



SUBSECRETARIA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
TECNOLOGICO NACIONAL DE MÉXICO  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIERREZ



## INGENIERIA ELECTRICA

**MANTENIMIENTO MENOR Y PRUEBAS A LA UNIDAD 4 DE LA  
CENTRAL HIDROELECTRICA MANUEL MORENO TORRES**

### RESIDENCIA PROFESIONAL

ALEXIS EDUARDO SANTIAGO HERNANDEZ

**ASESOR INTERNO:**

ING. ALONSO JUAREZ ONTIVEROS

**ASESOR EXTERNO:**

ING. RENE ESQUINCA ESPINOZA

**COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD  
DICIEMBRE 2016**

## **LISTADO DE ABREVIATURAS Y SIMBOLOS**

<b>C.H.</b>	<b>Central Hidroeléctrica</b>
<b>f.e.m</b>	<b>Fuerza Electromotriz</b>
<b>GΩ</b>	<b>Giga ohm</b>
<b>I.A</b>	<b>Índice de Absorción</b>
<b>I.P.</b>	<b>Índice de Polarización</b>
<b>KV</b>	<b>Kilo Volts</b>
<b>KVA</b>	<b>Kilo Volts Amperes</b>
<b>MW</b>	<b>Mega Watts</b>
<b>MΩ</b>	<b>Mega Ohm</b>
<b>Mm</b>	<b>Milímetros</b>
<b>m.s.n.m.</b>	<b>Metros Sobre el Nivel del Mar</b>
<b>NAME</b>	<b>Nivel de Agua Máxima Extraordinaria</b>
<b>NAM</b>	<b>Nivel de Agua Máxima de Operación</b>
<b>NAMINO</b>	<b>Nivel de Agua Mínima de Operación</b>
<b>R.P.M.</b>	<b>Revoluciones Por Minuto</b>
<b>S.P.</b>	<b>Servicios Propios</b>
<b>VCA</b>	<b>Voltaje Corriente Alterna</b>
<b>VCD</b>	<b>Voltaje Corriente Directa</b>



Comisión Federal de Electricidad

MANTENIMIENTO MENOR Y PRUEBAS  
A LA UNIDAD 4 DE LA CENTRAL HIDROELECTRICA  
MANUEL MORENO TORRES



**Y Estrella**

**Δ Delta**

**Ω Ohm**

## INDICE

<b>1. Introducción</b>	5
1.1 Antecedentes	5
1.2 Estado del Arte	6
1.3 Justificación	7
1.4 Objetivo	8
1.5 Metodología	8
<b>2. Fundamento Teorico</b>	9
2.1 Descripción de la Central Hidroelectrica Manuel Moreno Torres	9
2.2 Generador Electrico	13
2.3 Transformador de Potencia	17
2.4 Transdormador de Excitación	21
2.5 Sistema de Tierras	21
<b>3. Desarrollo</b>	22
3.1 Mantenimiento de Generadores o Alternadores Hidroelectricos	22
3.2 Mantenimiento Menor de la U-4	23
3.3 Prueba de Resistencia de Aislamiento al Campo del Geerador	23
3.4 Prueba de Conjunto	25
3.5 Retiro de Tapas Antiderrapantes	26
3.6 Retiro de Tolvas Superiores e Inferiores	27
3.7 Desconexion del Generador Fase-Neutro	29
3.8 Prueba Caída de Tensión Polo a Rotor	32
3.9 Retiro de Tapas de la Araña y Viguetas	34
3.10 Desconexión y Desmontaje de los Polos	35
3.11 Limpieza Cabezales Superior e Inferior	39
3.12 Prueba de Resistencia de Aislamiento a Fases del Generador	40
3.13 Inspección y Reacuñado de las Bobinas del Generador	41
3.14 Desmontaje Barras de Excitación y Mantenimiento	44
3.15 Mantenimiento a Huecos (radiadores)	46
3.16 Mantenimiento a Polos Desmontados	47
3.17 Montaje y Conexiones de Polos	49
3.18 Conexión de Trenzas de Salida de Fase y Neutro del Generador	50
3.19 Montaje de Tolvas Superior e Inferior y Tapas Antiderrapantes	51
<b>4. Mantenimiento a Equipos Complementarios Auxiliares del Generador</b>	53
4.1 Transformador de Excitación	53
4.2 Transformador de Servicios Propios	54
4.3 Transformador de Neutro	55
4.4 Bus de Fase Aislada	56
4.5 Trabajos finales	57
4.6 Puesta en Servicio	57
<b>5. Resultados</b>	58
<b>6. Conclusión</b>	64
<b>7. Bibliografía</b>	65
<b>8. Anexos</b>	67

## **Mantenimiento Menor y Pruebas a la Unidad 4 de la Central Hidroeléctrica Manuel Moreno Torres**

### **1. Introducción**

#### **1.1 Antecedentes**

La central hidroeléctrica de Chicoasén, Chiapas, tiene como nombre original C.H. Manuel Moreno Torres, se denomina así por el ingeniero del mismo nombre, quien fue Director General de la Comisión Federal de Electricidad durante el sexenio del presidente Adolfo López Mateos (1958- 1964), él fue uno de los principales impulsores de la central.[1]

La C.H. Manuel Moreno Torres cuenta con una presa que se forma de las corrientes que vienen de la cuenca del Alto del río Grijalva y afluentes Sabinal, Suchiapa, Santo Domingo y Hondo. Los principales usos de la presa son la generación de energía hidroeléctrica, riego agrícola, consumo humano, pesca, turismo nacional e internacional, y práctica de deportes acuáticos.

El acceso a la central hidroeléctrica es por la carretera de Tuxtla Gutiérrez a chicoasén, la central consta de una obra electromecánica y una obra civil que la constituyen la cortina, vaso, tubería de presión, obra de toma, casa de máquinas, galería de transformadores, galería de oscilación, vertedores, túneles de desvío, generadores, transformadores, subestación, etc.

La construcción empieza desde el año 1970, la construcción duró cerca de seis años, sin embargo no es sino entre 1980 y mayo de 1981, que las cinco unidades turbogeneradoras fueron puestas en funcionamiento con fines comerciales. Años más tarde, se construyeron tres unidades turbogeneradoras adicionales, estas fueron puestas en funcionamiento en junio de 2004

Su cortina es del tipo enrocamiento, con una elevación de la corona de 402,00 m.s.n.m. y una longitud de corona de 584m de longitud. Su cortina tiene una altura de 262m desde la base, lo que la convierte en una de las presas más altas del país y del mundo, solamente el trabajo de construcción de esta cortina llevo tres años y medio, el centro de esta, se construyó con arcilla mezclada con lutita (roca blanda), con respaldos de enrocamiento; lo que se quería lograr al usar estos materiales era cierta flexibilidad; dado su gran altura y el perfil irregular de la barraca, no debía ser de concreto.

La central fue equipada en 1980, con cinco unidades turbogeneradoras de 300MW cada una, para una capacidad total de 1,500 MW, actualmente cuenta con otras tres unidades generadoras de 300 MW cada una, con lo que la central cuenta ahora con una capacidad instalada de 2,400MW [2].

El área total ocupada por la cuenca es de unos 7940 km cuadrados, cuya cortina y embalse ocupan tierras de los municipios de Usumacinta y San Fernando. La cortina de Chicoasén es de las más altas del mundo. Tiene una longitud de 200m y una altura de 262m, equivalente a cuatros y media veces la de las torres de la catedral de la Ciudad de México (que es la más alta del continente americano y la quinta a nivel mundial).

Sus turbinas y generadores están alojados en una caverna excavada en la roca a 200m de profundidad. La presa se ubica al final del recorrido por el Parque Nacional Cañón del Sumidero y se considera como la cuarta planta de generación de energía hidroeléctrica más productiva del mundo. La energía eléctrica generada por esta planta abastece 35% del consumo nacional de electricidad, así como 20% de la de Centroamérica.

Esta central, forma parte de un complejo de cuatro plantas hidroeléctricas (Malpaso, La Angostura, Chicoasén y Peñitas, por orden de construcción), llamado Sistema Hidroeléctrico del río Grijalva.

En el extremo izquierdo de la cortina se encuentra un monumento, constituido por tres esculturas de obreros, de aproximadamente 5 m de altura; en reconocimiento al personal que hizo posible la realización de esta obra. En la base de la presa se pueden pescar especies como, mojarra negra, mojarra blanca, mojarra roja, mojarra tenhuayaca, jaiba, róbalo, bagre y peje puerco.

La energía generada es transportada a través de diez líneas de transmisión: seis a 400 KV y cuatro de 115 KV. La mayoría de las líneas de alta tensión en 400 KV envían el fluido eléctrico hacia la Ciudad de Veracruz, al área central del país, con un enlace a la central hidroeléctrica La Angostura, en el municipio de Venustiano Carranza, Chiapas.

## 1.2 Estado del arte

Wagner Eduardo Vano; Fernando Bento Silva; Felipe Adriano Silva el 04 abril del 2016[3] presentan la aplicación de la autoestima de generación de inducción que funciona en generadores síncronos para el suministro de sistemas aislados. Los estudios experimentales validan beneficios del uso de generadores de inducción para generación de energía.

Elmer Sorrentino Ramírez; Pamela Villafuerte el 03 de marzo del 2016[4] presentan el efecto de control de generadores y turbinas sobre la estabilidad transitoria de una potencia

en este caso se tomaron tres modelos simplificados para el control de sistemas de excitación y se aplicó un modelo simplificado para el regulador de velocidad.

Mehriar Aghazadeh Tabrizi en diciembre del 2013[5] realizó el estudio de la respuesta de frecuencia con unidades de generación de potencia, efectuó el modelado del generador síncrono con recursos del viento y almacenamiento de energía de la batería. Calculó la frecuencia dinámica en posición diferente del sistema de potencia en la fase.

Jackson Hudson Ignacio Ferreira; Jos Roberto Camacho; Juliana Almansa Malagol el 07 de julio del 2016[6] presentan la contribución al estudio del potencial hidroeléctrico de la estimación de una pequeña central hidráulica, el objetivo es estudiar y desarrollar metodología para la primera etapa de despliegue de la pequeña planta de energía hidroeléctrica, la estimación del potencial hidroeléctrico, etapa en la que se estudia las situaciones favorables y desfavorables para el despliegue de la planta.

Alberto Germán Martínez, el 09 de septiembre del 2015[7] presenta la obtención de los límites de la operación de generadores subexcitados, en este trabajo se presenta un método para encontrar el límite teórico de trabajo del sistema de generador de rotor cilíndrico sobrecargado a modo analítico.

### **1.3 Justificación**

La importancia del mantenimiento consiste en preservar condiciones de operación del equipo instalado y que se encuentra convirtiendo la energía mecánica en energía eléctrica.

Por razones de su constante actividad, este sufre deterioro en sus diversas partes y componentes, por lo que es necesario restituir sus condiciones a valores permisibles para que pueda seguir operando sin riesgos.

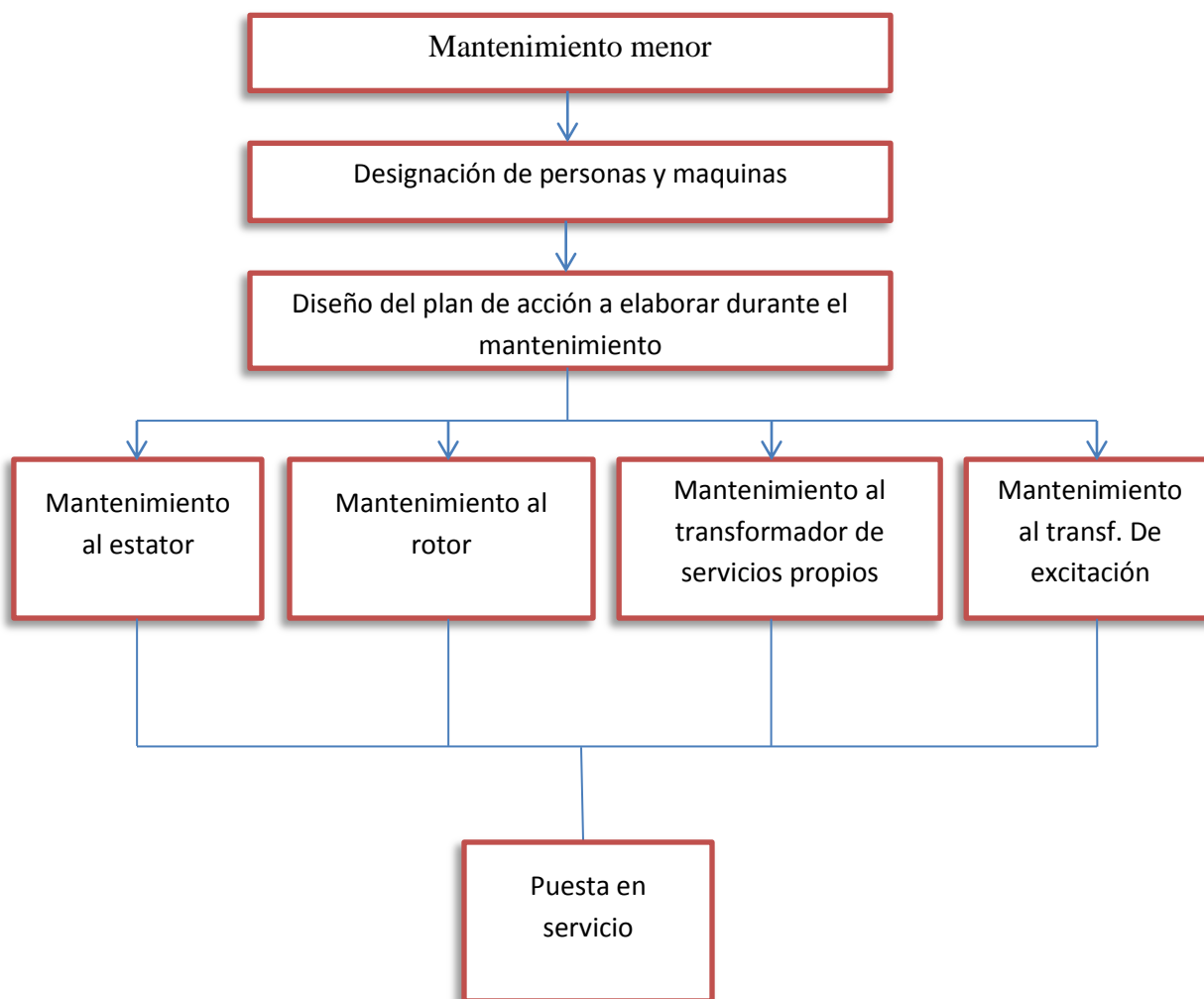
Las constantes variaciones de temperatura, la vibración continua, los esfuerzos mecánicos, sobrecorrientes y sobretensiones que se producen durante las fallas, contaminación de polvo combinado con vapores de aceite o vapores químicos de otra índole, la humedad en el circuito de aire, fugas de agua en los circuitos de enfriamiento, etc.

