

**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ**

INGENIERIA ELÉCTRICA

REPORTE TECNICO DE RESIDENCIA PROFESIONAL

NOMBRE DEL PROYECTO:

**“MANTENIMIENTO MENOR A LA UNIDAD GENERADORA #3 DE LA
CENTRAL HIDROELECTRICA MALPASO”**

EMPRESA DONDE SE REALIZÓ EL PROYECTO:

COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD (CFE)

PRESENTA:

MARIO HORACIO MAYORGA ESPINOSA

ASESOR INTERNO:

MC. ING. KARLOS VELAZQUEZ MORENO

ASESOR EXTERNO:

ING. JESÚS ALONSO OCAÑA ROQUE

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS.

JUNIO DEL 2018

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a **Dios** por permitirme disfrutar de esta hermosa vida, por guiarme en cada uno de mis pasos y salir adelante, por dejarme estar acompañado de mi maravillosa familia y conocer a muy buenas personas que llamo amigos.

DEDICATORIA

Al señor **Horacio Francisco Mayorga Morales** y a la señora **Maricela Espinosa Pimentel** a ustedes muchas gracias, los amo papás.

Sabiendo que no existirá una forma de cómo pagarles una vida de lucha, sacrificios y esfuerzos constantes, solo quiero que sepan que un logro mío es un logro de ustedes, que mis esfuerzos son inspirados en ti Papá y Mamá. Porque gracias a su apoyo y consejo he llegado a realizar una mis metas en la vida la cual es terminar una carrera universitaria, la herencia más valiosa que pudiera recibir.

A mi abuelita mi mamá calita la señora **Clara Luz Pimentel Espinosa** a quien agradezco cada una de sus enseñanzas, su amor y paciencia.

A mi abuelito mi papá **Mario Mayorga Flores** a quien agradezco sus pláticas, cariño y su entusiasmo.

A mis hermanitas **Sucel Maydi Mayorga Espinosa** y **Maricela Naomi Mayorga Espinosa** por su apoyo, su amor y porque me motivan a salir adelante tal como deseo que ustedes los hagan.

Las amo hermanitas

A mi sobrinito **Luis Fernando Molina Mayorga** que me motiva para dar y querer lo mejor para nuestro futuro.

Que alegría es poder gozar de su compañía.

A mi ángel que me cuida desde el cielo

Mi abuelita mi Mamá **Rebeca Morales Herrera** que se extraña mucha su presencia pero sabemos que está a lado de Dios cuidándonos.

Los amo familia.

A mis asesores **M. en C. Ing. Karlos Velázquez Moreno**, al **Ing. Jesús Alonso Ocaña Roque**, al **Ing. Fausto Ortiz Flores** y al **Ing. Gildardo López Urías** por compartir sus conocimientos conmigo, por la orientación y ayuda que me brindaron para la realización de este Proyecto, por su apoyo y amistad gracias.

“TODO LO PUEDO EN CRISTO QUE ME FORTALECE”

Filipenses 4:13

ÍNDICE

Capítulo 1 Generalidades

1. Introducción.....	6
1.1 Antecedentes.....	6
1.2 Estado del arte.....	7
1.3 Justificación.....	8
1.4 Objetivo.....	8
1.5 Metodología.....	8

Capítulo 2 Fundamento teórico

2.1 Central hidroeléctrica.....	12
2.2 Conceptos de electromagnetismo.....	18
2.3 Generador síncrono.....	20
2.4 Aislamiento.....	31
2.5 Equipo de pruebas.....	35
2.6 Especificaciones de generador síncrono.....	48
2.7 Programa de mantenimiento eléctrico menor.....	49

Capítulo 3 Desarrollo

3.1 Pruebas y Mantenimiento eléctrico al Estator de la unidad N° 3.....	51
3.2 Pruebas y Mantenimiento eléctrico al Rotor de la unidad N° 3.....	80
3.3 Pruebas a transformador de potencia T-3.....	161

Resultados.....	163
-----------------	-----

Conclusión.....	165
-----------------	-----

Anexos.....	166
-------------	-----

Referencias.....	185
------------------	-----

Capítulo 1

Generalidades

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

México, en materia de hidroelectricidad, parte de dos rubros. Primero, cuando las empresas eléctricas privadas tenían (en 1889, aproximadamente) la premura de suministrar la energía eléctrica a las principales ciudades, y siendo la clase minera los pioneros en Batopilas, Chihuahua, en dicho suministro, iniciaron el aprovechamiento de las aguas del río del mismo nombre, para comenzar a generar energía eléctrica. Evidentemente, al ser la primera forma de generación de energía eléctrica, se puede vislumbrar que se iban a experimentar mejoras y adecuaciones conforme pasara el tiempo. Así se inició el proceso de generación de energía eléctrica mediante hidroeléctricas en los años treinta del pasado siglo XX; evidentemente, el horizonte de ese periodo en materia de la industria eléctrica en México era monopólico y las empresas que lo manejaban (con un 90% de la electricidad del país) eran la Mexican Light and Power Company, Ltd. y la American and Foreign Power Company, que además controlaban el abastecimiento de este recurso; pero con la hidroelectricidad todo se modificó, es decir, empezó a cambiar el manejo del progreso mexicano mediante el sector eléctrico, ya que dicho monopolio, vislumbraba evidentemente un nuevo horizonte comercial con base en nuevas tecnologías para generar electricidad, pero la demanda era mucho menor a la capacidad instalada, sobre todo en los inicios del siglo XX, gracias a eventos históricos como la Revolución Mexicana y el periodo del establecimiento de la constitución de México, donde el índice de mortandad se incrementó, pero la energía sobrante podía venderse en otros mercados; como ya se mencionó en el punto anterior de este artículo, se experimentó la facilidad de vender el recurso eléctrico a consumidores comerciales, industriales y particulares, o a las autoridades, para promocionar servicios públicos como tranvías, alumbrado público, bombeo de agua potable, etcétera. No había inversión y mucho menos control del gobierno mexicano en el sector eléctrico.

Al año 1937, cuando se crea la Comisión Federal de Electricidad, y se inicia una verdadera transformación en el sector eléctrico nacional; las centrales hidroeléctricas buscan aprovechar el enriquecimiento hidrológico con el que cuenta México.

La construcción de las nuevas centrales hidroeléctricas iba a aprovechar importantes avances científicos y tecnológicos, la información acumulada y el perfeccionamiento de la exploración geológica, para conocer la estructura del suelo y subsuelo; nuevos diseños más resistentes, que reducirían enormemente el costo de las cortinas y permitirían que éstas fueran más altas; la aparición de un nuevo tipo de éstas con cara de concreto, y la utilización de maquinaria más manipulable y eficiente. Todos estos avances dieron lugar a los que algunos llaman “la gran hidráulica” o la “ingeniería de las grandes presas”.

La presa hidroeléctrica “Malpaso”, ubicada en el noroeste de Chiapas, a 40 kilómetros del punto donde limitan los estados de Veracruz, Oaxaca y Chiapas, es la primera y más importante hidroeléctrica construida para el desarrollo del sureste en México sobre el río Grijalva. En esa región se tiene la mayor concentración de agua del país México. El erario público se hizo cargo de la construcción (entre 1958 y 1966), que inició su operación en el año de 1969 las unidades 1, 2, 3, 4 conocidas como primera etapa y en el año de 1978 las unidades 5 y 6 iniciaron su operación comercial también conocidas como segunda etapa, cada una de las unidades son de 180 MW y todo el sistema aporta a la red eléctrica 1080 MW.

Una de las centrales hidroeléctricas más importantes en México es la central hidroeléctrica Netzahualcóyotl (Malpaso) que pertenecía a la subgerencia regional de generación hidroeléctrica Grijalva y ahora pertenece a la zona noroeste bajo el régimen de una reestructuración, que ahora lleva por nombre empresa productiva subsidiaria I (EPS I) desde el año 2016.

1.2 Estado del arte

La unidad numero 3 inicio su operación comercial en el año de 1969, llevando hasta el 30 de Septiembre de 1996 un total de 133,139 horas de operación 3,392 arranques y 15, 506,567 MWH generados. Del año 1997 a Abril del año 2018 tiene 429, 240 horas de operación. Este dato fue proporcionado por el departamento eléctrico [1].

En el año 2008 la unidad numero 3 tuvo una falla en los devanados del estator lo cual la tendencia o el historial de los mantenimientos anteriores a esta fecha ya no se toma en cuenta por motivo que se le reemplazo el bobinado de los devanados del estator y se consideró como la unidad como si fuera nueva la parte eléctrica del estator [2].

En el año 2009 se consideró hacerle pruebas por parte del Laboratorio de Pruebas Equipos y Materiales (LAPEM) por motivo de seguimiento de la falla anterior y verificar que las condiciones operacionales de la unidad estuvieran dentro de sus parámetros [3].

En el año 2012 se efectuó un mantenimiento menor en el desarrollo de este trabajo se comprende y analiza la metodología de cálculo de los coeficientes de confiabilidad, disponibilidad y productividad de las unidades generadoras con el objetivo de vencer las dificultades en la interpretación de los datos del rendimiento de la unidad generadora [4].

En el año 2015 la unidad volvió a entrar a un mantenimiento menor la unidad #3 el cual se realiza cada 3 años y con ello preservar las unidades generadoras para encontrarse en su nivel óptimo de disponibilidad y servicio [5].

1.3 Justificación

Este proyecto muy importante ya que con él se preverán las fallas eléctricas a un generador síncrono, gracias al mantenimiento menor eléctrico y cumplir con los tres parámetros de condiciones operacionales (continuidad en el servicio, un bajo costo y la calidad en el servicio) para tener la disponibilidad de la unidad en el momento que lo requiera el sistema eléctrico nacional.

1.4 Objetivo

Llevar acabo el mantenimiento menor a la unidad generadora #3 de la central hidroeléctrica Malpaso, para así preservar y mantener las condiciones de disponibilidad, confiabilidad y operatividad. Efectuándose el mantenimiento menor en la totalidad de sus partes, de acuerdo al programa establecido de mantenimientos menores de la unidad.

1.5 Metodología

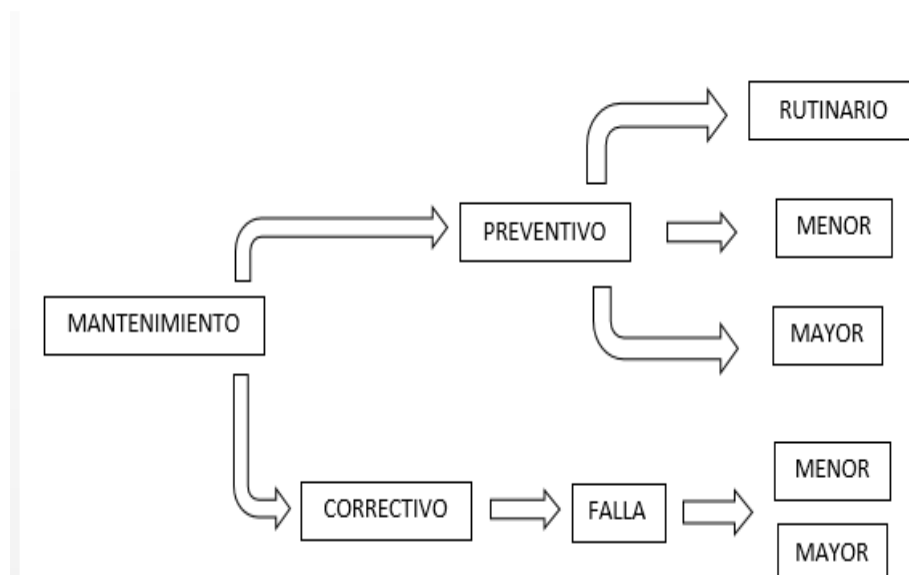


Figura 1.1 Clasificación de Mantenimiento.

