y Normativa Vigente ISO.
- [7] Jesus Fraile Mora. Maquinas eléctricas Quinta Edición. ED. MC GRAW HILL-2003.
- [8] Nava José D. Teoría De Mantenimiento, Definición Y Organización. 1ª Edición. Mérida-Venezuela. 1992.
- [9] Prentice Hall, Maquinas Eléctricas Rotativas Y Transformadores, 4 Edición, 1997.
- [10] Manual Técnico De Mantenimiento A Generadores Eléctricos C.F.E. 2009.
- [11] Harry Mileaf, Tercera Edición 1985, Electricidad Serie Uno Siete, México D.F. Editorial Limusa S. A. De C. V.



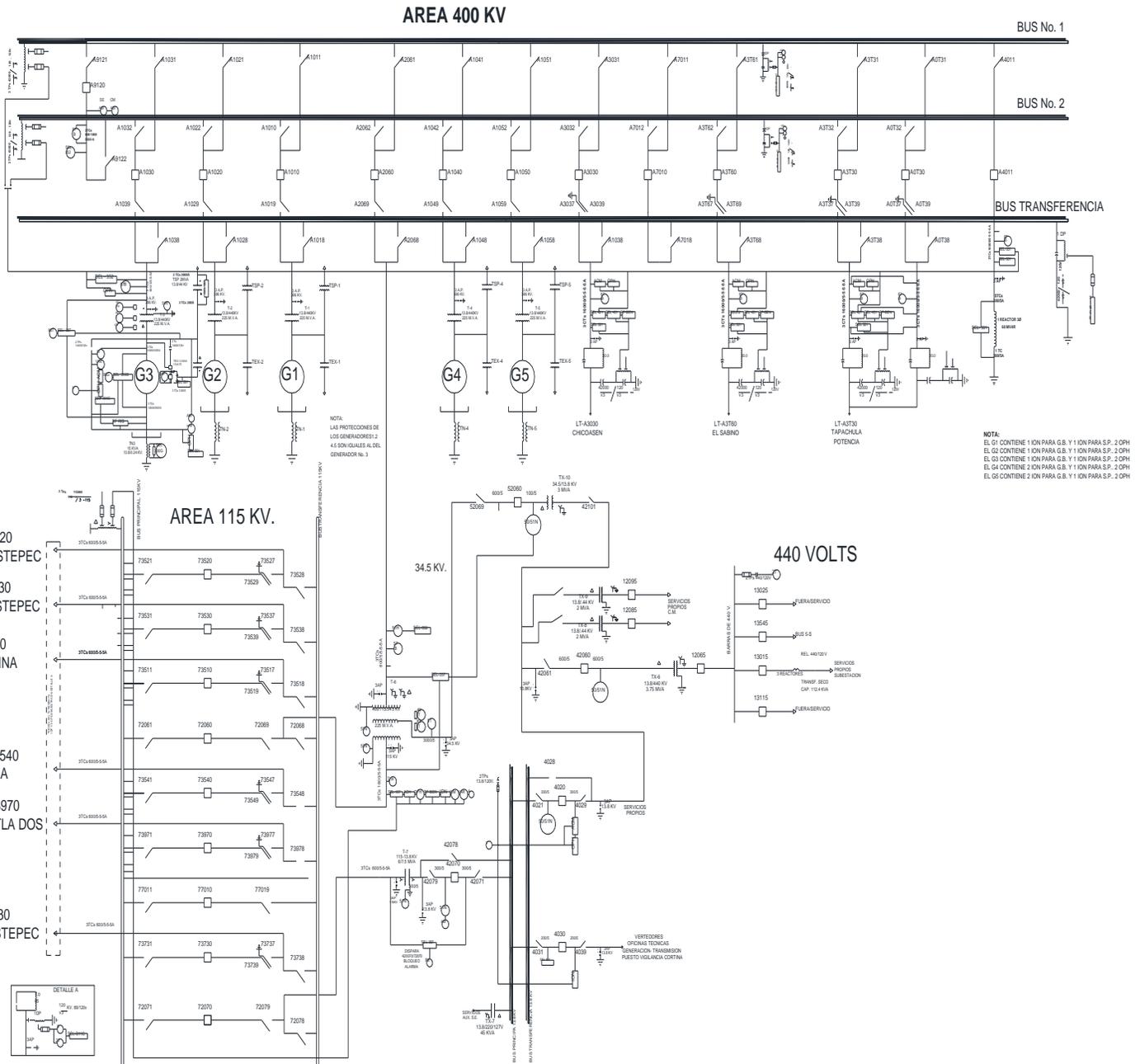
[12] C. Robert Chapman, Electromechanical Energy Conversión, Primera Edición 1965, Eeuu, Blaisdell Publishing Company.