Son factores que, en forma aislada o combinada, provocan el deterioro paulatino del aislamiento, aflojamiento de cuñas, soportes y amarres, así como, descargas luminosas de efecto corona.

## 1.4 Objetivo

Realizar pruebas dieléctricas para evaluar las condiciones de la unidad 4 de la Central Hidroeléctrica Manuel Moreno Torres durante el mantenimiento menor para un buen funcionamiento en la unidad 4.

## 1.5 Metodología.



a) Diagrama a bloques



## 2. Fundamento teórico

### 2.1 Descripción de la central hidroeléctrica Manuel Moreno Torres

#### Obra electromecánica

**Casa de máquinas:** Casa de maquina es de tipo subterráneo y cuenta con dos etapas, la primera etapa lo conforman las unidades 1, 2, 3,4 y 5 con capacidad de 1,500 MW, tipo Francis de eje vertical, con una caída neta diseñada de 185.00 m y un gasto de 189 m<sup>3</sup>/s y 300 MW de capacidad de cada una, entraron en operación entre los años 1980-1981. La segunda etapa la conforman las unidades 6,7 y 8 entrando en operación en el año 2004 quedando con la capacidad de la central de 2400 MW.

Se ubica en una caverna excavada en el margen derecho del rio Grijalva cerca de la obra de toma; mide aproximadamente 25 m de ancho, 50 m de altura y 200 m de largo. La parte más baja se encuentra a una elevación de 181.25 msnm y la más alta a 228.38 msnm.

Tiene 5 niveles o pisos que destacan en casa de máquinas, la playa de montaje o piso de generadores a 211 msnm, el piso de barras a 207 msnm, el piso de turbinas a 203 msnm, la galería de charolas a 199 msnm, galería de inspección a 192.5 msnm, la galería de drenaje a 184.25 msnm, la lumbrera de elevadores, la lumbrera de cables de control, la sala de tableros, oficinas, sala de baterías y el túnel de acceso [8].

#### I. Piso De Generadores o Playa De Montaje

En el piso de generadores podemos encontrar la ubicación de las unidades turbogeneradoras y sus equipos de servicios propios, estas unidades se dividen en 2 etapas, la primera etapa que consta de las unidades 1, 2, 3, 4, 5 y la segunda que consta de las unidades 6, 7, 8. En esta área se localiza equipos de excitación, sala de control, llegada del túnel de acceso, acceso a las grúas viajeras.

#### II. Piso de barras

En esta área se localiza equipos tales como:

Generadores, transformadores del neutro del generador, tableros de S.P. y auxiliares, buses ducto o de fase aislada, bombas de achique, escaleras de acceso al área del transformadores de caverna, compresores del sistema.

#### III. Piso De Turbinas

En esta área se localiza equipos tales como:

Las turbinas y sus equipos complementarios, el registro de acceso hombre a la tubería de presión de las turbinas, la unidad auxiliar y sus equipos complementarios, tablero de enlace de unidad auxiliar y sistema de hidrantes.

#### **IV. Piso O Galerías De Charolas**

En esta área se localizan equipos tales como:

Charolas de cables de control, tuberías de drenaje, equipos complementarios de la unidad auxiliar, compresores de servicios generales empotrados en el muro de concreto se ubican las cámaras espirales (caracoles) de las turbinas.

#### **V. Galería De Inspección**

En esta área se localiza equipos tales como:

Equipos complementarios de la unidad auxiliar (válvulas), equipos complementarios de las turbinas (válvulas), la escotilla de acceso hombre al tubo difusor de las turbinas escala de control (micro switch33d) de los c.s. Cabezal del sistema contra incendios de generadores y transformadores, plataforma de inspección de los niveles de agua de las bombas de achique y fosas sépticas de casa de máquinas (189.50 msnm), galería o cárcamo de filtraciones (184.25 msnm).

#### **Obra civil**

Consta de las siguientes partes:

**Vaso:** también conocido como embalse y forma un recipiente que, junto con la cortina, almacena el agua para su aprovechamiento. Este vaso tiene las siguientes características:

- A. NAME(Nivel De Aguas Máxima Extraordinarias 395 MSNM):**  
Es el nivel más alto que debe alcanzar el agua en el vaso bajo cualquier condición.
- B. NAMO(Nivel De Aguas Máximas De Operación 392 MSNM):**  
Máximo nivel con que se puede operar la presa para satisfacer las demandas
- C. NAMINO(Nivel De Aguas Mínimas De Operación 380 MSNM):**  
Volumen o capacidad útil y es con el que se satisface la demanda de agua
- D. Área Máxima Del Embalse 3 000 Hectáreas**
- E. Capacidad Total Al NAME 1 680 Millones m<sup>3</sup>**

F. Capacidad De Control De Avenidas 490 Millones m<sup>3</sup>

G. Capacidad Útil 285 Millones m<sup>3</sup>

**Cortina:** la cortina de la C.H. Manuel Moreno Torres es de tipo enrocamiento, tiene una altura de un edificio de 85 pisos. Su construcción cuyo centro es un núcleo flexible de arcilla impermeable y compactada; a ambos lados del núcleo tiene un filtro de grava y arena de río, que evita la fuga de los materiales arcillosos [9]. La transición, construida con los filtros, es de roca, grava y arena; posteriormente lleva un enrocamiento de volteo y en la parte alta de la cortina del lado aguas arriba lleva un enrocamiento de gran tamaño.

Durante el llenado del vaso, el túnel de desfogue intermedio sirve para mantener el nivel del agua a una elevación de 315 msnm, durante el tiempo que sea necesario para ver el comportamiento inicial de la cortina y también para evitar que se inunde la obra de toma cuyo canal de llamada se encuentra a 354.35 msnm, para dar oportunidad a que se termine la obra de toma.

**Obra de toma:** es una derivación del vaso, pero con una profundidad menor, ya que el vaso tiene su fondo a una elevación de 197 a 205 msnm y en cambio la obra de toma tiene su fondo a una elevación de 354.35 msnm. Se encuentra ubicada sobre la margen derecha del río Grijalva y sirve para suministrar el agua a las turbinas, a través de las tuberías de presión.

La obra de toma cuenta con unas rejillas que evitan el paso de trozos de manera u otros objetos que pudieran causar problemas en la operación normal de la central.

La compuerta de servicio normalmente está abierta y se cierra solamente para vaciar la tubería de presión con fines de inspección o mantenimiento del equipo que normalmente trabaja ahogado; la compuerta auxiliar se usa cuando, por alguna razón no puede cerrarse la compuerta del servicio.

El ducto de ventilación, evita que durante el vaciado de la tubería de presión haya en su interior un vacío, o sea, una presión menor a la atmosférica que succionaría a tal grado que dificultaría el vaciado del agua y podría causar daños al equipo asociado; este ducto permite que entre aire atmosférico evitando dicho vacío y además tiene escalera marina para su inspección.

**Tubería de presión:** conduce el agua desde la obra de toma hasta la turbina respectivamente; se emplea una tubería por unidad, por lo que serán ocho tubos de presión, cada uno de acero con diámetro que va desde 6.20 hasta 4.58 m.

**Galería de oscilación:** tiene las funciones fundamentales siguientes:

- a. Ante un disparo de la turbina, amortigua el golpe de ariete que produce el agua al regresar al río, hacia el desfogue de la turbina, el punto más bajo de la tubería de desfogue, está a 185 msnm y el río a 205 msnm aproximadamente, lo que ocasiona ante un disparo, una fuerte corriente de agua del río al desfogue, golpeándolo y dañando a la turbina, en caso de no haber galería de oscilación como el desfogue de la turbina normalmente trabaja con una presión menor a la atmosférica, acentúa aún más el fenómeno explicado. Al absorberse el golpe de ariete del agua, en la galería de oscilación, sube el nivel del agua en la forma siguiente:
  1. Alcanza el nivel 229 msnm, cuando hay un gasto de 6,512 m<sup>3</sup>/s y ocurre el cierre de cinco unidades.
  2. Alcanza el nivel 236 msnm, cuando hay un gasto de 16,512 m<sup>3</sup>/s y ocurre el cierre de cinco unidades.
- b. Durante el rodado de la turbina, la galería de oscilación se comporta como un acelerador que facilita a la turbina alcanzar más rápidamente su velocidad normal de 163.64 rpm primera etapa y 180 rpm segunda etapa. Esto se debe a que el desfogue queda ahogado por el río, encontrando el agua inicial que mueve la turbina, cierta posición para su desplazamiento hasta el río; en consecuencia la galería de oscilación que está más cercana a la turbina, facilita ese desplazamiento inicial del agua, sube su nivel, pero que por lo pronto abrevia el tiempo para que la turbina alcance su velocidad normal.
- c. La compuerta de la galería de oscilación se cierra para vaciar la tubería de desfogue de la turbina, por necesidades de mantenimiento, al cerrarse impide que el río inunde dicha tubería.

**Galería de transformadores de caverna:** Aloja a los transformadores de potencia tipo caverna; estos transformadores reciben la energía eléctrica de 17 kv del generador, a través de los buses de fase aislada alojados en el túnel de barras; los transformadores de caverna elevan la tensión de 17 a 400 kv, para evitar esa energía por los cables de potencia de 400 kv, que están alojados en las lumbreras de la galería que nos ocupa, lumbreras que cubren una altura de 180 metros; hay una lumbrera por cada banco trifásico de transformadores, haciendo un total de ocho.

Los tres cables de potencia por unidad, llevan la energía hasta las tres mufas exteriores y de ahí por línea aérea, es conducida hasta la subestación.

**Túneles de desvío:** se emplean durante la construcción de la cortina para desviar el agua del río, descargándola aguas debajo de la cortina y evitando que aguas arriba suba peligrosamente el nivel, que pudiera inundar el recinto de la cortina. Las compuertas de estos túneles, permiten sacar de servicio uno de ellos para hacer las obras de conexión con los túneles de desfogue; obsérvese que dos túneles de desfogue se unen a los túneles de

desvió 1 y 2. Los tapones en los túneles de desvió son puestos al terminar la cortina, en cuyo caso los desvíos provisionales ya no son necesarios; aguas debajo de los tapones, esos túneles funcionan como toneles de desfogue. De esta manera, solamente el tercer túnel de desfogue es independiente de los túneles de desvió.

**Vertedores:** son la seguridad de la central, ya que en el caso de una avenida extraordinariamente intensa podrá desviar el agua descargándola en el río aguas abajo por tres túneles de descarga, evitando así que el nivel del vaso suba a valores peligrosos que pueden provocar daños en la cortina e inundaciones en la casa de máquinas y en la región.

Los tres túneles de descarga del vertedor son de 15 m de diámetro cada uno, 1300 m de longitud, revestidos de concreto y con capacidad normal de desfogue de 5,000 m<sup>3</sup>/s en cada uno de ellos, entre los tres túneles podrán manejar una avenida máxima de hasta 20,000 m<sup>3</sup>/s.

## 2.2 Generador Eléctrico

Un generador eléctrico es una maquina eléctrica rotativa que transforma energía mecánica en energía eléctrica. Lo consigue gracias a la interacción de los dos elementos principales que lo componen:

- **La parte móvil llamada rotor**
- **La parte estática que se denomina estator**

Cuando un generador eléctrico está en funcionamiento, una de las partes genera un flujo magnético, en este caso, el componente que actúa como inductor (rotor) y, para que, el otro lo transforme en electricidad actúa como inducido (estator) [10].

El tipo de generador empleado en los sistemas eléctricos de potencia es el generador síncrono. Los generadores síncronos son máquinas destinada a transformar la energía mecánica en eléctrica.

El generador de potencia se compone de las siguientes partes: un circuito magnético y dos circuitos eléctricos, uno el rotor y otro en el estator.

### Circuito magnético

- Rotor: Parte móvil que gira dentro del estator.
- Estator: Parte fija
- Entrehierro: Es el espacio de aire que separa al estator del rotor y permite que pueda existir movimiento. Este espacio debe ser lo más reducido posible.