Mantenimiento:

Consiste en conservar las condiciones operativas de diseño de un equipo, siendo estas acciones, realizadas por personal técnico especializado.

Mantenimiento preventivo:

- Mantenimiento rutinario:

Durante el cual se realizan actividades menores, con duración de algunas horas, se puede llevar a cabo con el equipo energizado o con el equipo fuera de línea.

Se ejecuta en periodos normales de jornadas de trabajo sin sacar la unidad más de 8 horas dejando disponible la unidad antes de la hora pico, hora de mayor demanda en el sistema cuando Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) requiera la disponibilidad de las maquinas cuando sean necesarias.

- **Mantenimiento menor:**

Mantenimiento de mayor duración que el rutinario, dentro del cual se realizan cambios de piezas menores, su duración puede ser de días y se realiza con el equipo fuera de línea.

Consiste en realizarle trabajos a una unidad (turbina-generador) de acuerdo a sus parámetros de operación y sintomatología, para devolver a la unidad sus condiciones normales de operación, por la cual no se requiere desmontar la unidad.

- Mantenimiento mayor:

Mantenimiento que se realiza en un tiempo de mayor duración de los anteriores y se caracteriza por que al equipo se le rehabilitan o cambian partes o piezas mayores.

La disponibilidad de la unidad a la cual se le realice un mantenimiento menor queda afectada al 100%. Su programación se hace basándose en las recomendaciones y especificaciones de los fabricantes o ya sus horas de operación, implicando desmontaje de piezas principales.

- Overhaul:

Reacondicionamiento, mantenimiento que se realiza mediante un desensamble total del equipo y se cambian o rehabilitan partes mayores.

- Mantenimiento correctivo:

Es el mantenimiento realizado cuando el equipo ha dejado de operar por alguna falla, la ocurrencia de fallas afecta las características de continuidad, calidad y economía del sistema eléctrico nacional.

- Mantenimiento predictivo:

Se realiza a equipos funcionando, midiéndoles parámetros operativos, por medio de equipos de supervisión o monitoreo en línea, con los cuales se obtienen hallazgos de operación anormales, que se corrigen oportunamente, evitando fallas.

Capítulo 2

Fundamento

teórico

2.1 Central hidroeléctrica

Una central hidroeléctrica es la que consigue aprovechar la energía contenida en una masa de agua situada a una cierta altura, transformándola en energía eléctrica.

Esto se logra por la caída del agua desde un nivel superior hasta un nivel inferior, pasando por una tubería de presión hasta el caracol. Después que el agua golpea la turbina hidráulica que es accionada por una gran presión y que la hace mover a una gran velocidad, a su vez hace la conversión de energía mecánica a energía eléctrica por un generador eléctrico.

Las centrales hidroeléctricas aportan un porcentaje favorable en la producción de la energía eléctrica, sin embargo juegan un papel fundamental ya que por su flexibilidad de operación que un término de 5 minutos puede suministrar potencia eléctrica a la red y también puede adaptarse a las variaciones que este tenga. Por lo tanto, las centrales hidroeléctricas son claves para la estabilidad y garantía del sistema eléctrico de potencia (S.E.P).

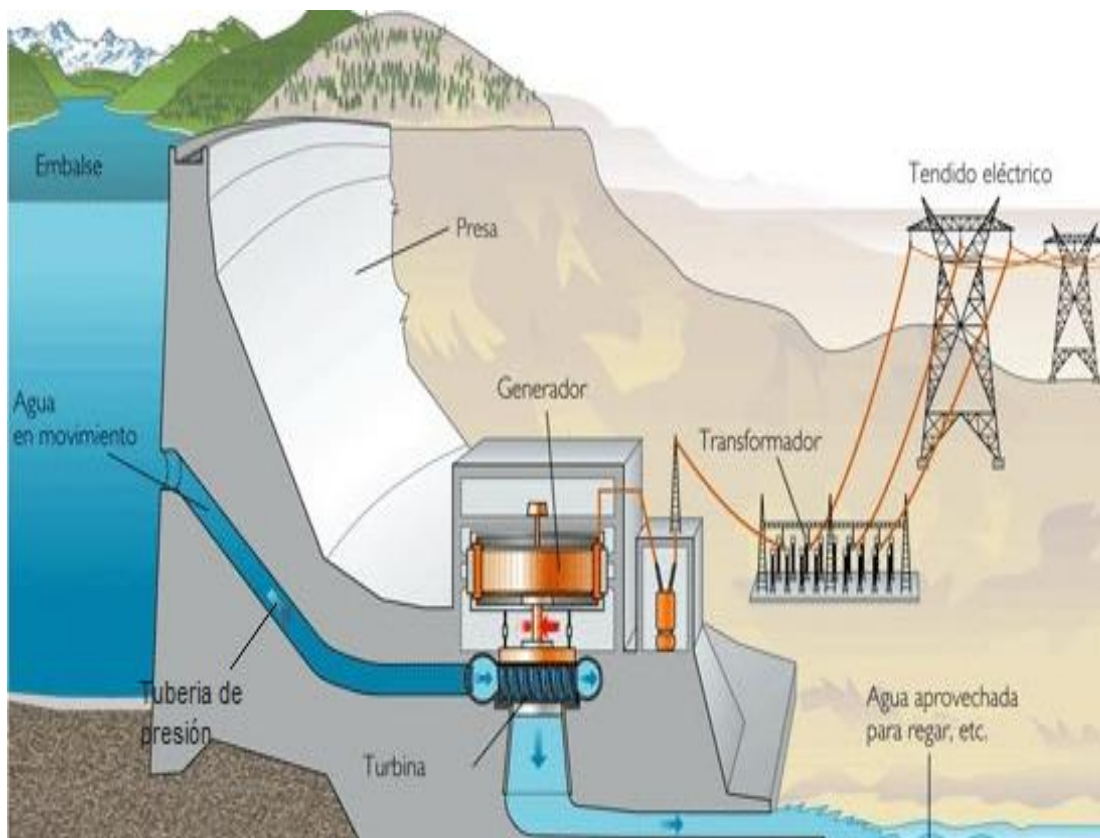


Figura 2.1 Esquema general de una central hidroeléctrica.

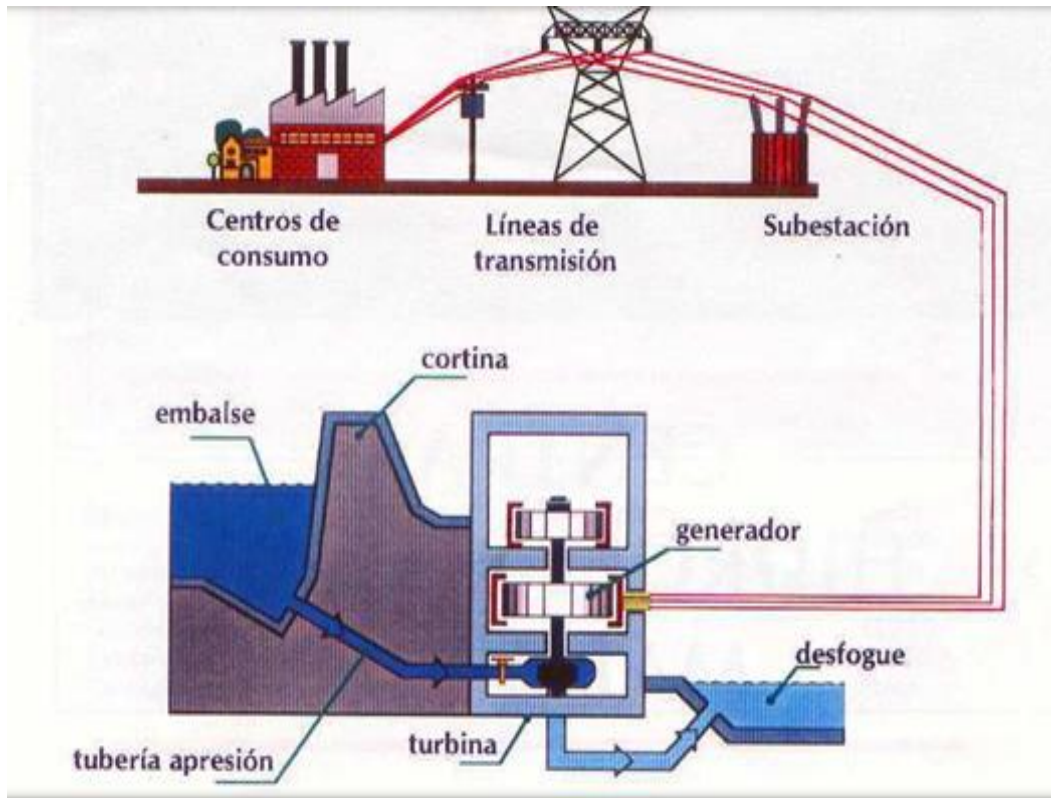


Figura 2.2 Esquema general de una central hidroeléctrica

Componentes principales.

- Unidad de generación.

La unidad de generación se conforma de una tubería de presión que transporta el agua hacia la turbina, en la cual se produce la primera transformación de la energía potencial del agua en energía mecánica. El elemento básico de la turbina es el rotor, que cuenta con palas, hélices o cuchillas, colocadas alrededor de su circunferencia, de tal forma que el fluido en movimiento provoca una fuerza tangencial que impulsa la rueda y la hace girar.

La energía mecánica se transfiere a través de un eje para proporcionar el movimiento del rotor del generador que gira dentro de un estator fijo. El eje de la turbina en su parte superior, tiene instalado el rotor que gira en el interior del estator fijo, girando el rotor con los electroimanes se inducen corrientes en los circuitos del estator y con ello se efectúa una segunda transformación, de energía mecánica a energía eléctrica.

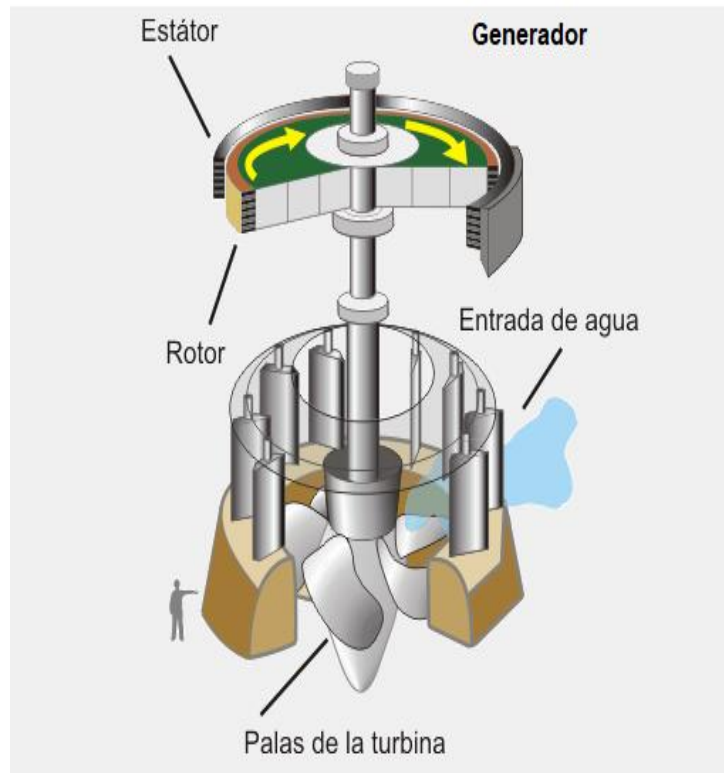


Figura 2.3 Diagrama del generador síncrono de eje vertical

- Unidad de transformación.

El transformador es un dispositivo eléctrico estático que transfiere energía de un circuito a otro, del cual está aislado eléctricamente, pero unido magnéticamente por un núcleo de acero laminado. Esta transferencia se hace sin cambio de frecuencia y la mayoría de las veces con cambio de voltaje y de corriente.