[13] Doble Engineering Company, Factor De Potencia Versus Factor De Disipación, Pdf-097, 1994.

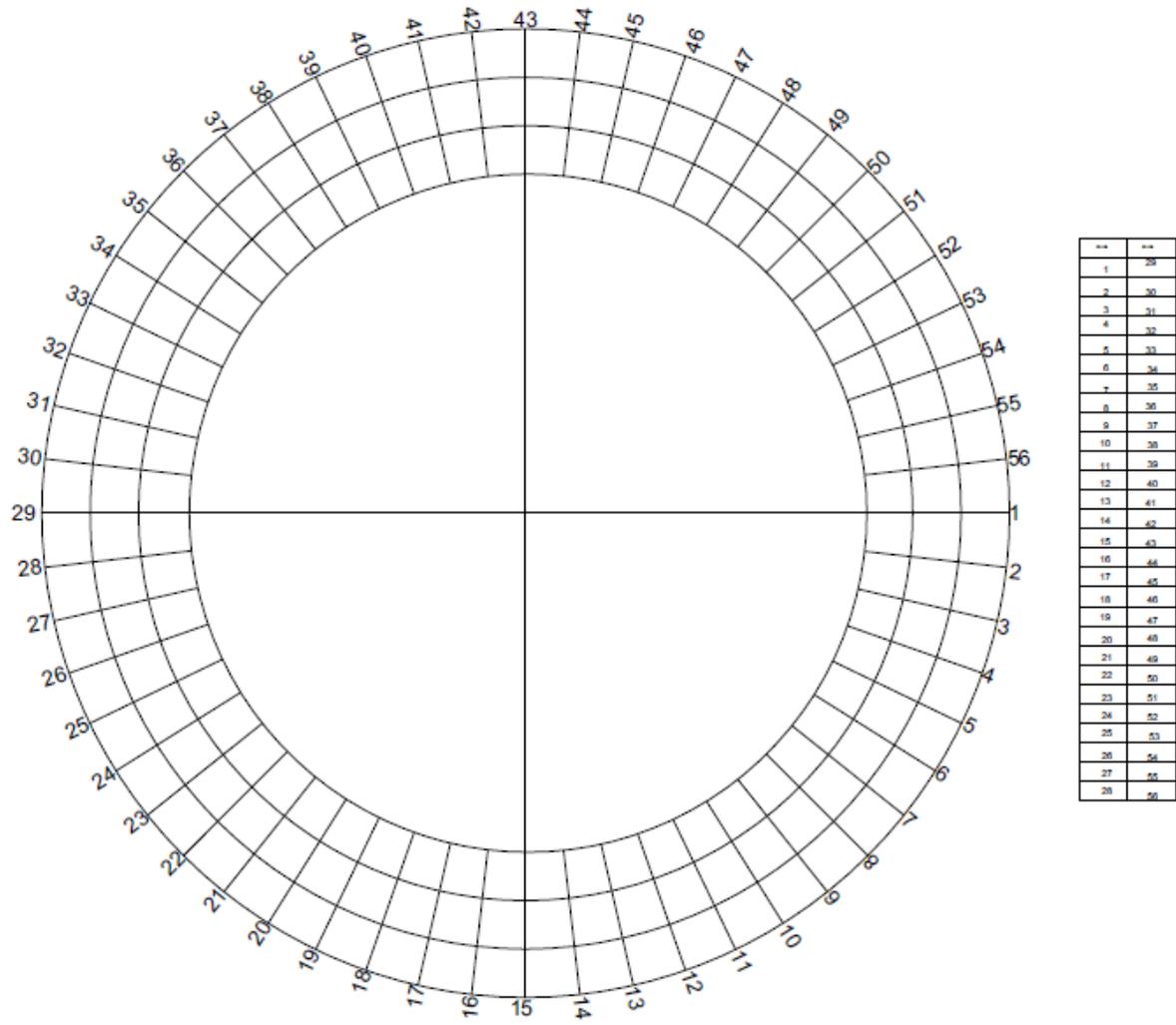
[14] Norma IEEE 1434-2000, Trial.Use Guide To The Measurement Of Partial Discharges In Rotating Machinery, Usa, 2000.

[15] Manual de Mantenimiento de la C.H. Belisario Dominguez.