## Circuitos eléctricos

- Arrollamiento o devanado de excitación o inductor: Uno de los devanados, al ser recorrido por una corriente eléctrica produce una fuerza magneto motriz que crea un flujo magnético.
- Inducido: el otro devanado, en el que se induce una f.e.m. que da lugar a un par motor (si se trata de un motor) o en el que se induce un f.e.m. que da lugar a un par resistente (si se trata de un generador)

## Partes de un generador o alternador (Hidrogenerador)

El generador está compuesto principalmente por el rotor y el estator, en el estator se alojan tres bobinas, desfasadas entre si  $120^{\circ}$  cada una de las bobinas se conecta a una de las fases de un sistema trifásico y dan lugar a un campo magnético giratorio [11]. El rotor es la parte móvil giratoria que se localiza en el interior del estator, está hecho a base de placas apiladas y montado sobre el eje del motor. Dispone de unas ranuras donde van colocados los conductores que forman la bobina de inducido que están cerrados sobre si mismos constituyendo un circuito cerrado.

## Elementos del rotor

- 1. Barras de excitación:** estas sirven de conductor entre los anillos rozantes y los polos de rotor, son dos barras de cobre en forma rectangular similares a las que se utilizan en los devanados, están montados sobre una parte de la flecha y sobre las tapas de la araña sujetadas firmemente por tornillos de conjunto con arandelas y esta gira a la velocidad del generador [12].
- 2. Anillos rozantes y escobillas:** los anillos rozantes también son conocidos como anillos colectores, son dos y están montados en la parte superior de flecha y giran a la misma velocidad del generador, permiten conectar eléctricamente al elemento que suministra la corriente de excitación, a los polos del rotor por medio de las escobillas. Los anillos colectores se sujetan con pernos axiales aislados, y se soportan en un cubo de acero soldado en el eje con un tornillo.

El anillo base del rotor está constituido por una determinada cantidad de secciones, que consiste en segmentos de placa de acero sobre montados de tal manera que haya la mayor área de sección y superficie de fricción, teniendo en cuenta el número de polos y el tamaño apropiado de los segmentos.

En el fondo hay un anillo de presión de aproximadamente 60 mm de espesor sobre el cual se colocan los segmentos. La parte superior del anillo está determinada con una placa de presión similar a la inferior, por medio de pernos pasadores, se tensionan los

dos anillos con el fin de obtener la fuerza de fricción requerida, ante las capas de los segmentos. El hueco situado en la parte inferior del anillo de presión inferior, forma un soporte para lo que viene siendo la pista de frenado.

3. **Anillo base del rotor:** El anillo base del rotor está formado por paquetes de laminación de acero sobre montados, de tal manera, que se cubra toda la mayor área de sección y superficie de fricción teniendo en cuenta el número de polos y tamaño apropiado a de los elementos, entre cada sección hay un canal de aire consistente en dos placas de soporte. La parte superior e inferior del anillo están acabadas por una placa de presión que se tensionan por medio pernos para dar la fuerza de fricción requerida entre capas.
4. **Pista de frenado:** Esta se encuentra colocada en la placa inferior de la base del rotor, forman un soporte para la pista de frenado que consiste de segmentos fijados por abrazaderas, los cuales se pueden retirar con facilidad su función principal friccionarse, cuando la maquina se encuentra en funcionamiento.
5. **Araña del rotor:** La araña del rotor está diseñada para el acoplamiento a eje. Dos discos de placa de acero están soldados al cubo y placas de acero están soldadas entre dos discos para formar un cuerpo rígido. Los discos de placa de acero se sueldan al cubo del rotor formando las superficies superiores e inferiores de la araña del rotor.
6. **Polos:** Como el generador se acopla a una turbina hidráulica el rotor tiene relativamente un elevado número de polos y se le denomina rotor de polos salientes a rueda polar. El polo está estructurado de la siguiente manera:

**Devanado de polo:** el devanado del polo consiste en barras rectas de cobre unidas formando una bobina apropiado para el polo rectangular. El asilamiento entre las espiras consiste en asbesto impregnado como resina exposi. La resina se derrite primero y llena todos los espacios vacíos, endureciéndose luego, de esta manera se obtiene una fuerte unión entre el cobre y el aislamiento de asbesto, formando una bobina rígida. El aislamiento alrededor del polo, está hecho de fibra de vidrio impregnada con resina poliéster.

**Núcleo:** El polo está constituido por placas de chapa de acero con la zapata del polo y el núcleo formado de una sola pieza. Las placas están apiladas y presionadas entre piezas de acero y terminales de acero por medio de pernos pasadores. Las proyecciones de las piezas terminales forman soportes para la parte del embobinado que atraviesa el grosor y el material de las piezas terminales se elige de manera que las fuerzas centrifugas de esta parte puedan ser transmitidas a las colas de milano. La sección del núcleo del polo es rectangular, la zapata del polo es biselada para dar al voltaje la forma de una onda sinoidal, las colas de milano se suministran para montar los polos en el anillo del rotor, la ranura es más amplia en uno de los lados para dar espacio a dos cuñas opuestas que son enclavadas y que aseguran el polo en su posición correcta.

7. **Eje superior o flecha:** El eje de chapa de acero en forma cilíndrica y soldada, todas las superficies externas están trabajadas y en la parte interior va soldado a un anillo. Sobre el eje se trabajan diferentes diámetros para formar los soportes de los equipos auxiliares;

tales como, anillos colectores, generador de imanes permanentes que se sitúan por medio de ranuras echas en el eje.

### Componentes del estator:

- 1. Chumacera guía superior:** La finalidad de las chumaceras es transmitir el peso y esfuerzo de las partes giratorias, esto es a la estructura de la casa de máquinas. Por consiguiente la chumacera guía no permite oscilaciones a las partes giratorias es decir sirve para guiar el eje, la chumacera está construida por una sola unidad con excepción del cubo y del pozo del aceite que va montado sobre el eje. La chumacera guía tiene como partes principales: la cascara, los segmentos, el cubo, el pozo de aceite, cubierta superior, enfriadores de aceite, aceite lubricante y supervisores de temperatura.
- 2. Carcaza del estator:** La carcaza del estator es una estructura de acero soldada, hecha de secciones de placa y acero enrollado compuesta principalmente por pilares verticales, anillos horizontales, placas de apoyo vertical, barras en cola de milano y placas de casco.
- 3. Araña soporte de la chumacera guía superior:** La araña soporte esta dimensionada para dar a la chumacera guía un máximo de estabilidad y permitir el menor movimiento radial posible. La araña consiste de cierta cantidad de brazos radiales y en cubo central, está diseñada para soportar el peso combinado de la chumacera guía superior.
- 4. Soporte del estator:** La función de los pilares es transmitir la fuerza de reacción tangencial del núcleo del estator, la fuerza vertical de la araña del soporte superior y el peso del estator a los cimientos los pilares están fijos a los cimientos mientras que radialmente se mantienen por fricción, la fricción es suficiente para impedir que el estator se desvíe a causa del desbalance de fuerzas magnéticas.
- 5. Núcleo del estator:** El núcleo esta hecho de acero de un alto grado de calidad resistente a la acción del tiempo, está aislado en los lados con un barniz resistente al calor y sujeto a la carcasa por medio de cuñas de cola de milano. El núcleo se encuentra asegurado por medio de dados de presión de acero no magnético y por placas de acero, presionados al núcleo por anillos de presión en la parte superior e inferior de la carcasa del estator.
- 6. Devanado del estator:** El devanado del estator está conectado en estrella y consiste en bobinas idénticas de una espira, formando un embobinado de tipo diamante con aislamiento clase F y colocadas en ranuras abiertas con dos lados de bobina por ranura. Los hilos que forman un conductor se transponen en las ranuras, los extremos del conductor neutro de acoplan a terminales aparte.
- 7. Cubierta de devanados:** El devanado se protege por cubiertas de fibra de vidrio moldeadas y autoextensibles están montadas entre la carcasa y las placas que van encima de la araña del soporte superior, su diseño incrementa la eficiencia del flujo de aire al generador.
- 8. Válvulas:** Las válvulas nos permiten controlar el flujo de agua y aislar los enfriadores para el mantenimiento. Las válvulas deben ser de un funcionamiento seguro, de cierre rápido y hermético.



**9. Gatos de frenado:** el equipo de frenado o gatos de frenado, es un sistema que se emplea en los generadores hidroeléctricos para parar la maquina en el menor tiempo posible. La razón de frenar el alternador es la siguiente: las chumaceras están calculadas para la velocidad de sincronismo, por ello es necesario que la maquina frene en un tiempo corto. El frenado y levantado del rotor se efectúa por medio de 8 gatos de frenados montados sobre el cimientto del foso del generador.

## 2.3 Transformadores de potencia

Es un dispositivo eléctrico que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la potencia. El transformador es un dispositivo que convierte la energía eléctrica alterna de un cierto nivel de tensión, en energía alterna de otro nivel de tensión, basándose en el fenómeno de la inducción electromagnética. Está constituido por dos bobinas de material conductor, devanadas sobre un núcleo cerrado de material ferromagnético, pero aisladas entre sí eléctricamente. Las bobinas o devanados se denominan primarios y secundarios según correspondan a la entrada o salida del sistema en cuestión, respectivamente [13].

### Funcionamiento

Este elemento eléctrico se basa en el fenómeno de la inducción electromagnética, ya que si aplicamos una fuerza electromotriz alterna en el devanado primario, debido a la variación de la intensidad y sentido de la corriente alterna, se produce la inducción de un flujo magnético variable en el núcleo de hierro. Este flujo originará por inducción electromagnética, la aparición de una fuerza electromotriz en el devanado secundario. La tensión en el devanado secundario dependerá directamente del número de espiras que tengan los devanados y de la tensión del devanado primario.

En los transformadores de potencia existen corrientes llamadas transitorias de magnetización que es una corriente varias veces la corriente nominal que se produce al momento de conectar el transformador a la red. Puede ser de 10 veces la corriente nominal hasta 100 veces en casos raros.

### Partes del transformador

- El núcleo

El núcleo está formado por varias chapas u hojas de metal (generalmente material ferromagnético) que están apiladas una junto a la otra, sin soldar, similar a las hojas de un libro. La función del núcleo es mantener el flujo magnético confinado dentro de él y evitar que este fluya por el aire favoreciendo las pérdidas en el núcleo y reduciendo la eficiencia. La configuración por láminas del núcleo laminado se realiza para evitar las corrientes de Foucault, que son corrientes que circulan entre láminas, indeseadas pues favorecen las pérdidas.

- Bobinas

Las bobinas son simplemente alambre generalmente de cobre enrollado en las piernas del núcleo. Según el número de espiras (vueltas) alrededor de una pierna inducirá un voltaje mayor. Se juega entonces con el número de vueltas en el primario versus las del secundario. En un transformador trifásico el número de vueltas del primario y secundario debería ser igual para todas las fases.

- Boquillas Terminales (Bushing).

Las boquillas se emplean para pasar de un conductor de alta tensión a través de una superficie aterrizada, como son el caso del tanque de un transformador o de un reactor. Las boquillas deben ser capaces de transportar las corrientes de los equipos en régimen nominal y de sobrecarga, de mantener el aislamiento tanto para tensión nominal como para sobretensiones y de resistir también esfuerzos mecánicos. Las boquillas de acuerdo a las funciones desempeñadas se pueden clasificar en:

- Boquillas de terminales de línea
- Boquillas de terminales en neutro
- Boquillas de terciario

Las boquillas para transformadores y reactores son del tipo exterior-inmersa, es decir una extremidad está destinada a la exposición a la intemperie y la otra inmersa en aceite aislante. Las boquillas de terminales de línea son, en general, de papel impregnado con aceite con distribución capacitiva provista de derivaciones para prueba y eventualmente de derivaciones de tensión. Las boquillas de terciario y neutro pueden ser de papel impregnado en aceite o con resina, con o sin distribución capacitiva.

- Tanque o Cubierta.

De acuerdo a su diseño hay tanques lisos, con aletas, con ondulaciones y con radiadores, dependen del tipo de aceite y medio de refrigeración para su selección. En general, consiste en una caja rectangular dividida en dos compartimientos. 1. Un compartimiento que contiene el conjunto convencional de núcleo-bobinas. 2. Un segundo compartimiento para

terminaciones y conexiones de los cables. Los conductores de cable primario están conectados por medio de conectores de enchufe para la conexión y desconexión de la carga. Los conductores del secundario van, por lo general, atornillados a terminales de buje. Tienen fusibles de varias clases que van en un porta fusibles colocado en un pozo que está al lado del tanque, de manera que pueda secarse del mismo.

- Tanque Conservador de Líquido Aislante.

Este tanque consiste de un recipiente fijo a la parte superior del transformador sobre el tanque o carcasa. Está destinado a recibir el aceite del tanque cuando éste se expande, debido al efecto del calentamiento por pérdidas internas. Por lo tanto, algunos transformadores de potencia necesitan una cámara de compensación de expansión del líquido aislante. En unidades en general superiores a 2000 kVA el tanque se construye para permanecer completamente lleno, lo que implica la utilización del conservador de líquido. En unidad es de menor potencia, generalmente el tanque recibe el líquido aislante hasta aproximadamente 15 cm de su nivel o borde, dejando un espacio vacío destinado a la cámara de compensación. Los transformadores que no poseen el tanque de expansión se denominan transformadores sellados. Los transformadores con tanque conservador, permiten el uso del relevador Buchholz que se usa para la detección de fallas internas normalmente en transformadores grandes.

- Sistemas de Enfriamiento Para Transformadores de Potencia.