El circuito que recibe la energía del exterior o de la red se llama primario y el que la entrega una vez ya transformada por efecto de inducción magnética se llama secundario. El primario o el secundario pueden ser indistintamente el lado de alta tensión o el lado de bajo tensión.

La bobina primaria recibe un voltaje alterno que hará circular, por ella, una corriente alterna. Esta corriente inducirá un flujo magnético en el núcleo de hierro. Como el bobinado secundario está arrollado sobre el mismo núcleo de hierro, el flujo magnético circulará a través de las espiras de éste. Al haber un flujo magnético que atraviesa las espiras del "Secundario", se generará por el alambre del secundario un voltaje (ley de Faraday). En este bobinado secundario habría una corriente si hay una carga conectada (por ejemplo a una resistencia, una bombilla, un motor, etc.)

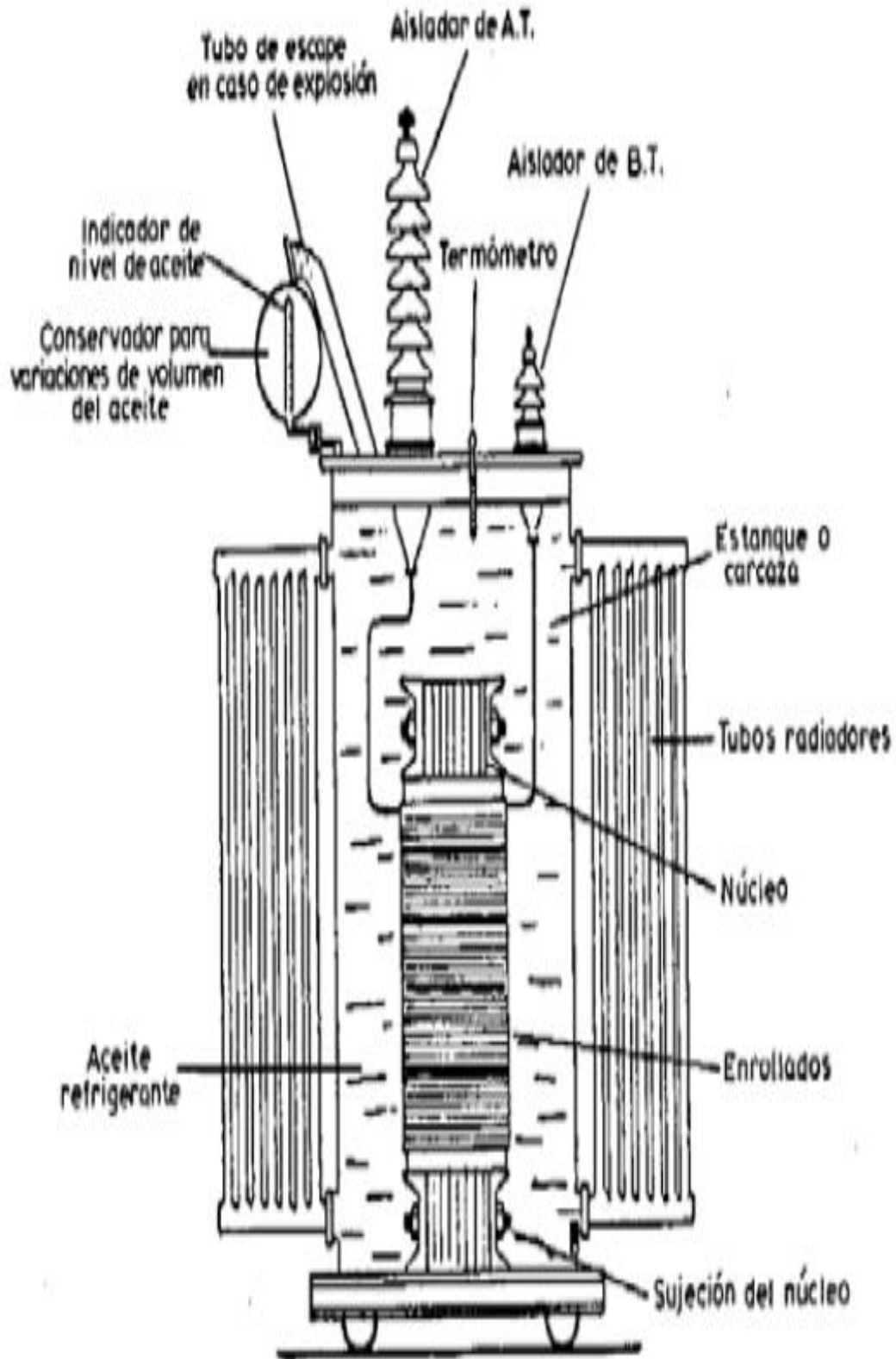


Figura 2.4 Transformador Elevador de 15 KV a 400 KV

- Turbinas hidráulicas

Las plantas de energía hidroeléctrica se clasifican, según su forma de Funcionamiento, en centrales de pasada, centrales con embalses y centrales de bombeo. En todos los casos, la energía del agua al correr y al caer pone en funcionamiento las turbinas. Los generadores acoplados a las turbinas producen electricidad. Para ello se utilizan tres tipos de turbinas: Kaplan, Francis y Pelton.

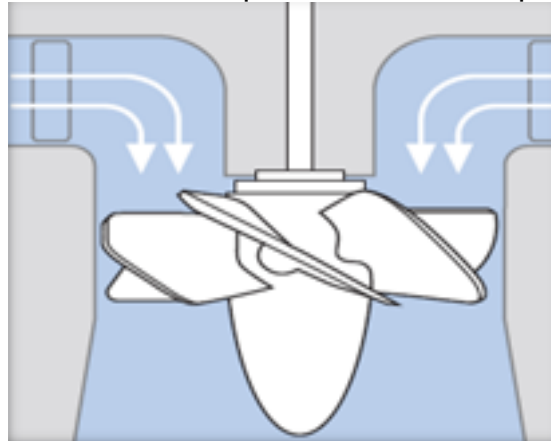


Figura 2.5 La turbina Kaplan

Sus paletas parece la hélice propulsora de un barco. Es posible ajustar tanto las paletas del rodete como las del distribuidor (mecanismo de cierre). De este modo es posible reaccionar en forma óptima frente a las variaciones en el ingreso de agua. Es ideal para centrales con mucho caudal y una caída baja (hasta unos 50 mts).

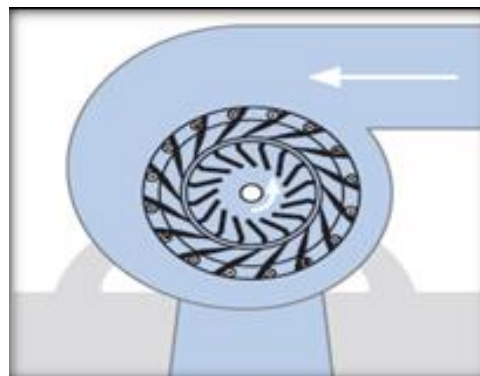


Figura 2.6 La turbina Francis

Se la utiliza en distancias de caída de 20 a 700 mts. (Saltos medianos) con cantidades de agua cuya amplitud de variación no es muy grande. Por medio de los alabes y del distribuidor, el agua es desviada hacia los alabes del rodete, fijas y curvadas en sentido contrario.



Figura 2.7 La turbina Pelton

Son adecuadas en caídas de 140 a 1.500mts. (Saltos grandes) y caudales pequeños. Sólo se utiliza la energía del agua en movimiento. Desde los inyectores, el agua golpea con mucha presión las paletas del rodete cuya forma se parece a la de un colector. Se utiliza, sobre todo en centrales con embalses.

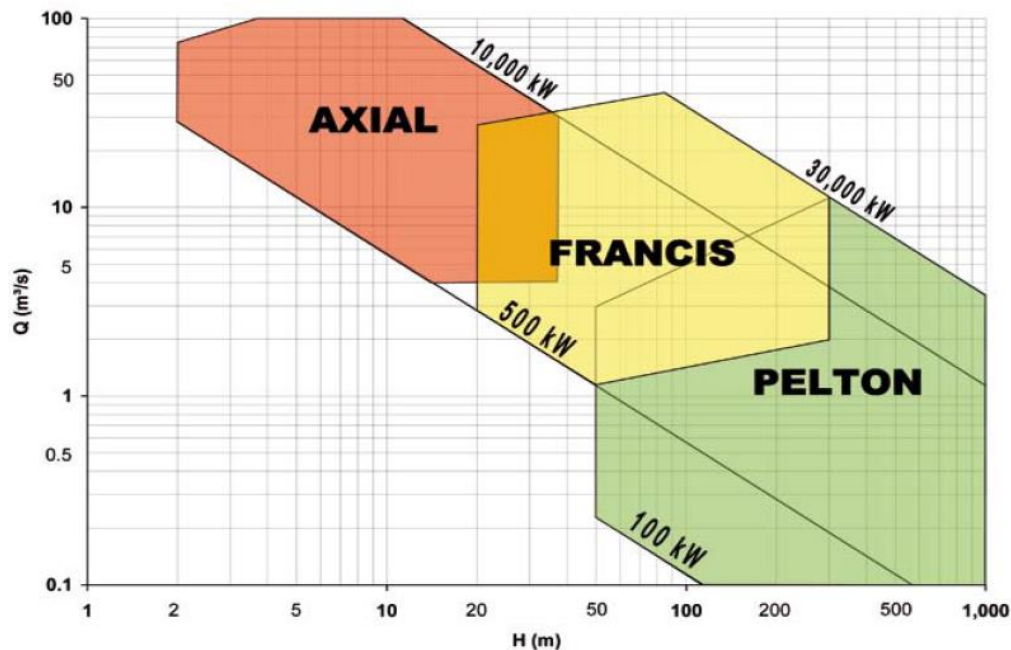


Figura 2.8 Tabla de potencia de turbinas hidráulicas

2.2 Conceptos de electromagnetismo

- Generalidades.

En un motor, la energía eléctrica (corriente) crea un campo de fuerza (campo magnético) bajo el cual otro elemento e corriente produce una fuerza que bajo ciertas condiciones genera movimiento (energía mecánica). En un generador, la variación en el tiempo de la geometría de un circuito magnético (energía mecánica) produce una variación en el tiempo del flujo magnético que induce voltajes en los circuitos eléctricos que lo enlazan (energía eléctrica). Siendo fundamental en ambos casos la presencia del campo magnético.

- Campo magnético

Ciertos materiales (magnetita) tienen la propiedad de atraer trozos de fierro y constituyen los denominados imanes permanentes naturales. Se dice entonces, que existe un “campo de fuerzas” o “campo magnético” en el entorno del imán permanente, cuya variable fundamental que lo describe es la inducción magnética o densidad de flujo magnético.

La variable vectorial define las líneas de fuerza o líneas de campo magnético, este tiene dirección tangente a ellas y su magnitud es mayor mientras mayor es la cantidad de líneas por unidad de área. En la figura se ilustra el campo magnético en el caso del imán permanente y se observa que la densidad de flujo magnético es mayor en el interior del imán, donde es mayor la densidad de líneas de campo magnético.

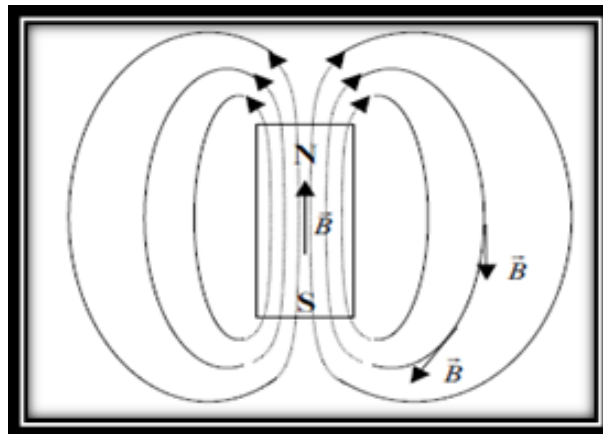


Figura 2.9 Campo magnético de imán permanente.