Anexo A: Diagrama Unifilar Subestación Angostura



Anexo B: Diagrama de polos del Generador



Anexo C: Reporte Fotográfico



FIG. C1 UNIDAD GENERADORA ANTES DEL MANTENIMIENTO



FIG. C2 PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO AL CAMPO DEL GENERADOR



FIG. C3 DESMONTAJE DEL GENERADOR

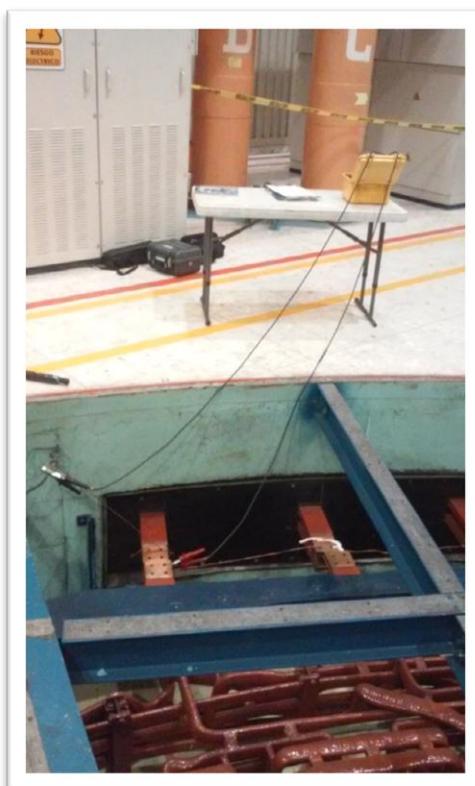


FIG. C4 PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO POR FASE AL GENERADOR



FIG. C5 PRUEBA DE ALTA TENSION POR FASE AL GENERADOR



FIG. C6 PRUEBA DE CAIDA DE TENSION A POLOS DEL ROTOR



FIG. C7 POLOS RETIRADOS A DAR MANTENIMIENTO



FIG. C8 PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO A POLOS



FIG. C9 PRUEBA DE RESISTENCIA OHMICA A POLOS



FIG. C10 PRUEBA DE ALTA TENSION REALIZADO POR LAPEM



FIG. C11 POLO EN MANTENIMIENTO

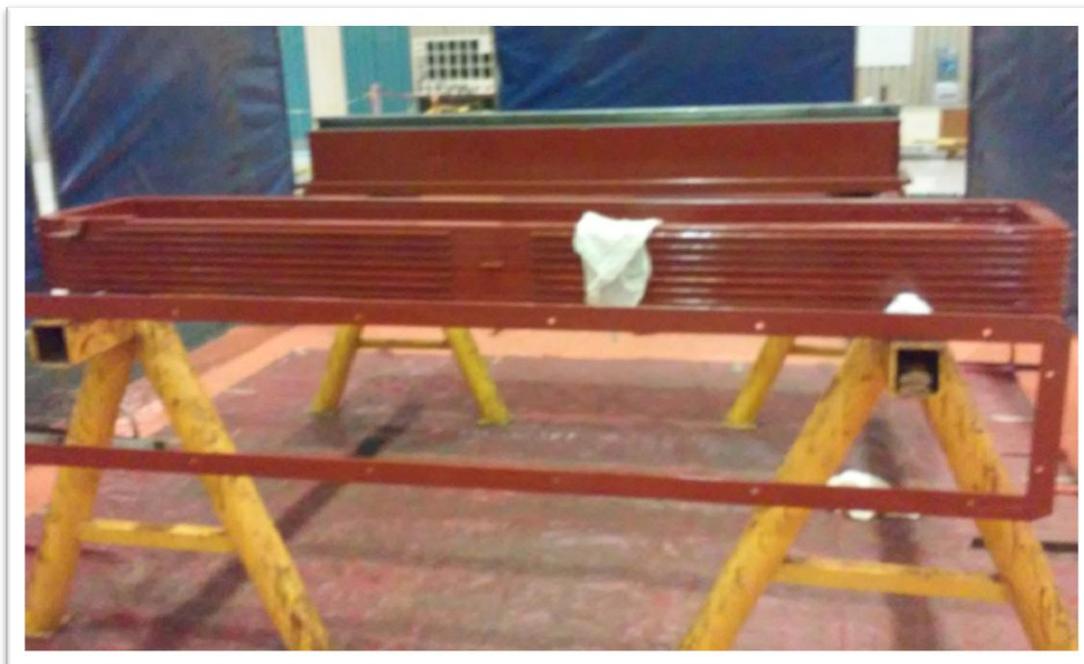


FIG. C12 POLO DESPUES DEL MANTENIMIENTO



FIG. C 13 REVISION DE LAMINADO, PUNTOS DE SOLDADURA EN DEDOS OPRESORES Y REVISION DE APRIETE DE DEDOS



FIG. C14 APRIETE DE DEDOS OPRESORES



FIG. C15 MONTAJE DE POLOS



FIG. C16 MONTAJE DE TOLVAS



FIG. C17 MONTAJE DEL GENERADOR