Durante su operación el transformador genera pérdidas en forma de calor, pérdidas de Joule. Por esto, es necesario un sistema de refrigeración que mantenga al transformador dentro de unos niveles de temperatura aceptables, ya que en el caso de que se den sobre temperaturas en los aislamientos estos verán reducido su tiempo de vida útil de manera considerable.

#### Tipos de Enfriamiento para Transformadores de Potencia

TIPO OA: Sumergido en aceite, con enfriamiento natural. Este es el enfriamiento más comúnmente usado y el que frecuentemente resulta el más económico y adaptable a la generalidad de las aplicaciones. En estos transformadores, el aceite aislante circula por convección natural dentro de un tanque con paredes lisas, corrugadas o bien previstas de enfriadores tubulares o radiadores separables.

TIPO OA/FA: Sumergido en aceite con enfriamiento propio y con enfriamiento de aire forzado. Este tipo de transformadores es básicamente una unidad OA a la cual se le han agregado ventiladores para aumentar la disipación del calor en las superficies de enfriamiento y por lo tanto, aumentar los KVA de salida.

TIPO OA/FOA/FOA: Sumergido en aceite con enfriamiento propio, con enfriamiento de aceite forzado-aire forzado, con enfriamiento aceite forzado-aire forzado. El régimen del transformador tipo OA, sumergido en aceite puede ser aumentado por el empleo combinado de bombas y ventiladores. En la construcción se usan los radiadores desprendibles normales con la adición de ventiladores montados sobre dichos radiadores y bombas de aceite conectados a los cabezales de los radiadores.

TIPO FOA: Sumergidos en aceite, con enfriamiento por aceite forzado con enfriadores de aire forzado. El aceite de estos transformadores es enfriado al hacerlo pasar por cambiadores de calor o radiadores de aire y aceite colocados fuera del tanque. Su diseño está destinado a usarse únicamente con los ventiladores y las bombas de aceite trabajando continuamente.

TIPO OW: Sumergidos en aceite, con enfriamiento por agua. Este tipo de transformador está equipado con un cambiador de calor tubular colocado fuera del tanque, el agua de enfriamiento circula en el interior de los tubos y se drena por gravedad o por medio de una bomba independiente. El aceite fluye, estando en contacto con la superficie exterior de los tubos.

TIPO FOW: Sumergido en aceite, con enfriamiento de aceite forzado con enfriadores de agua forzada. El transformador es prácticamente igual que el FOA, excepto que el cambiador de calor es del modelo agua-aceite y por lo tanto el enfriamiento del aceite se hace por medio de agua sin tener ventiladores.

TIPO AA: Tipo seco, con enfriamiento propio. La característica primordial es que no contienen aceite u otro líquido para efectuar las funciones de aislamiento y enfriamiento, y es el aire el único medio aislante que rodea el núcleo y las bobinas menos de 15KV y hasta 2 000 KVA.

TIPO AFA: Tipo seco, con enfriamiento por aire forzado. Para aumentar la potencia del transformador AA, se usa el enfriamiento con aire forzado. El diseño comprende un ventilador que empuja el aire en un ducto colocado en la parte inferior del transformador.

TIPO AA/AFA: Tipo sedo, con enfriamiento natural con enfriamiento por aire forzado. La denominación de estos transformadores indica que tienen dos régimen, uno por enfriamiento natural y el otro contando con la circulación forzada por medio de ventiladores, cuyo control es automático y opera mediante un relevador térmico.

## 2.4 Transformador De Excitación

Es un transformador seco, enfriado por circulación natural de aire y conectado en configuración Y- $\Delta$ . En el lado de alta tensión se conecta el voltaje de salida del generador que puede estar arriba de los 4.000 voltios, por este motivo se ubica en un gabinete cerrado y aparte del cubículo de los equipos de control. El lado de baja tensión está conectado al chasis de rectificación y además puede ser utilizado para alimentar el servicio propio del chasis de control. Su potencia nominal está en función al tamaño de la máquina sincrónica y de su corriente de campo [14].

El transformador está diseñado para que pueda conectarse en el lado secundario equipos rectificadores de 6 o 12 pulsos. La bobina de Alta Tensión se encuentra Encapsulada en Resina Epoxi; la Baja Tensión es impregnada en barniz aislante de clase F (155°C) o H (180°C) bajo vacío.

El núcleo magnético es fabricado con chapa de acero silicio de grano orientado con pérdidas reducidas.



**Fig.2.1.** Transformador de excitación

## 2.5 Sistema De Tierras

De manera general se concibe que el objeto de un sistema de tierras sea proporcionar seguridad al personal, proteger equipos y mejorar la calidad de servicio tanto en condiciones de funcionamiento normal como de falla en los sistemas. En toda planta o subestación eléctrica, uno de los principales para la protección contra sobretensiones es

disponer de una red de tierras adecuada, a la cual se conecten todos los neutros del sistema, carcasas de los equipos, estructuras metálicas y todas aquellas partes que deben estar a potencial de tierra. Factores que deben tomarse en cuenta en el diseño de un sistema de tierras [15].

a) Seguridad del personal. Es esencial que tanto en condiciones normales como de falla, no circule ninguna corriente que pudiera ser mortal a través del equipo al cual tenga acceso el personal. El voltaje que pudiera existir entre la carcasa de un equipo con respecto a tierra, no es una medida del peligro existente, el criterio que se debe seguir y tomar en cuenta es la diferencia de potencial entre cualquiera de dos puntos que pudieran ser tocados simultáneamente por una persona. El objetivo debe ser, por lo tanto, asegurar que haya una conexión efectiva de muy baja impedancia y de una capacidad de corriente adecuada, entre los dos puntos que puedan ser tocados simultáneamente por una persona y diseñar un arreglo, de tal forma, que la principal corriente de falla no fluya únicamente entre tales puntos.

b) Prevención de daño al equipo. Es deseable bajo condiciones de falla limitar tanto como sea posible, el voltaje que aparece entre las carcasas de los equipos y la malla principal de tierras cuando circula una corriente de falla.

c) Operación satisfactoria de los equipos de protección. Siempre que se tengan equipos de protección y que utilicen la corriente de falla a tierra para su operación, se debe considerar la intensidad de la misma, ya que de esta depende su correcto funcionamiento y con esto la eliminación adecuada de las fallas en sistemas para obtener una mejor calidad en el servicio.

### 3. Desarrollo

#### 3.1 Mantenimiento De Generadores O Alternadores Hidroeléctricos

El plan de mantenimiento está previsto para conocer el estado actual y la evolución futura de los equipos principales de la central, obteniendo la máxima información de cómo el funcionamiento afecta a la vida de la turbina, del generador y del transformador, con el objetivo de detectar cualquier anomalía antes de que origine un grave daño y una parada no programada. Este plan de mantenimiento, complementado con el ordinario, se ha convertido en una herramienta fiable para asegurar la disponibilidad de los grupos.

Durante el funcionamiento de una central eléctrica el grupo turbina - generador está sometido a la acción de diferentes fuerzas perturbadoras; el identificar y evaluar las vibraciones y pulsaciones presentes en la unidad, separando aquellas que son propias del funcionamiento de la misma, de aquellas otras que tienen su origen en el funcionamiento anómalo de alguno de sus elementos se realiza mediante el estudio y el análisis de dichas vibraciones y pulsaciones.

### **3.2 Mantenimiento Menor De La U-4**

#### **Inicio de libranza**

Se inicia el mantenimiento menor de la u-4 el día 24 de octubre del 2016, lo primero que se realiza fue:

1. Se verifico que hayan otorgado la licencia de libranza de la u-4
2. Se solicitó al operador con la licencia local del equipo a efectuar
3. Dejar fuera el interruptor de servicios propios de la u-4
4. Bajar alimentaciones de corriente directa a interruptores termo magnético respectivo del tablero de corriente directa de 250 VCD. Las cuales tienen las siguientes funciones:
  - a. Alimentación a la quebradora de campo
  - b. Detector de temperatura en el transformador de excitación

Una vez verificado que todos estos elementos estuvieran fuera, se procede al cierre de las compuertas de desfogue, se cierra para vaciar la tubería de desfogue de la turbina, seguidamente se desconectan la alimentación trifásica del motor de la compuerta de obra de toma.

### **3.3 Prueba resistencia de aislamiento al campo del generador**

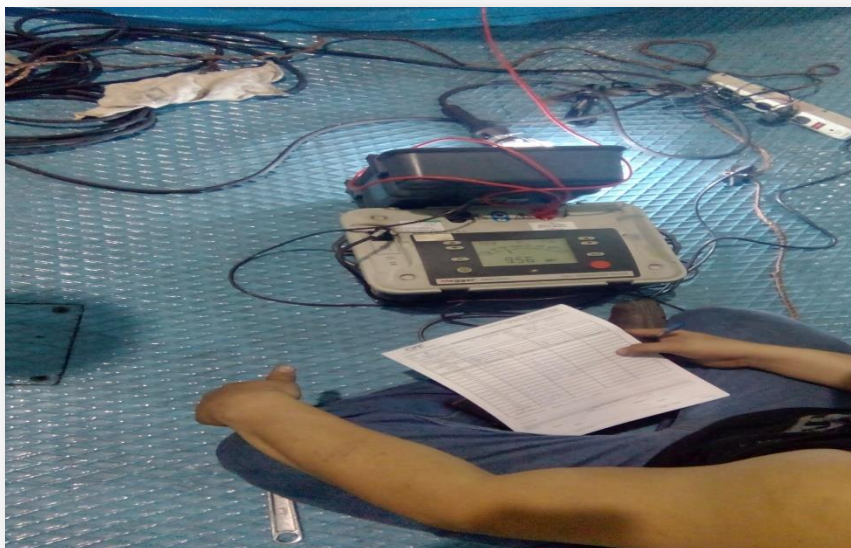
Se realizó la prueba de resistencia de aislamiento al campo del generador *fig.3.1*. Para saber en qué condiciones se encuentra el campo previo al mantenimiento que se le dará a la unidad. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios [16].

Para realizar esta prueba de resistencia de aislamiento lo primero que se tiene que hacer es aterrizar el campo del generador a través de los anillos rozantes (Anexo A), después se retiran los carbones, el total de carbones en la u-4 es de 56 carbones, los carbones se tienen que retirar para que se evite algún contacto con los anillos rozantes y así alterar la prueba de aislamiento, se conecta la línea del dispositivo al anillo rozante y la tierra al sistema de tierra.

El dispositivo con el cual se realiza la prueba es un OHMETRO de la marca MEGGER MODELO MEG10-01, los resultados fueron los siguientes:

$$I.A = \frac{I_{1min}}{I_{30seg}} = 1.78$$

$$I.P = \frac{I_{10min}}{I_{1min}} = 3.17$$



**fig.3.1.** Prueba de resistencia de aislamiento

El significado de la prueba de resistencia de aislamiento se refiere a la oposición que presenta un aislante al aplicarle un voltaje de C. D. (Corriente Directa) determinado durante un tiempo establecido, el cual, se mide a partir de la aplicación del mismo, como referencia se utilizan los valores de 15 seg. a 10 min. La resistencia de aislamiento así como la resistencia eléctrica se miden utilizando unidades del Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI) y la unidad para esta medida es el ohmio y se representa con la letra griega omega ( $\Omega$ ).

Lo que se busca en la prueba es obtener el resultado de índice de absorción e índice de polarización. Una vez finalizada la prueba se vuelve aterrizar el campo del generador.



### 3.4 Prueba De Conjunto

Se realiza prueba de conjunto al transformador neutro del generador *fig.3.2*, obteniéndose resultados satisfactorios. En esta prueba las partes que se incluyen del generador son los siguientes:

- Estator
- Bus de fase aislada
- Transformador de excitación
- Transformador de servicios propios
- Transformador de potencia



**Fig. 3.2.** *Transformador neutro del generador*

Para realizar esta prueba se utiliza un OHMETRO de la marca MEGGER MODELO MEG10-01 *fig.3.3*, los pasos para realizar la prueba de conjunto se ven a continuación

1. Se conecta la línea del megger al neutro del generador (transformador)
2. Se conecta la tierra del megger al sistema de tierra
3. Se selecciona la escala del megger
4. se selecciona un voltaje de 2500VCD
5. se toma lectura de 15 seg. a 10 min.
6. Una vez tomada la lectura se apaga el megger

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

$$I.A = \frac{1\text{min}}{30\text{seg}} = 1.57$$

$$I.P = \frac{10\text{min}}{1\text{min}} = 2.51$$



**Fig.3.3.** Prueba de conjunto transformador neutro del generador

### 3.5 Retiro De Tapas Antiderrapantes

Se inicia con el retiro de tapas antiderrapantes de la parte superior del generador *fig.3.4*, primeramente se inicia con el retiro de las tornillerías de la segunda fila de tapas y las dos tapas del lado de las fases del generador y lado neutro. Después de retirar todos los tornillos se comienza con el retiro de las tapas en total son 18 tapas de la segunda fila y 4 más (fase-neutro), todo esto con la ayuda de la grúa viajera de 40 toneladas (Anexo B).

Las tapas antiderrapantes son laminas delgadas de fierro apoyadas en las viguetas del soporte de la araña.



**Fig. 3.4.** Retiro de tapas antiderrapantes

### 3.6 Retiro de tolvas superiores e inferiores

Se procede al retiro de las 36 tolvas de la parte superior *fig.3.6*, esta actividad es esencial para poder continuar con el mantenimiento del generador. Las tolvas son utilizadas para la protección de las bobinas del estator y retención del flujo de aire.

Primeramente se comienza con el retiro de los tornillos de las uniones de tolvas- mamparas, luego se retiran los tornillos de la parte superior de las tolvas esta *fig. 3.5*, es la unión de unas a otras, para esta maniobra se utilizaron 8 personas del departamento de eléctricos.