El campo también puede ser creado por una corriente eléctrica, en la figura (a) se indica la forma de una de las líneas del campo magnético creado por una corriente “i” que circula de un conductor rectilíneo. En la figura (b) se indica la forma que adopta el campo magnético al disponer el conductor en forma de una bobina. Se

aprecia que en este caso la configuración se asemeja a la de un imán permanente, razón por la cual a la bobina se le suele llamar electroimán.

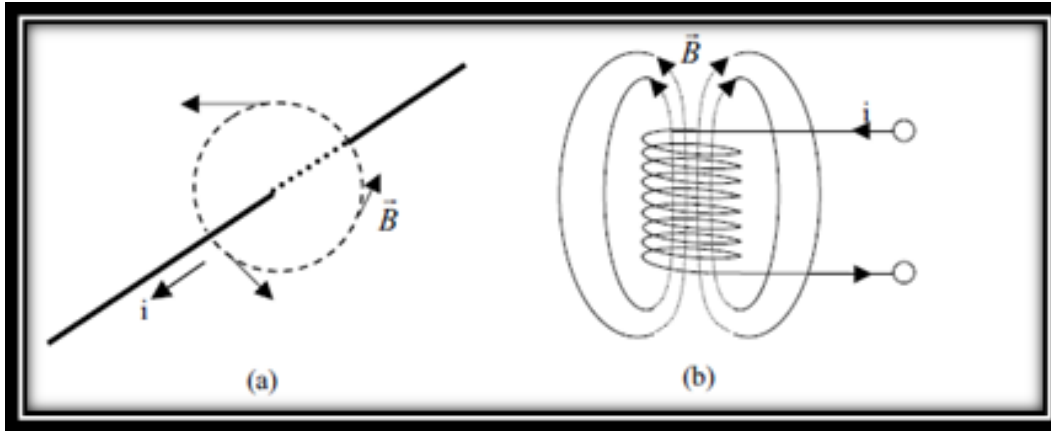


Figura 2.10 Campos magnéticos creados por una corriente eléctrica

- Ley de Faraday.

Es una fuerza electromotriz (F.E.M) es inducida en un medio cuando se cambia el enlazamiento de flujo asociado con el medio, si el medio es un conductor de electricidad y forma una trayectoria cerrada, una corriente fluye debido a la fuerza electromotriz inducida.

La magnitud de la fuerza electromotriz inducida es proporcional a la rapidez de cambio en el tiempo de los enlazamientos de flujo.

La ley de Lenz nos ayuda a determinar el sentido de la fuerza electromotriz inducida y por lo tanto de la corriente. El sentido de la fuerza electromotriz inducida es tal que ocasiona el flujo y una corriente en una trayectoria cerrada con una dirección tal que la corriente tiende a contrarrestar el cambio de los enlazamientos de flujo.

- Potencial eléctrico.

Carácter conservativo del campo electrostático

Un campo eléctrico produce una fuerza sobre las cargas eléctricas de las proximidades. Cuando las cargas son libres y no experimentan otras fuerzas de ligadura serán arrastradas por la acción del campo. Entonces el campo realiza un desplazamiento físico de las cargas y, por tanto, un trabajo. El potencial eléctrico es la medida de ese trabajo por unidad de carga.

- Ley de Coulomb:

La electricidad es una característica de la materia, y carga es una medida de esta característica. Dos clases de carga son conocidas, positiva y negativa. Cargas del mismo signo se repelen y cargas de signo contrario se atraen.

- Campo Eléctrico:

Cada carga que produce un campo eléctrico que actúa como medio para ejercer su fuerza sobre otras cargas colocadas bajo su influencia. El centro del campo está en el lugar donde se encuentra la carga. Si es asumido esto y la carga de prueba q es suficientemente pequeña para no distorsionar el campo producido por las otras cargas, la intensidad de éste puede ser representada por el vector \vec{E} definido por:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

Ecuación N°1. Campo Eléctrico

CAMPO ELÉCTRICO	CAMPO MAGNETICO
VOLTAJE (V)	FUERZA MAGNETOMOTRIZ (F)
CORRIENTE (I)	FLUJO (ϕ)
RESISTENCIA (R)	RELUCTANCIA (R)
CONDUCTANCIA (G)	PERMANENCIA (P)
CONDUCTIVIDAD (σ)	PERMEABILIDAD (μ)

Tabla 2.1 Analogía entre circuitos eléctricos y magnéticos.

2.3 Generador síncrono

- Concepto de maquina síncrona

Como su nombre lo indica son máquinas capaces de operar solo a la velocidad de sincronismo, esto es, a la velocidad mecánica equivalente a la velocidad de rotación producido por las corrientes del estator Estas máquinas operando como generador son usadas en las centrales para generación de energía eléctrica (hidráulicas, térmicas o nucleares) en un sistema interconectado.

En tales aplicaciones se les denominan generadores síncronos o alternadores y normalmente se operan con otras unidades en las distintas centrales interconectadas entre sí. La máquina síncrona está compuesta básicamente de una parte activa fija que se conoce como inducido, armadura o estator y de una parte giratoria coaxial que se conoce como inductor o rotor.

El espacio comprendido entre el rotor y el estator, es conocido como entrehierro. Esta máquina tiene la particularidad de poder operar ya sea como generador o como motor. Su operación como alternador se realiza cuando se aplica un voltaje DC en el campo de excitación del rotor y a su vez este es movido desplazado por una fuente mecánica externa, que da lugar a tener un campo magnético giratorio que atraviesa o corta los conductores del estator, induciéndose con esto un voltaje entre terminales del generador.

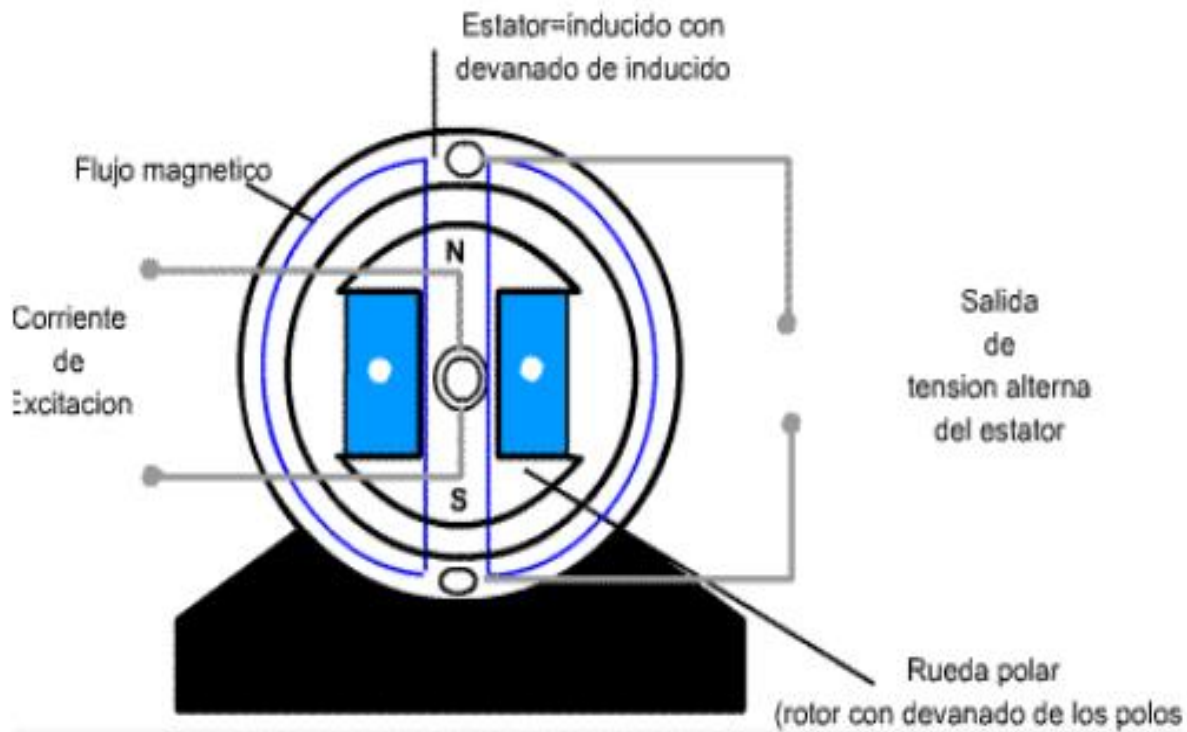


Figura 2.11 Esquema básico de una máquina síncrona

Su operación como motor síncrono se realiza cuando el estator es alimentado con un voltaje trifásico AC y consecutivamente el rotor es alimentado con un voltaje DC. Por lo tanto, el flujo en el entrehierro es la resultante de ambas excitaciones. En aplicaciones industriales los motores síncronos son usados donde se desea velocidad constante. Una característica importante de estos motores se puede operar ya se tomando o entregando potencia reactiva a la red dependiendo el nivel de excitación.

El motor de inducción solo es excitado por las corrientes del estator, ya que las corrientes de rotor son producto de un efecto inductivo, siempre operara con factor de potencia atrasado. Es decir, que con una apropiada excitación, el motor síncrono puede no requerir potencia reactiva de la red para su operación y trabajar con factor de potencia unitario. Aumento o disminución de la corriente de campo involucrara en un aporte o consumo de potencia reactiva a la red eléctrica con lo que se puede regular la tensión con factor de potencia bajo.

- El generador síncrono.

Los generadores síncronos o alternadores son máquinas sincrónicas que se usan para convertir potencia mecánica en potencia eléctrica de corriente alterna. Normalmente son trifásicos y consiste en un electroimán girando (rotor), al lado bobinas, generalmente conectadas en estrella por efecto de la rotación del rotor va a inducir tensión trifásica en el estator.

La corriente inducida se produce en este caso en los devanados con núcleo de hierro, que están en reposo y se encuentran distribuidos en la parte interior del estator, dispuestos de forma que quedan desplazados 120 grados. Durante una vuelta del rotor, los polos norte y sur pasan frente a los tres devanados del estator, por ello se habla de campo magnético giratorio (CMG).

Durante este proceso, en cada uno de los devanados se genera una tensión alterna monofásica. Las tres tensiones alternas monofásicas tienen el mismo ciclo en el tiempo pero desplazadas entre sí en la tercera parte de una vuelta (120 grados), por lo que se dice tienen la misma fase de oscilación.

Por coincidir siempre el desplazamiento del campo magnético giratorio con el desplazamiento del rotor (rueda polar) es por lo que se denominan generadores síncronos.

- Aspectos constructivos de las máquinas sincrónicas

Las máquinas síncronas, al igual que los demás tipos de máquinas eléctricas, están constituidas por dos devanados independientes.

- A) Un devanado de campo, construido en forma de arrollamiento concentrado o bien distribuido en ranuras, alimentado por corriente continua, y es el devanado que produce el campo magnético principal en la máquina.
- B) Un devanado de armadura, distribuido formando un arrollamiento trifásico recorrido por corriente alterna, donde se induce el voltaje principal. En las máquinas síncronas los devanados de campo están sobre el rotor, mientras que los de armadura se sitúan en el estator.

- Estator

Está formado por laminaciones delgadas de acero al silicio, sumamente permeable fin de reducir las pérdidas en el núcleo. Las laminaciones se mantienen juntas por medio de bastidor del estator. El bastidor, que puede ser de hierro fundido o acero al carbono, también puede fabricarse con placas soldadas de acero suave, no se diseña para conducir flujo, sino para dar apoyo mecánico a generador síncrono.

El interior del estator tiene una variedad de ranuras cuyo objetivo es alojar los gruesos conductores de la armadura (devanados). Los conductores de la armadura se encuentran simétricamente dispuestos para formar un devanado polifásico

equilibrado. Para ello el número de ranuras por polo y por fase debe ser un número entero. La fuerza electromotriz (FEM) por fase en generadores síncronos de gran tamaño es del orden de KV con capacidad de generación que se mide en MVA.



Figura 2.12 Estator, armadura o inducido de un generador o alternador síncrono

En principio el devanado del estator se puede conectar en delta (Δ) o estrella (Y). Sin embargo, como comúnmente el generador se conecta en una línea de transmisión de alto voltaje, la mejor conexión es la estrella (Y). Con una conexión en (Y), los armónicos de la línea a neutro distorsionantes no aparecen entre las líneas porque se cancelan.

- Rotor o inducido

Los electroimanes o polos generadores del campo magnético se encuentran en la parte giratoria (rotor) del generador eléctrico. Los polos se realizan sobresaliendo de la superficie de rotor para máquina de más de cuatro polos (polos salientes), u otras de superficie para máquinas de 2 a 4 polos (polos lisos).

Estos polos dispondrán de una corriente continua de excitación suministrada desde el exterior, mediante anillos rasantes y escobillas o mediante una fuente especial instalada sobre el mismo eje del generador (excitatriz).

El rotor de un generador síncrono es un gran electroimán, que está sujeto a campos magnéticos variables, se construye con láminas delgadas agrupadas para reducir las pérdidas por corrientes parásitas, desde el punto de vista constructivo se distinguen dos formas de rotor, ya sean de rotor cilíndrico o de polos lisos y rotor de polos salientes.

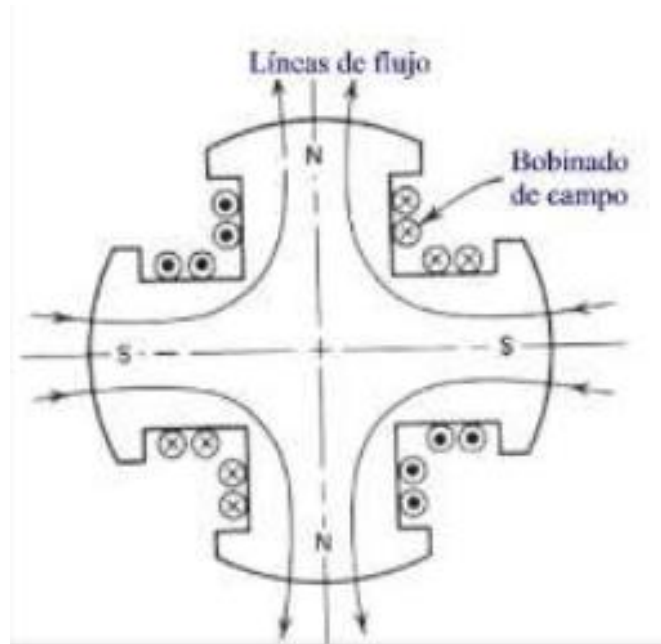


Figura 2.13 Rotor de polos salientes.

- Velocidad de rotación de un generador síncrono

Los generadores son por definición síncronos, lo cual significa que la frecuencia eléctrica producida está entrelazada o sincronizada con la tasa mecánica de rotación del generador.

La relación entre la tasa de giro de los campos magnéticos de la máquina y la frecuencia eléctrica del estator se expresa mediante la ecuación.

$$f = \frac{n \cdot p}{120}$$

Ecuación N°2. Esta fórmula sirve para calcular diferentes valores dependiendo de cómo se despeje.

- Donde “f” es la frecuencia eléctrica en Hz.
- n es la velocidad del campo magnético en “rpm”.
- P es el número de polos.

Puesto que el rotor gira con la misma velocidad que el campo magnético, esta ecuación relaciona la velocidad de rotación con la frecuencia eléctrica resultante.

Dado que la potencia eléctrica es generada a 60 Hz, el generador debe girar a una velocidad fija que depende del número de polos de la máquina.

NUMERO DE POLOS	R.P.M 60Hz
2	3600
4	1800
6	1200
8	900
10	720
12	600
56	128.57

Tabla 2.2 representativa de número de polos y revoluciones por minuto

El último dato es la velocidad a la que giran los rotores de los generadores de la central hidroeléctrica de Malpaso, cuenta con 56 polos y su velocidad de sincronismo es de 128.57 Hz.

$$f = \frac{n.p}{120}$$

$$f \frac{(120)(60)}{56} = 128.57 \text{ R.P.M}$$

Ecuación N°3. Calculando revoluciones por minuto

- Fuentes de generación trifásicas.

El generador síncrono trifásico o alternador son la máquina que se utiliza en las centrales eléctricas (turboalternador) o bien como sistema autónomo de generación. Es una maquina compuesta por dos partes, una que es fija llamada estator constituido por un paquete de chapas magnéticas conformado por un cilindro con una de ranuras longitudinales, sobre las cuales están colocados conductores conectados entre sí, de tal forma de crear un conjunto de bobinas.

Una parte móvil llamada rotor, ubicada dentro del estator y que consiste en electroimán alimentado por corriente continua. El giro del rotor se produce mediante una maquina impulsora (motor de diésel, turbina de vapor, gas, hidráulica o eólica) que mantiene una velocidad angular constante. La alimentación del electroimán se logra a través de un par de anillos rozantes que permiten la continuidad eléctrica entre una parte fija y otra parte que está en movimiento.

Los alternadores de cierta potencia cuentan con excitatriz, que es a su vez un generador de corriente trifásico (cuyo inductor está montado sobre el estator del alternador y el inducido sobre el rotor), en su salida se encuentra un rectificador trifásico, que alimenta al electroimán, con los que se evitan los anillos rozantes, que ocasionan perdidas en los mismos y desgaste de los carbones.

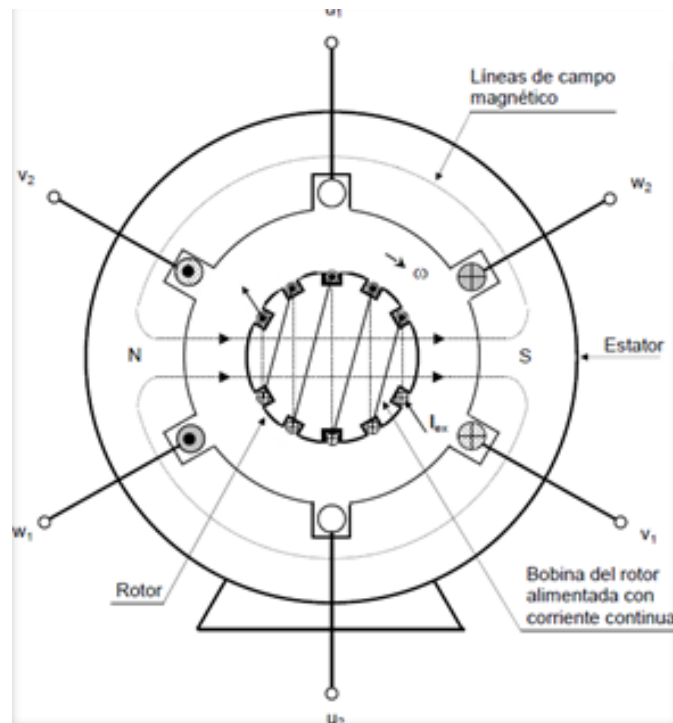


Figura 2.14 Esquema elemental de un generador síncrono trifásico

El esquema presenta solamente 6 ranuras, y sobre cada par de ranuras opuestas se colocan los lados de una bobina, cuyos principios y finales tienen la siguiente denominación:

Bobina 1: u1 – u2

Bobina 2: v1 – v2

Bobina 3: w1 – w2

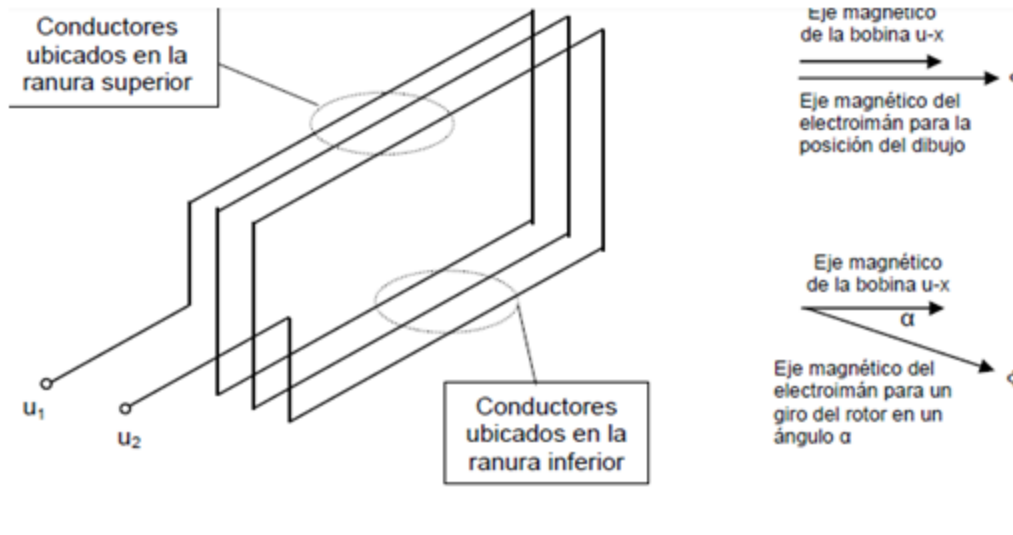


Figura 2.15 Esquema elemental de las bobinas del estator

En la figura se ha esquematizado la bobina 1, donde se puede ver cómo están ubicados los conductores en las ranuras, siendo las otras dos bobinas idénticas, pero con sus ejes magnéticos, formando un ángulo de 120 °, entre sí. Dado que el electroimán produce un flujo magnético [Φ] de valor constante, las bobinas concatenaran un valor de dicho flujo de acuerdo a la posición instantánea del rotor. Si analizamos la bobina u1 – u2 de “N” espiras (La cual en el esquema anterior está representada por una sola por simplicidad del dibujo), y llamamos “α” al ángulo entre el eje magnético del electroimán y el eje magnético de la bobina, el valor del flujo concatenado por la misma para un instante cualquiera está dado por, la proyección del flujo producido por el electroimán sobre el eje magnético de la bobina, o sea:

$$\phi = \Phi \cos \alpha = \Phi \cos \omega t \text{ Siendo } \omega \text{ la velocidad angular del rotor.}$$

De acuerdo a la ley de Faraday-Lenz, entre los terminales de la bobina se inducirá una fuerza electromotriz cuyo valor está dado por:

$$E_{u1-u2} = - N \frac{d\phi}{dt} = N \Phi \omega \sin \omega t$$

Llamando $E_{max.} = N \Phi \omega$ nos queda:

$$E_{u1-u2} = E_{max.} \sin \omega t$$

Si analizamos la bobina v1 – v2, vemos que el fenómeno se repite pero con un atraso de 120°, debido a la disposición geométrica en que las mismas están colocadas, o sea que:

$$E_{v1-v2} = E_{max} \cdot (\text{Sen } \omega t - 2\pi/3)$$

Lo mismo sucede con la bobina w1 – w2:

$$E_{w1-w2} = E_{max} \cdot (\text{Sen } \omega t - 4\pi/3)$$

Ecuación N. 4. Suma de las bobinas estatoricos

De esta manera se ha logrado tener un sistema de tres tensiones alternas desfasadas una de otra, 120° en el tiempo, según puede observarse en la figura.