**Fig. 3.5.** Retiro de tornillos (mampara-tolva)



**Fig. 3.6.** Retiro tolvas superiores

Luego de haber retirado las tolvas superiores, se inicia con el retiro de las 36 tolvas inferiores *fig.3.8*, para esto primeramente se retiran 4 mamparas de las 18 que se encuentran ensambladas *fig.3.7*, para poder realizar la maniobra que se necesita para el retiro de las tolvas. Las mamparas deben de ser retiradas con mucho cuidado ya que en la parte superior se encuentran los gatos de frenado del generador y las conexiones de ellos están debajo de las mamparas.



**Fig. 3.7.** Retiro de mamparas inferiores



**Fig. 3.8.** Retiro de tolvas inferiores

### **3.7 Desconexión Del Generador (fase – neutro)**

Se realiza desconexión del generador, primeramente se inicia con la desconexión del generador por el lado de las fases *fig.3.9*, él generador cuenta con 3 fases, cada fase cuenta con un numero de trenzas.

- Fase A: 24 trenzas
- Fase B: 27 trenzas
- Fase C: 24 trenzas

El número de trenzas puede variar en cada fase, por lo regular y por mejor funcionamiento la fase B es la fase en la cual se utilizan más trenzas debido al calentamiento y al campo magnético que producen la fase A y fase C, las fases utilizan trenzas por cada agujero de contacto que ellos tienen, y se utilizan trenzas dobles en cada final de agujeros de contacto, en el caso de la fase A y fase C se utilizan 4 trenzas dobles, y en la fase B se utilizan 8 trenzas dobles *fig.3.10*.



**Fig.3.9.** Inicio de desconexión de trenzas (fase)



**Fig.3.10.** Trenzas desmontadas

Después de haber terminado con la desconexión de la fase del generador se inicia con la desconexión del lado neutro del generador *fig.3.11*. La conexión de las salidas neutro del generador son muy parecidas a las salidas fase del generador, cada salida está conectada con trenzas, al igual que la salida lado fase del generador la fase B es la que cuenta con más trenzas de conexiones.

- Neutro A: 26 trenzas
- Neutro B: 28 trenzas
- Neutro C: 26 trenzas



**Fig.3.11.** *Desconexión de trenzas (neutro)*

Una vez retiradas todas las trenzas (Anexo C), se le realiza limpieza a cada una de las trenzas *fig.3.12*, los materiales para darle limpieza a las trenzas son los siguientes:

- Fibra scotch: para darle brillo y retirarle todo tipo de impurezas y la grasa que pueden contener algunas de las trenzas, se utiliza fibra para proteger el metal de las trenzas.
- Swim: líquido que se utiliza para remover la suciedad.
- Trapo seco

La limpieza de trenzas se debe de realizar con mucho cuidado ya que, esta cumplen con una función muy importante para el funcionamiento del generador, las trenzas no deben de perder el aislamiento de contacto que necesita para cada salida del generador, si se realiza limpieza con otro tipo de material las trenzas pueden ser dañadas, es por eso recomendable utilizar los materiales mencionados anteriormente.



**Fig.3.12.** Limpieza de trenzas desmontadas

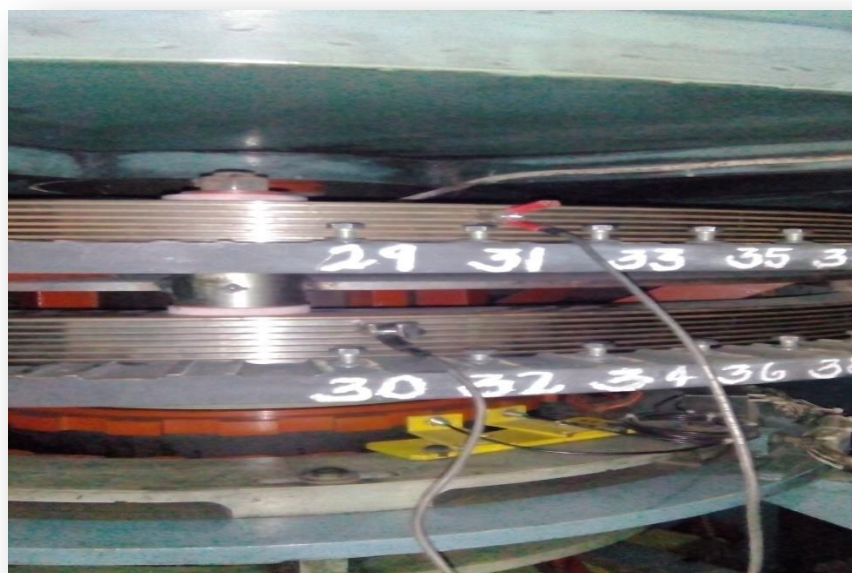
### 3.8 Prueba caída de tensión polo a rotor

Se realiza prueba de caída de tensión a los 44 polos del rotor *fig.3.13*, esta prueba se realiza con el propósito de detectar si existe corto circuito entre las espiras de las bobinas polares ya que al haberlo, disminuye a impedancia y la caída de tensión en el polo fallado.

Esta prueba se realiza aplicándole un voltaje de 220VCA, a través de los anillos rozantes del rotor, para esto se utiliza un foco de 100 Watts *fig.3.14*. Conectado en serie para hacer circular la corriente y determinar la impedancia de los polos, para esto se toma lecturas del voltaje y corriente aplicadas con lo cual es posible calcular la impedancia de todo el devanado.

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





**Fig.3.13.** Prueba caída de tensión polo a rotor.

Para que la corriente sea mayor y los resultados sean más precisos de preferencia se aplica un mayor voltaje, porque de acuerdo con la impedancia obtenida y el mayor voltaje se puede calcular la corriente.

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

En este caso la corriente no debe de ser mayor de 30 A., el aparato que se utilizó para poder medir la caída de tensión de cada polo fue un multímetro. Lo que sucede en esta prueba es que al estar los polos conectados en serie circulara por ellos la misma corriente y existirá una impedancia. Al tener los polos el mismo número de vueltas su caída de tensión es la misma, si un polo está en corto circuito su caída de tensión será diferente del resto, por lo tanto, se podrá saber que polo tiene bobinas en corto circuito y así poder extraerlo y darle el mantenimiento correspondiente.



**Fig.3.14.** *Dispositivo utilizado para la caída de tensión*

### **3.9 Retiro de tapas de la araña y viguetas**

Para proceder con el mantenimiento se inicia con el retiro de las tapas de la araña *fig.3.16.*, y el retiro de las viguetas *fig.3.15.*, para poder realizar la maniobra de la extracción de polos. Las viguetas que fueron retiradas están ubicadas frente al lado neutro del generador, en este caso solo se retiró una vigueta. En consecuencia se retiran las tapas de la araña, en este caso solamente se retiraron 3 tapas.



**Fig.3.15.** *Retiro de viguetas*



**Fig.3.16.** Retiro de tapas de la araña

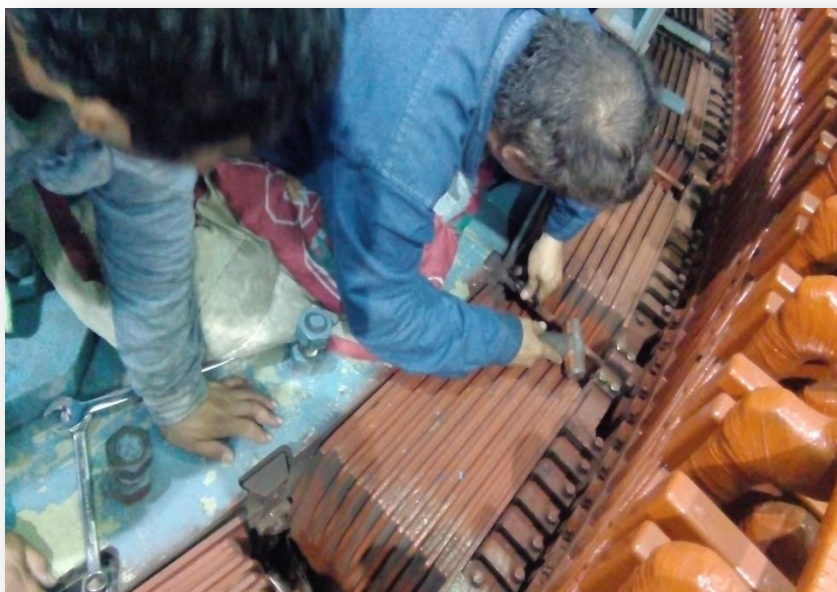
### 3.10 Desconexión y desmontaje de los polos

Se procede al retiro de polos del rotor, los polos desmontados para este mantenimiento serán 8 polos (Anexo D), se llega a la conclusión de extraer 4 polos de un lado los cuales son 4, 5, 6,7, y para no afectar el equilibrio de la masa del rotor, se extraen 4 polos paralelos a los anteriores los cuales son 26,27,28,29.

Se verifica que los ventiladores y mamparas de la parte superior e inferior estén desmontados para continuar con la maniobra. Primeramente se inicia con el retiro de las conexiones eléctricas, los devanados de amortiguador y los interpolos (Anexo E).

- Devanado de amortiguador: 10
- Conexiones eléctricas: 10
- Interpolos: 10

Para retirar los devanados de amortiguador primeramente se retira la soldadura que tiene cada devanado en la tuerca de presión esto se realizó con la ayuda de martillo y cincel, después de retirar las tuercas se utiliza un desarmador para quitar el devanado como se ve en la *fig.3.17*. Esta maniobra se realiza tanto superior como inferior.



**Fig.3.17.** Retiro devanados de amortiguador

Después de haber retirado los devanados de amortiguador se procede al retiro de las conexiones eléctricas y los interpolos, la maniobra para retirar las conexiones eléctricas viene siendo de la misma forma que la de los devanados, por lo contrario el retiro de los interpolos es un poco más costoso de tiempo ya que la maniobra que se realiza es muy diferente, para retirar los interpolos primeramente se verifica que todas las conexiones eléctricas ya estén retiradas, se utiliza desarmador con acoplamiento, ya que los interpolos se encuentran a la mitad de cada polo.

Una vez retirada las conexiones eléctricas, devanados de amortiguador, interpolos se procede al desmontaje de los polos marcados. El procedimiento para el desmontaje es el siguiente:

- Armado de dispositivo para el desmontaje de polos.
- Ajustar y centrar el dispositivo de extracción.
- Atornillar el dispositivo tanto de la parte superior como inferior *fig.3.18*.
- Retiro de cuñas de cola de milano superior e inferior.
- Realizar maniobra de extracción con la grúa viajera.
- Colocar el polo desmontado en los burros de carga y ubicarlos en el sitio donde se realizara el trabajo adecuado.



**Fig.3.18.** *Ajuste del dispositivo*

Los polos están firmemente fijados a la llanta del rotor por medio de cuñas a cada extremidad. Una vez ensamblado el dispositivo este será introducido al polo que será retirado con la ayuda de la grúa viajera *fig.3.19.*, y se procede al reapriete de tornillos que sujetaran al polo tanto de la parte superior como inferior, una vez realizada la maniobra se hace una pequeña elevación del polo para poder centrar al polo y poder tensar el dispositivo y a si el polo no tenga movimiento cuando inicia la extracción.

La extracción del polo se realiza con los cuidados de no golpear el polo, el laminado del estator ni los cabezales del devanado. Para que esta maniobra salga del todo bien se utiliza 8 personas del departamento de eléctrico, 4 personas por la parte inferior ellos están encargados de montar la maniobra por la parte inferior y poder guiar el desmontaje de cada polo sin que el polo pase a golpear al otro polo o al laminado del estator.

En la parte superior se quedan 4 personas más ellos están encargados de montar el dispositivo correcto y centrarlo correctamente, esto es fundamental en la maniobra del desmontaje de los polos, porque al no ser centrado correctamente, vienen consecuencias en el cual el polo puede desviarse de la trayectoria correcta y ocasionar daños en el cual puedan afectar al mantenimiento.

Una de las funciones más importante de esta maniobra es el que ocupa la persona que maneja la grúa viajera, esta persona debe de recibir las ordenes que se le dan por medio de señas de parte del jefe de mantenimiento, un descuido en la grúa viajera puede ocasionar grandes problemas tanto materialmente en el generador como físicamente en el personal que está realizando la maniobra.



**Fig.3.19.** *Desmontaje de polos*

Una vez desmontado el polo se procede a colocarlo primero en el piso donde se colocan polines, antes de acostarlo se coloca una placa de apoyo en la parte inferior del polo para poder continuar con la maniobra y acostar al polo como se observa en la *fig.3.20*.



**Fig.3.20.** *Colocación de la placa*

### 3.11 Limpieza cabezales superior e inferior

Se realiza limpieza a los cabezales de la bobinas *fig.3.21*. Los cabezales de las bobinas del generador están sujetos a lo que es la parte del estator, al haber retirado las tapas antiderrapantes y tolvas, los cabezales de las bobinas es la parte más visible del generador.

Por consecuencia al ser la parte más visible del generador se contaminan con polvo y vapores de aceite debido también a las curvaturas en el cabezal mencionado.

Los cabezales de las bobinas es el lugar donde se tienen esfuerzos más severos ya que hay gradientes de potencial mayores que en otras partes del devanado, estos fenómenos y las variaciones de temperatura provocan que se agiten los aislamientos, en base a esto puede ocurrir el hecho de que se aflojen las capas de cinta aislante con las que cuentan los cabezales.

La cinta de aislante es una parte muy importante en los cabezales ya que si la cinta estuviera dañada se pueden provocar indicios de efectos corona en la superficie del aislamiento, es por eso que se le realiza una completa revisión y se determinara si se realiza una limpieza total y limpieza al resto del devanado con aire del compresor y si es necesario barnizar la parte marcada de los cabezales.

Este mantenimiento se realiza tanto en la parte superior de los cabezales como inferior, aunque en la parte inferior es un poco más complicado por el hecho de que las mamparas a un están ensambladas y solo se retiraron las que fueron requeridas para el desmontaje de polos.



**Fig. 3.21.** Limpieza cabezales sup/inf

### 3.12 Prueba de resistencia de aislamiento a fases del generador

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.

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.

En lo correspondiente a la prueba de aislamiento se inicia después de la extracción de los 8 polos marcados una vez extraído los polos se comienza con la prueba de resistencia de aislamiento de las 3 fases del generador *fig.3.22.*, esta prueba se realiza antes de iniciar la inspección y reacuñado de las bobinas del generador. Los resultados obtenidos en la prueba fueron satisfactorios.



**Fig.3.22.** Prueba resistencia de aislamiento



### 3.13 Inspección y reacuñado de las bobinas del generador

Se realizó la verificación del estado de apriete de las cuñas, amarre entre cabezales, separadores de cabezales, amarres del devanado al anillo de sujeción.

El reacuñado de generadores es una actividad que es necesario efectuar con cierta periodicidad para asegurar el reapriete de las bobinas del estator en las ranuras. Consiste en reapretar las cuñas ya sea remplazándolas porque se dañan al extraerlas o porque debido tiempo que tienen en operación hayan perdido sus características mecánicas o dieléctricas, o porque tiene en disponibilidad cuñas de materiales cuya calidad mecánica y dieléctrica asegure una mayor vida útil para el generador.

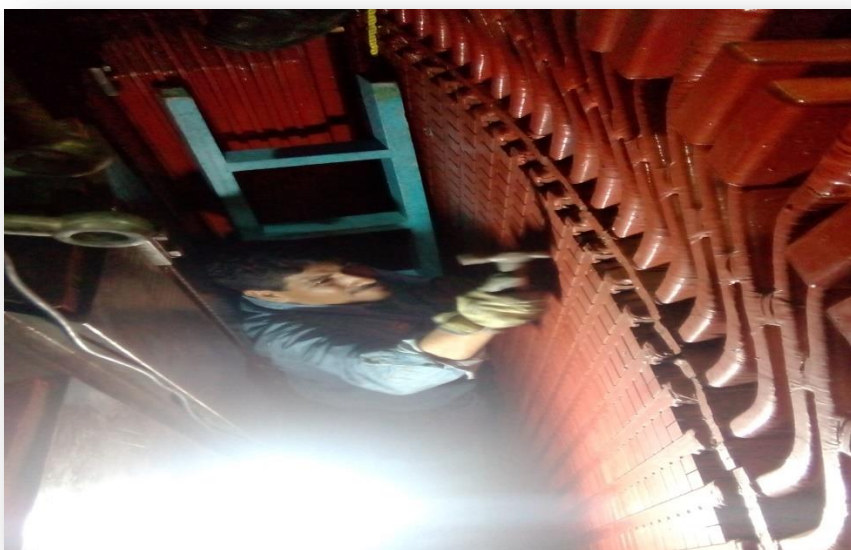
Con la inspección y el reacuñado se asegura que las bobinas del estator no tengan movimientos relativos con respecto a la ranura. Las cuñas se llegan aflojar debido a los siguientes factores:

- Esfuerzo excesivos provocados durante la falla eléctrica en que la unidad aparta de potencia de corto circuito.
- Esfuerzos provocados por los efectos electromagnéticos a que está sometida la bobina, que depende de la circulación de corriente y principalmente de la potencia que está suministrando el generador.
- Esfuerzos provocados por los ciclos de expansión y contracción debido a los cambios de temperatura derivados de las variaciones en la potencia activa de la unidad.

Para la evaluación del estado del apriete de las cuñas se utiliza un método de golpear las cuñas con un martillo para tapicero *fig.3.23*. La inspección de las cuñas se clasifican como:

- **NORMAL(N)**: Si al golpear la cuña todo se escucha firme sin ninguna vibración de alta frecuencia, esto va para toda la fila de la cuña, no habiendo evidencia de un sonido diferente se continúa con la inspección.
- **REGULAR(R)**: Si al golpear se escucha un ligero sonido y una pequeña vibración, esto no quiere decir que la cuña este floja o dañada pero si toma como un regular y la única forma de que esta pueda ser retirada, debe de ser si junto a esta cuña se encuentran dos o más cuñas regulares.
- **FLOJA (F)**: Floja esta es la parte en la cual hay diversos factores en la cual nosotros podemos determinar si la cuña esta floja, los factores son los siguientes:
  - Se puede sentir vibraciones muy altas al golpearla.

- Se encuentra en una posición en la cual no debería de estar (tapando ductos de ventilación).
- El relleno bajo la cuña se ha movido por lo cual se escuchan vibraciones altas.
- ROTAS: esta clasificación no se encuentra en la hoja de inspección proporcionada por el jefe de departamento, si una cuña es encontrada rota por reglamento se tiene que cambiar la cuña dañada, por lo regular las cuñas rotas se encuentran al inicio de la fila de cuñas y al final que es donde van los candados.



**Fig. 3.23.** *Inspección de cuñas*

El trabajo del reacuñado se realiza por medio de 4 personas del departamento de eléctrico, en el cual se forman dos parejas, cada pareja iniciará el sondeo o inspección de cuñas introduciéndose en los dos huecos que quedaron entre el estator y rotor de donde fueron retirado los 8 polos.

De las personas asignadas al trabajo 2 son las que se introducen a los huecos y las otras 2 personas son las que van anotando las observaciones que le indica el que golpea la cuña. La forma en la cual indica el que golpea las cuñas es de la siguiente manera.

- Cuando la persona indica con un dedo, eso quiere decir que la cuña se encuentra en un estado normal.
- Cuando la persona indica con dos dedos, eso indica que la cuña está en estado regular.
- Cuando la persona indica con tres dedos, indica que la cuña esta floja.

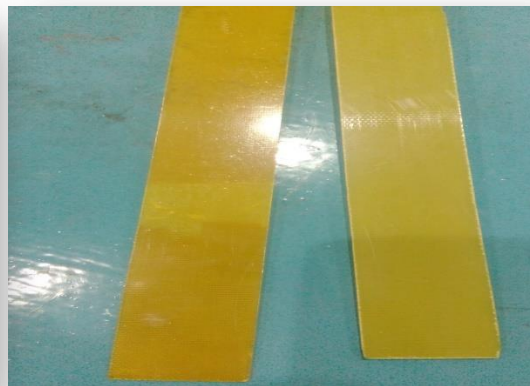
Después de haber terminado el primer espacio de los huecos, se entrega la hoja de resultados del sondeo del giro y el jefe o auxiliar del departamento de eléctrico, determinara cuales y cuantas cuñas deben de ser retiradas y darles mantenimiento.

Las cuñas están formadas de diferentes materiales. Las cuñas utilizadas en la u-4 son a base de fibra de vidrio aglutinada con resina ya sea exposica o poliéster y las contra cuñas *fig.3.24*. Los rellenos que se usan son de resina exposica o poliéster, se utilizan dos tipos de rellenos delgados y gruesos *fig.3.25*.

La resina exposi se endurece cuando se mezcla con catalizador o endurecedor y fibra de vidrio *fig. 3.26*. Para obtener un resina muy eficaz para los candados que se utilizan en la parte de inicio de la primer cuña y al final en la cuña 13, se utiliza las medidas indicadas por el jefe de mantenimiento las cuales son tres, uno, uno, tres medidas de resina, una de fibra de vidrio, una de catalizador así se obtiene una mezcla excelente para aplicar a los candados, la aplicación debe de ser rápida ya que al ser mezclado son pocos minutos que se mantiene en forma para poder ser utilizado, de tal forma la mezcla se endurece.



**Fig. 3.24.** *Cuña y contra cuña*



**Fig. 3.25.** *Rellenos*

En este caso para el mantenimiento menor de la u-4 la primera pareja inicia el sondeo de la bobina 198 para atrás, y la segunda pareja inicia de la bobina 396 para atrás. Como noce puede revisar totalmente el estado de todo el reacuñado en una sola vez, es necesario realizar giros al rotor en este caso para la u-4 se realizaron  $4 \frac{1}{2}$  giros, los giros que se le hacen al rotor son de forma manual por lo cual integrantes del personal de eléctricos se introducen a la parte de los cabezales y ejercer fuerza para poder girar a máquina al mismo sentido esto se realiza tomando en cuenta que los gatos de frenado se encuentren fuera y

que la bomba de lubricación se encuentre en servicio hasta que se ubique en la posición deseada y así poder subir los gatos de frenado y deja fuera la bomba de lubricación.



**Fig. 3.26.** *Resina exposi*

### 3.14 Desmontaje barras de excitación y mantenimiento

El sistema de excitación entendido como la fuente de corriente de campo para la excitación principal de una máquina, incluyendo los medios de control. El sistema de barraje de excitación generalmente estaban energizados por varios excitadores accionados por motores, turbinas, máquinas de vapor, volantes hidráulicas, o combinación de las anteriores, para constituir la alimentación principal o de emergencia de campo.

Normalmente se poseía una batería en flotación sobre la barra de excitación a manera de stand-by. Batería que debería tener una capacidad suficiente para cumplir los requerimientos de excitación como mínimo durante una hora, para este caso no se tenía la excitatriz directamente acoplado al eje del generador.

Posteriormente apareció el sistema acoplado al eje y gano gran aceptación pues resolvió muchos problemas que se presentaban en el esquema anterior. Los excitadores fueron invariablemente autoexcitados. En un sistema de barraje común sin batería de flotación. El barraje opera a voltaje constante suministrado por el generador. Por lo tanto se obtenía un voltaje prácticamente constante sobre el barraje.

- **Sistema de excitación:** fuente de corriente de campo para la excitación de una máquina, incluyendo os medios de control.

- **Voltaje ceiling o de techo:** máximo voltaje que puede suministrar un excitador a determinadas condiciones de carga. Para excitatrices rotativas el voltaje de techo se especificara a velocidad nominal y a una temperatura de campo determinada.

La u-4 cuenta con un sistema de barras de excitación, las barras de excitación para esta unidad son barras acoplados al eje, para proceder al mantenimiento de las barras primeramente se comienza con el retiro de la cinta aislante en las uniones de las barras, posteriormente se inicia con el retiro de tornillos, retiro de galletas están son placas de 15 cm, están hechas de fibra de vidrio y finalmente se desmontan las barras de excitación *fig.3.27*.

En consecuencia al desmontaje de las barras se inicia con el mantenimiento de ellas, el mantenimiento se realiza de la siguiente manera.

1. Se retira la cinta de aislamiento de cada barra.
2. Se utiliza fibra scotch para retirar los residuos de cintas que quedaron en la barra, se utiliza este tipo de material para no dañar a la barra.
3. Se realiza limpieza con trapo y liquido dielectrol.
4. Se inicia con el primer encintado, se le da dos vueltas por barra con cinta de fibra de vidrio de 1 pulgada.
5. Se realiza segundo encintado, se le da 3 vueltas por barra con cinta de fibra de Vidrio de 1 ½ pulgada.
6. Finalmente se aplica barniz rojo a todas las barras.
7. Montaje de barras *fig. 3.28*.



**Fig. 3.27.** *Barras de excitación desmontadas*



**Fig. 3.28** Barra de excitación (terminada)

### **3.15 Mantenimiento a huecos (radiadores)**

Para proceder con el mantenimiento de la u-4, se realiza limpieza a los huecos donde van ensamblados los radiadores *fig.3.29.*, estos mismos fueron desmontados por el personal del departamento de mecánicos, los radiadores fueron desmontados al inicio del mantenimiento en total son 12 radiadores los que se utilizan en la u-4.

Los radiadores están montados sobre la abertura en la superficie exterior del estator y están conectados por medio de una válvula de cierre a la tubería del agua de refrigeración. Están dimensionados para permitir que el generador opere con seguridad a la potencia nominal, aun con un enfriador fuera de servicio y el agua de refrigeración a la temperatura específica.

El agua de refrigeración es distribuida a los tubos en travesaños desmontables de acero cubiertos de plástico y galvanizado

El mantenimiento que se realiza en los huecos es limpieza con trapo seco, aspiradora y dielectrol. Para la realización esta actividad se utilizaron 6 personas del departamento de eléctrico, para tener un avance rápido.



**Fig. 3.29.** Limpieza huecos de radiadores

### **3.16 Mantenimiento a polos desmontados**

Por lo regular una falla en el rotor es la falla a tierra del devanado de campo, inicialmente puede ser no muy grave porque los niveles de voltaje que maneja este devanado son relativamente pequeños comparados con los voltajes en el estator, otra falla a nivel rotor es su aislamiento en los polos al perder velocidad de la máquina se contrae la bobina con los consecuentes esfuerzos sobre los aislamientos.

Cuando ocurre un cortocircuito a tierra en el campo, todo el devanado cambia de referencia y algunos puntos de este incrementan la tensión a tierra cuando se inducen voltajes en el rotor debido a fenómenos transitorios en el estator.