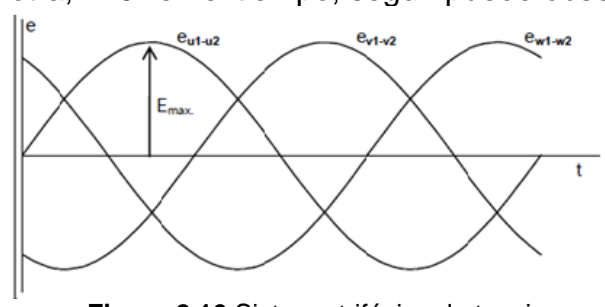


Figura 2.16 Sistema trifásico de tensiones

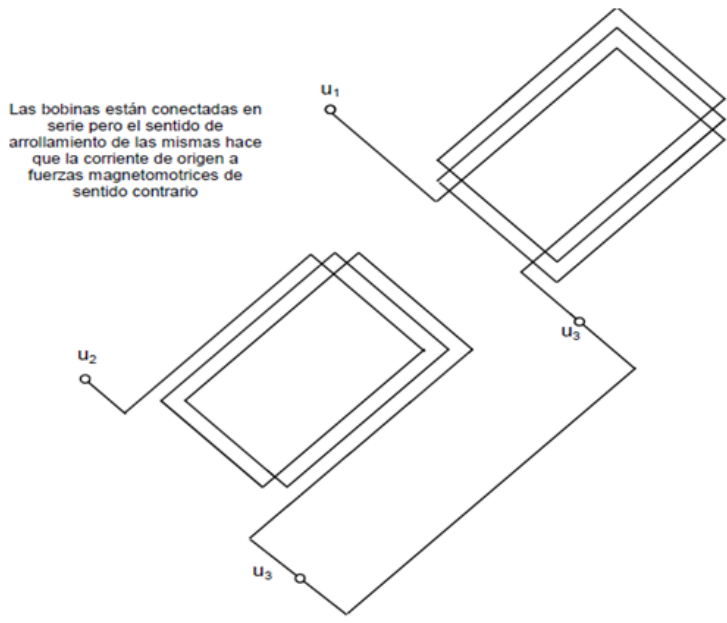


Figura 2.17 Esquema de las bobinas u1 – u3 – u3 – u2 para una fase de la maquina

Las tres bobinas del estator se unen en un punto común ($x = y = z$ o $x_1 = y_1 = z_1$), conformando un tipo de conexión que se denomina “estrella”, según se muestra en el esquema de la figura.

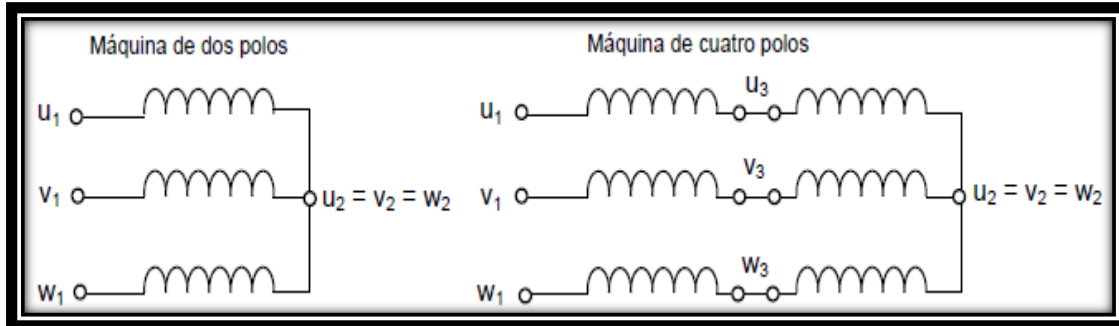


Figura 2.18 Conexión en estrella de los bobinados estatoricos.

Comparando ambas maquinas podemos observar que en la de dos polos, cada lado de bobina ve pasar un polo (Norte o sur) del rotor una vez por cada vuelta, en cambio en la máquina de cuatro polos corresponde dos veces por cada vuelta, lo que nos indica que la frecuencia para la misma velocidad angular es el doble. Por lo tanto para obtener la misma frecuencia, las velocidades del rotor deben ser diferentes, e ir disminuyendo a medida que la cantidad de polos aumenta o sea que la velocidad del rotor para una misma frecuencia. Además la relación entre los grados geométricos de giro del rotor y los grados eléctricos de la fuerza electromotriz es:

$$\text{“Grados eléctricos”} = p \text{ “Grados geométricos”}$$

Las maquinas accionadas por turbinas de vapor gas son de alta velocidad, lo cual hace que las mismas tengan 1 par de polos, con lo cual el rotor presenta la forma de un cilindro ranurado (Rotor liso), como se representó en el primer esquema, por lo que las exigencias de equilibrio dinámico sean mejor satisfechas.

Las maquinas accionadas por turbinas hidráulicas son de baja velocidad, lo cual hace a la necesidad de tener muchos pares de polos y gran diámetro del estator, siendo el rotor construido mediante polos salientes de acuerdo al segundo esquema.

Alimentación del bobinado inductor del rotor

La corriente continua para alimentar el bobinado inductor del rotor se puede obtener desde una fuente exterior a través de anillos rozantes que se encuentran montados sobres su eje, aislados eléctricamente del mismo y conectados a los terminales de la bobina, que permiten el pasaje de la corriente mencionada desde una parte fija exterior, a la parte en movimiento, mediante un sistema de escobillas o carbones que apoyan sobre dichos anillos, tal como puede observarse en la figura.

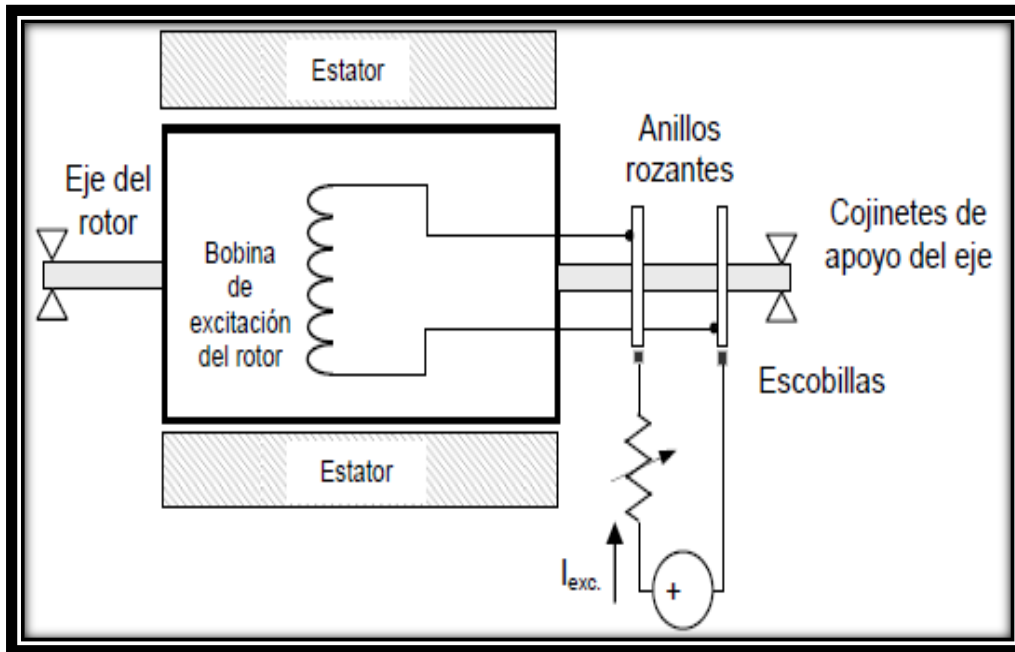


Figura 2.19 Alimentación de la bobina de excitación desde una fuente exterior

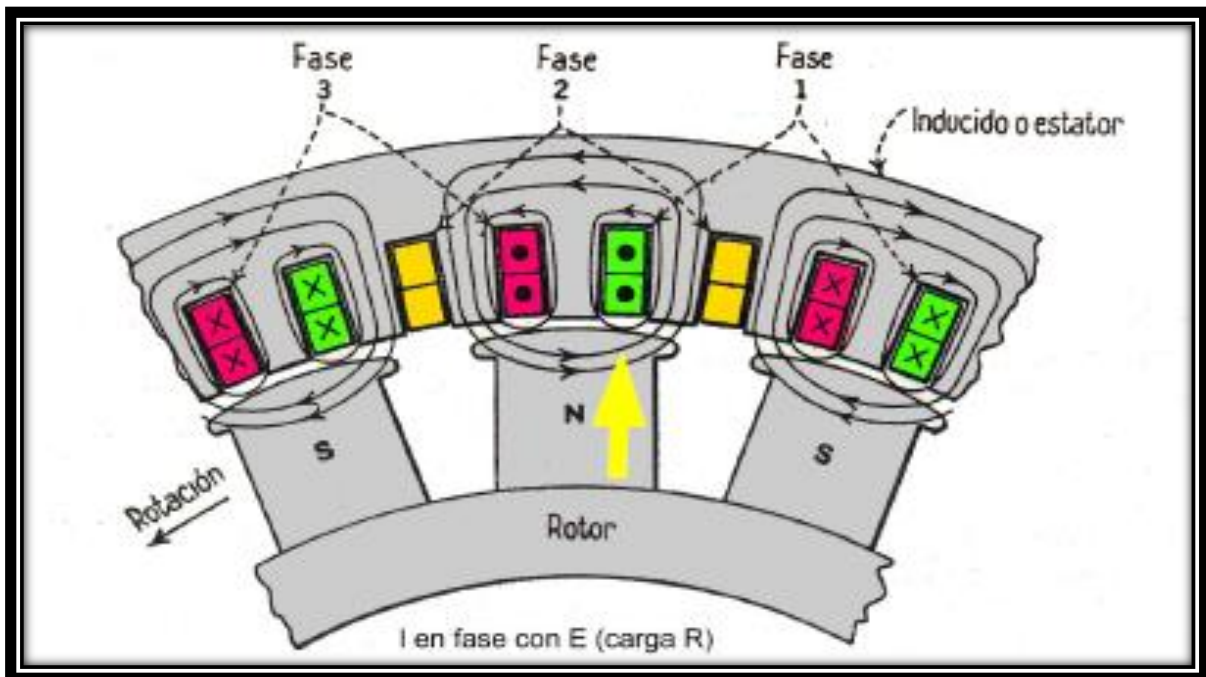


Figura 2.20 Campo Magnético inducido por electroimanes

El flujo producido en un alternador trifásico por las corrientes del inducido únicamente cuando el factor de potencia de una carga es de 100% y el enrollamiento del inducido está conectado en una ranura por fase y polo.

2.4 El Aislamiento en el generador síncrono

El aislamiento es una parte fundamental de la electricidad y por lo cual nos ayuda a mantener aislado un punto de otro por ejemplo una parte energizada para que no se manifieste un corto circuito o falla a tierra se tiene que aislar ya sea con aislamientos de materiales internos o externos y dependiendo de la tensión.

El vacío es el único aislante perfecto y tiene conductancia nula, por el no circulan corrientes de fuga. Los demás materiales aislantes son dieléctricos imperfectos, con conductancia no nula pero tan pequeña que sus corrientes de fuga son despreciables.

Los aislantes se utilizan en las maquinas eléctricas para asegurar el aislamiento eléctrico entre los conductores y entre estos las piezas metálicas. Estos materiales suelen ser la parte más delicada de una maquina eléctrica debido a su sensibilidad a las sollicitaciones térmicas, mecánicas y dieléctricas.

Clasificación de los Aislamientos

El aislamiento es una de las partes principales de un circuito eléctrico ya que el aislamiento eléctrico es la parte más vulnerable de un sistema eléctrico por lo cual hay clasificaciones de los aislamientos internos.

Clase “A” (105 °C) Material Aislante O materiales tales como: Algodón, Papel Impregnado, Seda.

Clase “B” (130 °C) Material Aislante o combinación tal como: Mica, Fibra de Vidrio, Asbesto, y/o otros materiales adecuados para recubrimiento.

Clase “F” (155 C) Materiales o combinación de materiales tales como: mica, fibra de vidrio, Asbesto, materiales orgánicos, o inorgánicos que soportan altas temperaturas.

Clase “H” (180 °C) Materiales o combinación de materiales tales como: silicones, Elastómeros, mica, Fibra de Vidrio, Asbestos, y otros materiales combinados con resina.

Cada material tiene un ciclo de vida como en la naturaleza, pero en el aislamiento interno ese ciclo de vida puede ser que se prolongue o que se acorte eso dependiendo del uso y de las condiciones donde se encuentre.

Un cable o barra conductora puede llegar a 20 años de operación de forma corrida, eso dependiendo del tipo de aislamiento y el cuidado con que se trate. Una operación

matemática con que se pueda demostrar el periodo de vida de un aislamiento sería esta:

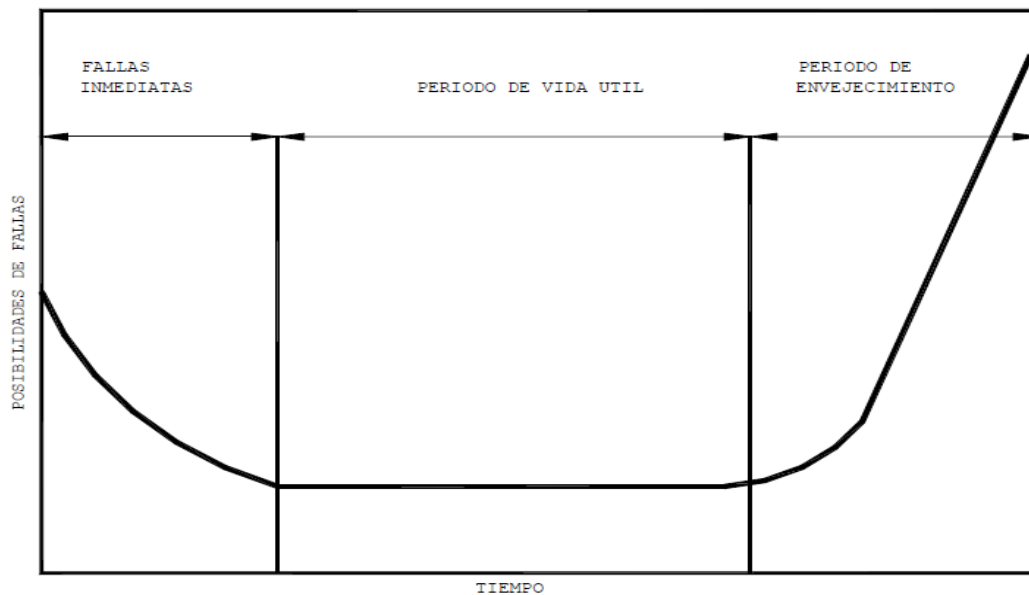
20. años de servicio

365. días del año

24. horas

$$20 \times 365 \times 24 = 175,200 \text{ horas de operación.}$$

Este resultado es equivalente a 20 años de operación.



Grafica 2.1 Curva de vida útil

Tipo de aislamiento y elevación de temperatura

Los aislamientos de los devanados completos, tanto del estator como del rotor, incluyendo puenteo a otras bobinas, anillos de retención, cuñas y demás materiales deben ser clase F o mayores. El aislamiento principal a tierra del devanado del estator, debe ser construido a base de cintas especiales de mica y de fibra de vidrio impregnadas con resina epoxica y/o cintas de micas en resina epoxica por el método de vacío y presión.

El acabado final de las barras (1/2 bobina) debe estar provisto de barnices especiales en la sección de ranura (baja resistencia) y en la sección de cabezal (alta resistencia) con el objeto de evitar las descargas parciales y efectos corona. Independientemente de la tensión de servicio, el sistema de aislamiento utilizado por los fabricantes, debe corresponder como mínimo a la segunda generación de aislamientos, con el objeto de soportar tensiones mayores a 20 kV.

Las elevaciones de temperatura deben estar dentro de los límites establecidos por los sistemas de clase B con el objeto de tener en operación un factor extra de seguridad. Además, con objeto de que la barra se adapte perfectamente en la ranura, inmediatamente antes de montar la barra en la ranura, se debe aplicar una capa de cinta especial semiconductor.

Para el montaje de las barras en las ranuras con objeto de evitar al máximo la vibración y los daños mecánicos que originan el peligro de descargas parciales además de la aplicación de la cinta especial semiconductor, se deben utilizar rellenos semiconductores, resorte semiconductor y cuñas compresibles fabricadas a base de fibra de vidrio y resina epoxica.

Las elevaciones de temperatura, que se deben garantizar para las diferentes partes del generador, no deben exceder a las que se indican en la tabla 3, con el generador operando bajo las condiciones nominales establecidas en la tabla 2 y a la temperatura del agua de enfriamiento de diseño. Los incrementos de temperatura señalados en la tabla 3 se miden sobre una temperatura máxima de 45°C de hidrógeno, a la salida de los enfriadores utilizando los métodos indicados en la misma tabla.

No solo existe aislantes de forma sólida también los hay líquidos pero también están los gases un ejemplo es el aire. Cada material tiene un límite de aislación es llamada en ingeniería como la rigidez dieléctrica lo cual se explicara.

“La rigidez dieléctrica: Es el máximo voltaje aplicado a un material sin que llegue a su ruptura”.

“Rotura dieléctrica: Cualquier material aislante sometido a un campo eléctrico suficientemente intenso y que llegue a su ruptura se hace conductor”.

Constante dieléctrica. También conocido como la permitividad relativa ϵ de un aislante como el coeficiente de la capacidad de un condensador que tuviera como dieléctrico a este material entre la capacidad que tendría el mismo condensador si utilizara el vacío como dieléctrico.

$$C_0 = \epsilon_0 \frac{S}{\tau}$$

Ecuación N. 5 Formula de la constante dieléctrica

El efecto corona: Es la ionización del aire de acuerdo a su valor de Rigidez Dieléctrica. El nivel de voltaje del equipo eléctrico que requiere tratamiento para el efecto corona es a partir de los 6 kV se presenta el efecto corona porque la rigidez dieléctrica del aire es 3 Kv y entonces llega a romperse la barrera de aislamiento y el aire a ese voltaje pasa de ser un conductor.

$$6000/1.73= 3,468.20 \text{ VOLTS}$$

Prueba al Aislamiento

Una prueba cuantitativa. Obtenemos una medición llamada “resistencia de aislamiento”. Esta es función del tipo y condición del material aislante.

El voltaje de prueba es aproximadamente el de operación normal.

Voltaje de prueba (IEEE Std. 43-2000):

- <1000 VCA 500 VDC
- 1000-2500 VCA 500-1000 VDC
- 2501-5000 VCA 1000-2500 VDC
- 5001-12000 VCA 2500-5000 VDC

Material	Constante dieléctrica promedio	Rigidez dieléctrica promedio, MV/m
Aire seco a 1 atm	1.0006	3
Baquelita	7.0	16
Vidrio	7.5	118
Mica	5.0	200
Plástico de nitrocelulosa	9.0	250
Papel parafinado	2.0	51
Caucho	3.0	28
Teflón	2.0	59
Aceite de transformador	4.0	16

Tabla 2.3 Constante dieléctrica y rigidez dieléctrica

2.5 Equipo de Pruebas

En la industria, lo más importante es la continuidad del servicio de energía eléctrica, ya que de eso depende el proceso de producción; por ello, es importante asegurar que los equipos e instalaciones eléctricas estén en óptimas condiciones. Es indispensable que se realicen pruebas y se dé el mantenimiento correspondiente.

Tipos de pruebas

Existen varias pruebas eléctricas que se denominan con relación al lugar o la finalidad de las mismas.

Pruebas prototipo.

Son aquéllas que se realizan a diseños nuevos, con la finalidad de verificar si se cumple con las especificaciones y normas que apliquen, según sea el caso, considerando la evaluación de los materiales utilizados, así como los criterios de diseño.

Pruebas de fábrica.

Éstas se realizan como rutina, por parte del área de control de calidad, conforme a los métodos establecidos en las normas aplicables. Tienen el objetivo de verificar las características del equipo, sus condiciones de operación y la calidad de la fabricación antes de ser entregados al cliente.

Pruebas de aceptación.

Se realizan a todo equipo nuevo y reparado para verificar que no ha sufrido algún desperfecto en el traslado, que cumple con las especificaciones y que se ha realizado la correcta instalación. También se realizan para establecer referencias para pruebas futuras. Estas pruebas se realizan previamente a la puesta en servicio.

Pruebas de mantenimiento.

Se realizan periódicamente durante toda la vida del equipo, con el propósito de verificar si el equipo se encuentra en condiciones de operación satisfactorias y detectar fallas de manera oportuna, antes de que se convierta en un problema. Se realizan cuando existen sospechas de que un equipo se halla en problemas o cuando dicho equipo se ha sometido a condiciones de trabajo extremas.

Pruebas con corriente directa o corriente alterna

Las pruebas se realizan con corriente directa o con corriente alterna, dependiendo de lo que se desea simular o valorar. En términos generales, el principio básico de

las pruebas obedece a la Ley de Ohm. Por ejemplo: la prueba de resistencia de aislamiento. En ella, el instrumento inyecta una tensión eléctrica (volts), el cual mide una corriente de fuga (micro-amperes) y la expresa en resistencia (megaohms):

$$R = V / I$$

Entre los instrumentos de medición que operan con corriente directa, se encuentran: medidor de resistencia de aislamiento (megaohmetro), probador de potencial aplicado (hi-pot) y medidor de resistencia (óhmetro).

Las pruebas con corriente alterna, en términos generales, producen esfuerzos eléctricos similares a las condiciones reales de operación de los equipos, como las pruebas de factor de disipación, pruebas de relación de transformación, reactancia de dispersión, resistencia a tierra y potencial aplicado a frecuencia nominal o a baja frecuencia.

Qué equipo eléctrico probar Prácticamente, todo equipo y sistema eléctrico se puede probar para verificar si cumple con las normas de producto, especificaciones, proyecto eléctrico, así como para valorar el estado funcional y estimar su vida útil.

Pruebas básicas

Si se considera que un sistema debe estar aislado con el fin de que no exista un cortocircuito o fallas a tierra, la prueba básica es la medición de resistencia de aislamiento. Esta prueba es aplicable a cables de media tensión, componentes de subestación compacta (bus, cuchillas, apartarrayos, interruptor), transformadores, componentes de tableros eléctricos (bus e interruptores), cables alimentadores y derivados; arrancadores, motores, etc. En general, en donde queramos comprobar que el aislamiento de los equipos es satisfactorio.

Métodos y procedimientos de prueba

Los métodos y procedimientos de prueba dependen de la prueba en cuestión y del equipo a probar. Por ejemplo, la norma mexicana NMX-J-169 establece los métodos de prueba para transformadores y autotransformadores de distribución y potencia. En algunas normas se establecen también criterios de evaluación.

Existen, además, normas de referencia como la NRF-048-PEMEX, referente al diseño de instalaciones eléctricas; en su anexo D, se indican criterios de evaluación para pruebas en campo.

Por su parte, Comisión Federal de Electricidad cuenta con su Manual de procedimientos de pruebas de campo para equipo primario de subestaciones de distribución, denominado SOM-3531.

Pruebas confiables

El primer elemento a considerar es que las mediciones y pruebas eléctricas se realicen con equipos calibrados por un laboratorio acreditado para tal fin; es decir, acreditado por la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA).