Estas tensiones incrementan la posibilidad de que una segunda falla ocurra en otro punto del devanado de campo, dos cortocircuitos a tierra en el rotor, producirán una sobre corriente en la sección del devanado libre de falla, mientras que por la espiras de la sección fallada prácticamente no circulara corriente, esto hace que el flujo magnético que se genera en el rotor no sea uniforme ocasionando un desequilibrio en las fuerzas magnéticas producto de los fenómenos magneto-dinámicos que ocurren en las máquinas rotativas.

El mantenimiento que se le da a los 8 polos desmontados de la u-4 son los siguientes:

- Limpieza general.
- Inspección del aislamiento.
- Aplicación de barniz ojo.
- Prueba de resistencia de aislamiento.

Primeramente se procedió a la limpieza de los polos con trapo seco impregnado de dielectrol y se limpian sus conexiones eléctricas (limado) *fig.3.30*.



**Fig. 3.30.** Limpieza a polos desmontados

Una vez limpios los polos se inician con el limado de las conexiones de los polos y la aplicación de barniz rojo a todos los polos procurando que el barniz no toque la parte de la cola de milano (Anexo F), para que al momento de ensamblar los polos no ocurran complicaciones.

Para proceder con el mantenimiento de los polos se realiza la prueba de aislamiento a los 8 polos extraídos para verificar el aislamiento a tierra y su estado de cada uno.

Para la realización de la prueba de aislamiento se utilizó el equipo de medición MEGGER *fig. 3.31*, conectando la terminal positiva del equipo en una de las terminales de la bobina del polo.

La terminal negativa se conecta a la parte donde se conecta el devanado de amortiguador, pero antes se conecta el sistema de tierra a la parte del devanado de amortiguador del polo, los resultados fueron satisfactorios.



**Fig. 3.31.** Prueba de resistencia de aislamiento



### 3.17 Montaje y conexión de polos

Una vez estando el rotor y el estator limpio, lo que sigue es colocar los polos que previamente se les dio mantenimiento. Se levanta el polo con la grúa utilizando los mismos dispositivos que se usaron en su extracción.

Se colocan las barras para sujetarlo y se aprieta firmemente *fig.3.32*. Los polos tienen numeración de donde se extrajeron así que se debe tener cuidado de que estos números coincidan.



**Fig. 3.32.** Montaje de polos

Para realizar la maniobra de introducir los polos se utilizaron 8 personas del departamento de eléctrico, 4 personas en la parte inferior para realizar la maniobra que se necesita y 4 más en la parte superior y una persona en la grúa viajera el ensamble de los polos debe ser con mucho cuidado ya que deben de introducirlo perfectamente centrados para no tener mayor dificultad a la hora de introducir los interpolos.

Los interpolos son los primeros dispositivos que son conectados a los polos y esta es la más complicada de hacerlo ya que el lugar de trabajo es muy incómodo y solo puede realizarlo una persona por la parte superior.

Después de introducir los polos lo siguiente es conectar las barras del devanado amortiguador y las terminales de los polos *fig.3.33*. La conexión de las terminales de los polos y los devanados amortiguadores se realiza también en la parte inferior en el inicio y fin de cada bobina de cada polo.



**Fig.3.33.** *Conexión de polos.*

### **3.18 Conexión de trenzas de salida de fase y neutro del generador.**

En correspondiente al mantenimiento de las trenzas de las conexiones del generador, una vez retiradas se le realizo limpieza a cada una de ellas por fase tanto del lado de salida de fase y neutro.

Se procede a la conexión de trenzas por parte del lado fase del generador y lado neutro *fig. 3.34*, las trenzas se conectan en el orden numérico que se les dio al ser desmontadas, para realizar esta actividad se ocuparon 4 personas del departamento de eléctrico, se hicieron 2 parejas la primer pareja se encargó de conectar el lado de salida de las fases, y la segunda pareja de conectar el lado neutro del generador.



**Fig. 3.34.** *Conexión de trenzas lado fase y neutro del generador*

### 3.19 Montaje de tolvas superior e inferior y tapas antiderrapantes

Después de haber realizado la inspección visual al generador y de haber concluido con todas las actividades que se requerían al mantenimiento menor de la u-4, se hace una inspección a todo donde se estuvo realizando las actividades, de tal manera que al cerrar la parte superior del generador no se olvide ningún material dentro del generador ya que al poner en marcha la maquina puede ocurrir una falla, que ocasione daños graves y detener el mantenimiento.

Una vez habiendo echo todo lo mencionado anteriormente se procede con el montaje de tolvas *fig.3.35*, con ayuda de la grúa viajera y el personal del departamento de eléctrico, se inicia el ensamble de tolvas estas se encuentran numeradas y se inicia de la tolva núm. 1 para poder ensamblarlas bien y no queden una sobre otras.



**Fig. 3.35.** Montaje de tolvas

Después de haber concluido con el ensamble de tolvas se procede con la colocación de las tapas antiderrapantes *fig.3.36*, esta actividad se realiza de igual manera con ayuda de la grúa viajera y del personal del departamento de eléctrico. Las tapas antiderrapantes de igual manera están numeradas pero estas se inician por la parte de las salidas del generador, una vez ensambladas las tapas antiderrapantes con ayuda de una maso de acero se golpea para que ensamblen perfectamente y se comienza con la puesta de tornillos.



**Fig. 3.36.** *Montaje de tapas antiderrapantes.*

## 4 Mantenimiento a equipos complementarios auxiliares del generador

### 4.1 Transformador de excitación

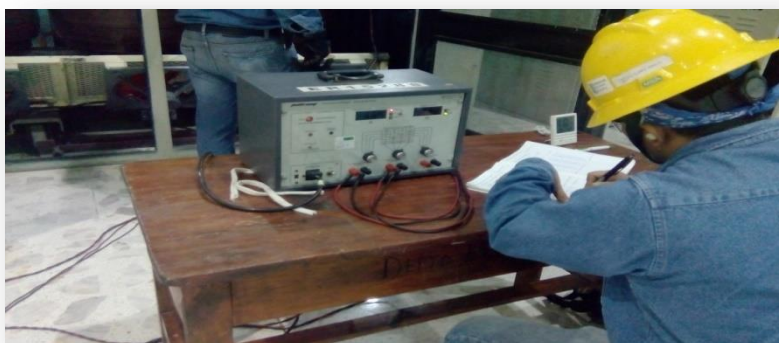
El transformador de excitación es alimentado por la misma derivación del bus de fase aislada, su función es reducir la tensión eléctrica de 17 000 volts, para alimentar el sistema de excitación del generador. Se encuentra ubicado en el piso de barras.



**Fig.4.1.** Transformador de excitación

El mantenimiento realizado al transformador de excitación es primeramente la desconexión de las trenzas por parte del lado de alta y por parte del lado de baja, después de haber dejado fuera al transformador de excitación se procede con la limpieza de polvo y grasas.

El mantenimiento que se le da a las trenzas desmontadas es igual manera a las trenzas de salidas del generador. Se realiza reapriete de tornillería a todas las conexiones de 17 KV y 1200 VCA, de igual manera aspirado al lado de los ventiladores de refrigeración. Después de realizar el mantenimiento adecuado al transformador de excitación se realiza la prueba de resistencia de aislamiento el equipo de medición utilizado es el MEGGER *fig. 4.2.*



**Fig. 4.2.** Prueba al transformador de excitación

## 4.2 Transformador de servicios propios

El transformador de servicios propios *fig. 4.3*, es alimentado por la derivación del bus de fase aislada de 17 KV su función es reducir la tensión eléctrica de 17 000 volts a 440 VCA, que requieren os servicios propios auxiliares de la central, tales como bombas de regulación, bombas de achique, compresores de aire acondicionado, alumbrado, ventilación, etc.



**Fig. 4.3.** *Transformador de servicios propios*

Se realizó desconexión y limpieza de transformador de servicios propios por parte del lado de alta y baja *fig.4.4*, después de terminar la limpieza y reapriete de tornillería se inicia con las pruebas de resistencia de aislamiento, relación de transformación y prueba de factor de potencia, reapriete de la tornillería en conectores de 17 KV y 1200 VCA.

Por otra parte se cortocircuitaron terminales de baja tensión y se alimentó el lado primario con 440 volts para prueba de la protección diferencial en coordinación con el departamento de protecciones, obteniéndose resultados de prueba satisfactorias.



**Fig.4.4.** *Mantenimiento transformador servicios propios*

### 4.3 Transformador de neutro

Para la continuación de las actividades se realiza mantenimiento al transformador neutro del generador *fig. 4.5*, se inicia con la desconexión y limpieza del transformador de neutro, la limpieza consiste de retirar todo el polvo que se encuentra dentro de él, se realiza limpieza a las resistencias y protecciones del neutro del transformador.

Parte importante del mantenimiento del transformador neutro es la prueba final de resistencia de aislamiento, relación de transformación y pruebas de factor de potencia, mediante la realización de las pruebas se obtuvieron resultados satisfactorios.

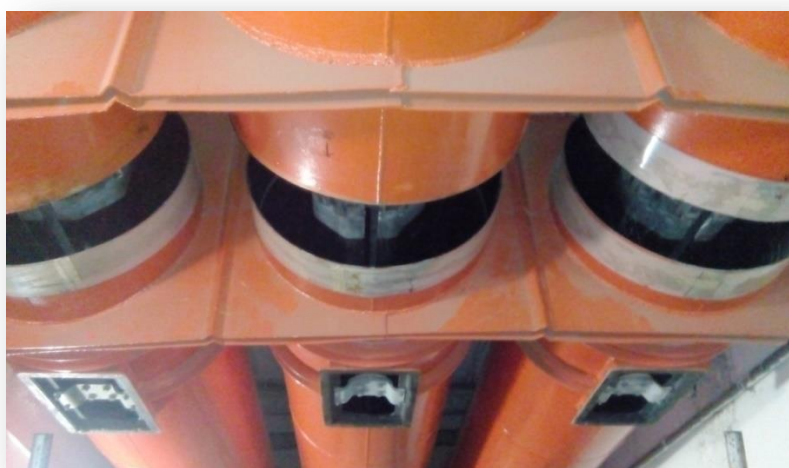


**Fig. 4.5.** *Transformador neutro del generador*

#### 4.4 Bus de fase aislada

Para continuar el proceso del mantenimiento se efectuó la limpieza al bus de fase aislada en las partes interiores, aisladores y envoltente *fig.4.6*. Para la limpieza interior del bus se introdujo una persona entre el bus y la cubierta, el cual fue limpiado en su totalidad con trapo impregnado con solvente dieléctrico hasta la parte del lado primario del transformador de potencia (delta).

Se realizaron pruebas de resistencia de aislamiento al bus obteniéndose resultados aceptables, finalmente se realizó reaprietes de tornillería en conexiones, soportes y aisladores *fig.4.7*.



**Fig. 4.6.** *Bus de fase aislada*



**Fig. 4.7.** *Limpieza bus de fase aislada*



#### **4.5 Trabajos finales**

Para finalizar con el mantenimiento menor de la u-4 se realizaron trabajos finales para la puesta en servicio correspondiente al departamento eléctrico:

- a) Conexión de los transformadores de servicios propios, excitación y neutro.
- b) Pruebas finales de resistencia de aislamiento, de conjunto y campo.
- c) Pruebas operacionales de los equipos auxiliares de la máquina.
- d) Apertura de compuerta en obra de toma y desfogos.
- e) Retiro de tierras en el generador, conexión del neutro, colocación de carbones en porta escobillas, los carbones y porta escobillas fueron cambiados.
- f) Disponibilidad del interruptor 52-A4.
- g) Se conectó la alimentación de 250 VCD para la excitación inicial, quedando disponible la unidad para operación sistema.

#### **4.6 Puesta en servicio**

El día viernes 09 de diciembre se inició con las pruebas de puesta en servicio bajo el siguiente protocolo.

1. Apertura y cierre de alabes
2. Apertura y cierre de compuerta cilíndrica.
3. Prueba de secuencia interruptor de servicios propios.
4. Pruebas de señal de bus rodante
5. Rodado de fugas.
6. Prueba de sincronización con bus muerto.

## 5. Resultados

- **Prueba Resistencia de Aislamiento al Campo**

En la *tabla 5.1* se muestra los resultados obtenidos en la realización de la prueba inicial de resistencia de aislamiento al campo de generador.

RESISTENCIA DE AISLAMIENTO AL CAMPO			
Unidad: # 4			Fecha : 24/10/2016
Equipo: campo generador			Marca: ASEA
KVA: 300,000			Tension: 17 KV
Tiempo de operación: 35 años			Frecuencia: 60 HZ
Parte Probada:	campo de generador		
Voltaje de Prueba:	500 VCD		
Conexión de Prueba	L	anillos	
	T	tierra	
	G	.....	
Tiempo :	Lectura MΩ		
15 seg	518 MΩ		
30 seg	713 MΩ		
45 seg	1.02 GΩ		
1 min.	1.27 GΩ		
2 min.	2.04 GΩ		
3 min.	2.47 GΩ		
4 min.	2.86 GΩ		
5 min.	3.18 GΩ		
6 min.	3.22 GΩ		
7 min.	3.49 GΩ		
8 min.	4.01 GΩ		
9 min.	4.03 GΩ		
10 min.	4.04 GΩ		
I.A.(1min/30seg)	1.78		
I.P. (10min/1min)	3.17		

**Tabla 5.1.** Resultados de la prueba de resistencia de aislamiento.

- **Prueba de resistencia de aislamiento de conjunto.**

En la *tabla 5.2.* Se muestran los resultados obtenidos durante la prueba de conjunto inicial.

RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DE CONJUNTO		
Unidad: # 4		Fecha : 24/10/2016
Equipo: campo generador		Marca: ASEA
KVA: 300,000		Tensión: 17 KV
Tiempo de operación: 35 años		Frecuencia: 60 HZ
Parte Probada:	conjunto generador	
Voltaje de Prueba:	2500 VCD	
Conexión de Prueba	L	neutro
	T	tierra
	G	.....
Tiempo :	Lectura MΩ	
15 seg	33.1MΩ	
30 seg	61.3 MΩ	
45 seg	80.3 MΩ	
1 min.	96.3 MΩ	
2 min.	136 MΩ	
3 min.	160 MΩ	
4 min.	180 MΩ	
5 min.	193 MΩ	
6 min.	204 MΩ	
7 min.	214 MΩ	
8 min.	226 MΩ	
9 min.	231 MΩ	
10 min.	238 MΩ	
I.A.(1min/30seg)	1.57	
I.P. (10min/1min)	2.51	

**Tabla 5.2.** Resultados de la prueba de conjunto

- **Prueba de caída de tensión a polos.**

Los resultados de la prueba de caída de tensión a polos se muestran en la *tabla 5.3*.

CAIDA DE TENSION A POLOS										
Unidad: # 4									Fecha: 25/10/2016	
Equipo: caída de tensión a polos									Marca: ASEA	
Tension aplicada:	223.7		Tension en anillos:		40.77		Tension en el foco:		224.8 corriente: 0.3	
No. De Polo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tension										
Medida en	1.100	1.093	1.084	1.075	1.054	1.051	1.055	1.055	1.053	1.044
Volts										
No. De Polo	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Tension										
Medida en	1.041	1.037	1.037	1.022	1.006	1.007	0.985	0.975	0.968	0.951
Volts										
No. De Polo	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Tension										
Medida en	0.927	0.909	0.927	0.933	0.896	0.882	0.081	0.876	0.886	0.857
Volts										
No. De Polo	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Tension										
Medida en	0.840	0.855	0.861	0.861	0.855	0.846	0.809	0.790	0.762	0.767
Volts										
No. De Polo	41	42	43	44						
Tension										
Medida en	0.758	0.766	0.767	0.742						
Volts										

**Tabla 5.3.** Resultados caída de tensión a polos.

- **Prueba de resistencia de aislamiento a fases del generador.**

Se realiza prueba de resistencia de aislamiento a las fases del generador los resultados se muestran en la *tabla 5.4.*

RESISTENCIA DE AISLAMIENTO						
Unidad: # 4				Fecha : 30/10/2016		
Equipo: campo generador				Marca: ASEA		
KVA: 300,000				Tensión: 17 KV		
Tiempo de operación: 35 años				Frecuencia: 60 HZ		
Parte Probada:		fases del generador				
Voltaje de Prueba:		10 000 KV				
Conexión de Prueba	L	fase a	L	fase b	L	fase c
	T	tierra	T.	tierra	T	tierra
	G	.....	G	.....	G	.....
Tiempo :	Lectura MΩ		Lectura MΩ		Lectura MΩ	
15 seg	28.7 MΩ		28.3 MΩ		28.5 MΩ	
30 seg	301 MΩ		301 MΩ		307 MΩ	
45 seg	487 MΩ		465 MΩ		470 MΩ	
1 min.	624 MΩ		601 MΩ		603 MΩ	
2 min.	1.06 GΩ		1.02 GΩ		1.01 GΩ	
3 min.	1.42 GΩ		1.35 GΩ		1.31 GΩ	
4 min.	1.70 GΩ		1.61 GΩ		1.56 GΩ	
5 min.	1.78 GΩ		1.88 GΩ		1.77 GΩ	
6 min.	2.24 GΩ		2.12 GΩ		2.03 GΩ	
7 min.	2.44 GΩ		2.32 GΩ		2.21 GΩ	
8 min.	2.66 GΩ		2.52 GΩ		2.41 GΩ	
9 min.	2.89 GΩ		2.70 GΩ		2.49 GΩ	
10 min.	3.03 GΩ		2.92 GΩ		2.65 GΩ	
I.A.(1min/30seg)	2.07		1.99		1.96	
I.P. (10min/1min)	4.9		4.87		4.44	

**Tabla 5.4. Resultados fases del generador.**

- **Prueba de resistencia de aislamiento de conjunto después del mantenimiento.**

Al finalizar el mantenimiento se realiza la prueba de conjunto al campo del generador los resultados se muestran en la *tabla 5.5*.

RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DE CONJUNTO		
Unidad: # 4		
Equipo: campo generador		
KVA: 300,000		
Tiempo de operación: 35 años		
Parte Probada:	conjunto generador	
Voltaje de Prueba:	500 VCD	
Conexión de Prueba	L	anillos
	T	tierra
	G	.....
Tiempo :	Lectura MΩ	
15 seg	137 MΩ	
30 seg	172 MΩ	
45 seg	190 MΩ	
1 min.	197 MΩ	
2 min.	212 MΩ	
3 min.	220 MΩ	
4 min.	227 MΩ	
5 min.	232 MΩ	
6 min.	235 MΩ	
7 min.	238 MΩ	
8 min.	242 MΩ	
9 min.	246 MΩ	
10 min.	248 MΩ	
I.A.(1min/30seg)	1.14	
I.P. (10min/1min)	1.26	

Fecha :  
03/12/2016  
Marca: ASEA  
Tensión: 17 KV  
Frecuencia: 60 HZ

DESPUES DEL MANTENIMIENTO

**Tabla 5.5. Resultados prueba de conjunto**

- **Prueba de resistencia de aislamiento de conjunto neutro, después del mantenimiento.**

Se realiza la prueba de conjunto de aislamiento neutro para finalizar el mantenimiento menor los resultados se muestran en la *tabla 5.6*.

RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DE CONJUNTO		
Unidad: # 4	Fecha : 08/12/2016	
Equipo: campo generador	Marca: ASEA	
KVA: 300,000	Tensión: 17 KV	
Tiempo de operación: 35 años	Frecuencia: 60 HZ	
Parte Probada:	conjunto generador	
Voltaje de Prueba:	2500 VCD	
Conexión de Prueba	L	neutro
	T	tierra
	G	.....
Tiempo :	Lectura MΩ	
15 seg	38 MΩ	
30 seg	71.7 MΩ	
45 seg	96 MΩ	
1 min.	114 MΩ	
2 min.	162 MΩ	
3 min.	191 MΩ	
4 min.	210 MΩ	
5 min.	224 MΩ	
6 min.	239 MΩ	
7 min.	249 MΩ	
8 min.	259 MΩ	
9 min.	263 MΩ	
10 min.	272 MΩ	
I.A.(1min/30seg)	1.58	
I.P. (10min/1min)	2.37	

DESPUES DEL MANTENIMIENTO

**Tabla 5.6.** Resultados prueba de conjunto neutro

## **6. Conclusión**

En base al protocolo de pruebas aplicado se indicada y se considera que el total de las mediciones realizadas en el estator los resultados obtenidos son aceptables, se prevé adecuadas para que continúe operando de manera confiable.

Todos los trabajos de mantenimiento menor se deben realizar integrando todos los recursos humanos y técnicos que sean necesarios, dentro y fuera de la organización.

Es muy importante saber que para tener un equipamiento funcionando correctamente y sin fallas es necesario darle su mantenimiento periódico realizando inversiones adecuadas en todos los entornos de trabajo ya que es más factible mantener al equipo siempre en sus condiciones permisibles que comprar uno nuevo.

El planteamiento del problema, así como los resultados alcanzados permiten hacer un acercamiento al mismo, algo que sirve como una buena introducción para futuros mantenimientos.

Con la aplicación adecuada, de este mantenimiento menor es una herramienta muy valiosa en la reducción de fallas. Uno de los puntos que podemos considerar muy importantes en el mantenimiento menor es la reducción de los tiempos muertos, utilizar correctamente el inventario, reducción de tiempos extras, reducción de compras de piezas emergentes, lo cual se refleja en un mayor rendimiento de los presupuestos hechos principalmente a los departamentos encargados del mantenimiento.

Este proyecto es recomendado para todo personal del departamento eléctrico, con el fin de conocer e implementar todos los procedimientos, conocimientos y trabajos necesarios para el mantenimiento menor de un generador hidroeléctrico así como sus funciones y partes que lo integran.



## 7. Bibliografías

- [1] Historial de la Central Hidroeléctrica Manuel Moreno Torres (C.H. MMT.)- Departamento Eléctrico.
- [2] Documentos/Central – Hidroeléctrica-Manuel-Moreno-Torres. HTML.
- [3] Wagner Eduardo Vano; Fernando Bento Silva; Felipe Adriano Silva, Present the application of induction generation self-esteem that works in synchronous generators for the supply of isolated systems.
- [4] Elmer Sorrentino Ramírez; Pamela Villafuerte, Present the control effect of generators and turbines on the transient stability of a power.
- [5] Mehriar Aghazadeh Tabrizi, “Participation of non-conventional energy resources in power system frequency control”
- [6] Jackson Hudson Ignacio Ferreira; Jos Roberto Camacho; Juliana Almonsa Malagol A Contribution to the Study of the Estimate Hydroelectric Potential for Small Hydropower Plant.
- [7] Alberto German Martinez Obtaining the Limits of Operation of Underexcited Generators
- [8] Historial de la Central Hidroeléctrica Manuel Moreno Torres (C.H. MMT.) Obra Electromecánica- Departamento Eléctrico.
- [9] Historial de la Central Hidroeléctrica Manuel Moreno Torres (C.H. MMT.) Obra Civil- Departamento Eléctrico.
- [10] Mantenimiento de Generadores Hidroeléctricos- Departamento Eléctrico – Departamento de Protecciones.
- [11] [html.rincóndelvago.com/alternadores-trifasicos.html](http://html.rincóndelvago.com/alternadores-trifasicos.html).

[12] Generadores Hidroeléctricos. Funcionamiento de Generadores. Partes de Generadores. Protecciones de Generadores. Central Hidroeléctrica Manuel Moreno Torres – Tesis Maestría – Junio 2005.

[13] [potencia.Academia.edu/TRANSFORMADORES\\_DE\\_POTENCIA](http://potencia.Academia.edu/TRANSFORMADORES_DE_POTENCIA).

[14] Historial U-4 Central Hidroeléctrica Manuel Moreno Torres – Departamento Eléctrico.

[15] Historial Sistema de Tierras y Puesta de Tierra Neutro – Departamento de Protecciones.

[16] Diagnóstico Integral del Devanado del Estator de Generadores Eléctricos.

- Mantenimiento de los generadores, transformadores.- Enrique Harper
- SECCION ET-04- GENERADORES Y EQUIPOS AUXILIARES. ESPECIFICACIONES TECNICAS ESPECIALES

#### **Referencias de la web.**

- [http://www.endesaeduca.com/Endesa\\_educa/recursos-  
interactivos/conceptos-basicos/v.-funcionamiento-basico-de-generadores](http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/conceptos-basicos/v.-funcionamiento-basico-de-generadores)
- [https://books.google.com.mx/books?id=X3p4bZfoqgEC&pg=PA61&dq=  
=mantenimiento+menor+a+generadores&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEw  
iA88y86uLQAhVCBywKHenAASsQ6AEIMzAA#v=onepage&q=man  
tenimiento%20menor%20a%20generadores&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=X3p4bZfoqgEC&pg=PA61&dq=mantenimiento+menor+a+generadores&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiA88y86uLQAhVCBywKHenAASsQ6AEIMzAA#v=onepage&q=mantenimiento%20menor%20a%20generadores&f=false)
- [http://www.academia.edu/8308786/TRANSFORMADORES\\_DE\\_POT  
ENCIA](http://www.academia.edu/8308786/TRANSFORMADORES_DE_POTENCIA)

- [http://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-06-29\\_08-51-47106045.pdf](http://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-06-29_08-51-47106045.pdf)

## 8 Anexos

**Anexo A.** Primeramente antes de iniciar con el mantenimiento se realiza el aterrizaje del campo del generador el cual debe de ser realizado por una persona del departamento de eléctricos como se muestra en la siguiente figura.



**Fig. A.1.** Puesta a tierra al campo del generador

**Anexo B.** Una parte importante del mantenimiento menor al generador, es el retiro de las tapas antiderrapantes, para permitir el desarrollo del mantenimiento sin complicaciones.



**Fig. A.1.** *Retiro de tapas antiderrapantes*

**Anexo C.** una de las actividades más complicadas en esfuerzo físico durante el mantenimiento menor, es la desconexión de las trenzas de lado fase-neutro del generador ya que estas están muy bien torqueadas y el espacio donde se realiza la actividad es muy reducido el cual complica aún más las cosas.



**Fig. C.1.** *Trenzas retiradas fase*



**Fig. C.2.** *Trenzas retiradas neutro*

**Anexo D.** Se seleccionan los polos que se retiraran y con la ayuda de la grúa viajera y el personal del departamento de eléctricos se retiran 8 polos del generador.



**Fig. D.1.** *Polos desmontados*

**Anexo E.** Antes de retirar los polos del generador, se realiza la desconexión de los devanados de amortiguador, los interpolos y las conexiones eléctricas.



**Fig. E.1.** *Devanado de amortiguador*



**Fig. E.2.** *Interpolos*



**Fig. E.3.** *Conexiones eléctricas*

**Anexo F.** Se realiza mantenimiento a los polos desmontados, se aplica barniz rojo y se lijan las colas de milano por la parte donde van conectados con los devanados de amortiguador.



**Fig. F.1.** *Cola de milano*



**Fig. F.2.** *Aplicación de barniz rojo*