Otra parte importante es el personal capacitado y calificado para realizar dichas pruebas, ya que, al final del día, lo importante no es tener el valor de prueba, sino el diagnóstico para saber qué hacer.

Existe otro elemento de gran importancia, el cual consiste en que las pruebas se realicen en forma sistemática; es decir, que existan procedimientos de seguridad y prueba documentados.

Esto se obtiene con una compañía en donde esté colaborando personal calificado, que tiene la infraestructura (equipos calibrados) y un sistema de calidad certificado. De tal forma, se asegura que existirá un registro (archivo) de las mediciones para consultas futuras.

Medidas de seguridad básicas

La seguridad se obtiene utilizando instrumentos de medición adecuados, procedimientos de trabajo seguros y equipo de protección personal:

- Utilizar guantes aislantes
- No utilizar joyas o relojes de pulsera
- Utilizar gafas de seguridad
- Utilizar zapatos dieléctricos
- Utilizar ropa ignífuga

En cuanto a los instrumentos de medición:

- Verificar que la carcasa no esté rota y que los cables no estén desgastados
- Asegurarse de que las baterías tengan suficiente energía para obtener lecturas confiables
- Verificar la resistencia de los cables de prueba para detectar si no existe ruptura interna

Respecto a los procedimientos de trabajo, sobre todo con circuitos eléctricos con tensión:

- Enganche primero el cable de referencia o tierra, y después conecte el cable con tensión
- Retire primero el cable con tensión y por último el cable de tierra o referencia
- Verifique el funcionamiento del instrumento de medición
- Utilice la regla de usar sólo una mano, con el fin de evitar cerrar el circuito a través del pecho y corazón

Equipo utilizado en las pruebas en la unidad generadora n° # 3



Figura 2.21 Multímetro de verdadero valor eficaz con seguridad intrínseca 87V Ex de Fluke.

Especificaciones generales	
Tensión CC	Tensión máxima: 1000 V Precisión: $\pm(0,5\% + 1)$ Resolución máxima: 10 μ V
Tensión CA	Tensión máxima: 1000 V Precisión: $\pm(0,7\% + 2)$ verdadero valor eficaz Ancho de banda CA: 20 kHz Resolución máxima: 10 μ V
Corriente CC	Corriente máxima: 10 A (20 A, máximo 30 segundos) Precisión en corriente: $\pm(0,2\% + 2)$ Resolución máxima: 0,01 μ A
Corriente CA	Corriente máxima: 10 A (20 A, máximo 30 segundos) Precisión en corriente: $\pm(1,0\% + 2)$ Resolución máxima: Verdadero valor eficaz 0,01 μ A
Resistencia	Resistencia máxima: 50 M Ω Precisión: $\pm(0,2\% + 1)$ Resolución máxima: 0,01 Ω
Capacitancia	Capacidad máxima: 9.999 μ F Precisión: $\pm(1\% + 2)$ Resolución máxima: 0,001 nF
Frecuencia	Frecuencia máxima: 200 kHz Precisión: $\pm(0,005\% + 1)$ Resolución máxima: 0,001 Hz
Ciclo de trabajo	Ciclo de trabajo máximo: 99,90% Precisión: $\pm(0,2\%$ por kHz + 0,1%) Resolución máxima: 0,10%
Temperatura	Rango: de -200 °C a 1090 °C (de -328 °F a 1994 °F) excluida la sonda
Sonda de temperatura 808K	Rango: de -40 °C a 260 °C (de -40 °F a 500 °F) Precisión: 2,2 °C o 2%, la mayor de ambas
Conductancia	Conductancia máxima: 60,00 nS Precisión: $\pm(1,0\% + 10)$ Resolución máxima: 0,001 nS
Diodo	Rango: 3 V Resolución: 1 mV Precisión: $\pm(2\% + 1)$
Rango de ciclo de trabajo	Precisión: dentro de $\pm(0,2\%$ por kHz + 0,1%)

Tabla 2.4 Especificaciones de Multímetro



Figura 2.22 Megger MIT1020/2, Insulation Tester 20TΩ CAT IV 600 V 10kV 5mA

Specifications

✓ Ancho	194mm
✓ Tipo de Comprobador	Comprobador de Resistencia de Aislamiento
✓ Potencia de la Fuente	Batería, Alimentación
✓ Tensión Máxima de Prueba	10kV
✓ Longitud	305mm
✓ Temperatura de Funcionamiento Mínima	-20 °C
✓ Peso	7.1kg
✓ Tensión de Categoría de Seguridad	600V
✓ Temperatura Máxima de Funcionamiento	+50°C
✓ Categoría de Seguridad	CAT IV 600 V
✓ Altura	360mm
✓ Dimensiones	305 x 194 x 360mm
✓ Nivel de Categoría de Seguridad	CAT IV
✓ Medición de Resistencia Máxima de Aislamiento	20TΩ
✓ Duración de Batería	4 h.
✓ Número de Modelo p	MIT1020/2
✓ Tensión Mínima de Prueba	50V
✓ Corriente de Prueba	5mA
✓ Tipo de Display	LCD

Tabla 2.5 Especificaciones de Megger MIT1020/2



Figura 2.23 Doble M5200

- Transformador de barrido de frecuencia de respuesta del analizador
- El M5200 utiliza una técnica llamada análisis de respuesta en frecuencia de barrido, una técnica probada para hacer mediciones precisas y repetibles. En comparación con la técnica de "impulso", esta técnica es el método preferido para hacer mediciones en el dominio de frecuencia. He aquí cómo funciona SFRA: El M5200 envía una señal de excitación en el transformador y mide las señales de retorno. Al comparar esta respuesta a la línea de base y otros resultados (como el de las unidades similares), puede identificar desviaciones y confirme problemas mecánicos internos.
- Encontrar problemas antes de que puede conducir al fracaso, como:
 - Movimiento Core
 - Winding Deformación y Desplazamiento
 - defectuosos Core Tierras
 - Parcial Winding Collapse
 - Hoop pandeo
 - Rotos o flojos sujeción Estructuras
 - Turnos en corto y abierto Bobinados



Figura 2.24 Sistema Resonante EGCTH-50

EQUIPO DE PRUEBA		OBSERVACIONES
Fuente de Alta Tensión, Resonante en Frecuencia.	MARCA: IIE	Energización en el lado Línea.
MODELO: EGCTH-50	No. SERIE: 6410-856/010801/2411	Frecuencia de resonancia: 34.8 Hz.
Tensión del equipo: 50	KVca Rango: 30 – 300 Hz	Conexión de la fuente; en serie.

Figura 2.25 Especificaciones del equipo



Figura 2.26 Doble M4100 aislamiento Analizado

Especificaciones alimentación:	
Voltaje de salida:	De 0 a 12 kV de corriente alterna
Corriente De Salida:	100 mA continua a 10 kV 200 mA> 30 minutos a 10 kV a 300 mA> 4 minutos a 10 kV
Período de tiempo de funcionamiento basado en 50 ° C de temperatura de funcionamiento. Duraciones más largas a altas corrientes se realizarán a temperaturas de funcionamiento más bajas	
Potencia de salida:	3 kVA
Señal de salida sinusoidal interna generada independiente de suministro de insumos. Sin pérdida de rendimiento cuando se utiliza con generador portátil	
Entrada de CA	95 a 264 V AC 47 a 63 Hz 16 A máx a 110 V, 16 A máx a 110 V,
Frecuencia de prueba:	
Rango:	45 a 70 Hz independiente de la señal de entrada
Resolución:	0.1 Hz
Precisión:	± 1% de la lectura
Tensión de prueba:	
Rango:	25 V a 12 kV
Resolución:	1 V
Precisión:	± 1% de lectura, ± 1 V
Corriente de prueba:	
Rango:	0-5,0 A
Resolución:	0,1 mu
Precisión:	± 1% de lectura, ± 1 mu
Capacitancia:	
Rango:	0 a 100 mF

Tabla 2.6 Especificaciones de alimentación del equipo



Figura 2.27 Equipo de prueba

automatically and may be recalled to the display or downloaded for review.

SPECIFICATIONS

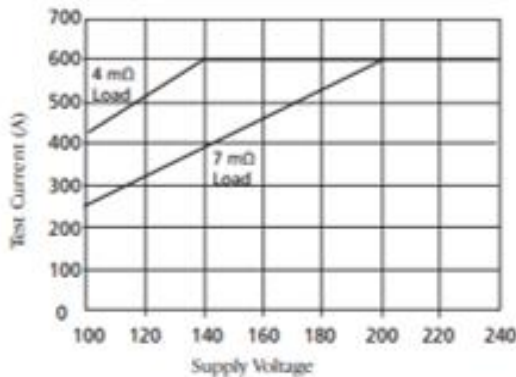
Measurement:

Range: 0.1 $\mu\Omega$ to 999.9 m Ω

(Subject to supply voltage and leads used)

Accuracy:

Voltage	$\pm 0.5\% \pm 0.1$ mV
Current	$\pm 0.5\% \pm 0.1$ A
Resistance:	Better than 1% from 100 $\mu\Omega$ to 100 m Ω



Output Current:

The chart above shows the maximum output current available at different supply voltages with a 4 m Ω load (i.e. standard 5 m current leads only) and with a 7 m Ω load

Current Lead Resistance (Megger supplied leads)

2 x 5 m 50 mm ² current leads	4 m Ω
2 x 10 m 70 mm ² current leads	5.4 m Ω
2 x 15 m 95 mm ² current leads	6 m Ω

Maximum Continuous Test Time

More than 60 seconds at 600 A @ 20°C ambient.

Power Supply for:

See chart.
full output: 207 to 265 V 50/60 Hz with a load less than 7 m Ω including current leads

reduced output: Down to 100 V 50/60 Hz.

Test Modes: Manual, Auto, Continuous.

Test Time: 7 seconds NORMAL /AUTO mode.

Refreshed every 2 seconds in CONTINUOUS mode

Display: Large, high resolution backlit liquid crystal display

Warnings Current flowing - LED. Other warnings are shown on the lcd display.

Data Transfer Real time or batch download via RS232 using Download Manager.

Storage Capacity: 300 result sets and memo, battery backed for 10 years.

Memo field: 200 characters max.

Test Current

Range: 10 A to 600 A unsmoothed d.c. in 1 A steps

Accuracy: $\pm 2\% \pm 2$ A

Voltmeter input

impedance: >200 k Ω

Hum rejection: 5 V rms 50 Hz/60 Hz

Temperature

Operation: -10 to +50°C

Storage: -25 to +65°C

Calibration: 20°C

Co-efficient: <0.05% per °C

Max. Humidity: 95% RH non-condensing

Maxi Altitude: 2000 m

Safety: IEC61010-1

EMC: IEC61326-1

Dimensions: 410 x 250 x 270 mm

Weight: 14.5 kg (excluding test leads)

Figura 2.28 Especificaciones del equipo de prueba



Figura 2.29 Osciloscopio

Characteristics

TDS1000B and TDS2000B Series Digital Storage Oscilloscopes

	TDS1001B	TDS1002B	TDS1012B	TDS2002B	TDS2004B	TDS2012B	TDS2014B	TDS2022B	TDS2024B
Display (14" VGA LCD)	Mono	Mono	Mono	Color	Color	Color	Color	Color	Color
Bandwidth ^{1,2}	40 MHz	60 MHz	100 MHz	60 MHz	60 MHz	100 MHz	100 MHz	200 MHz	200 MHz
Channels	2	2	2	2	4	2	4	2	4
External Trigger Input	Included on all models								
Sample Rate on Each Channel	500 MS/s	1.0 GS/s	1.0 GS/s	1.0 GS/s	1.0 GS/s	1.0 GS/s	1.0 GS/s	2.0 GS/s	2.0 GS/s
Record Length	2.5K points at all time bases on all models								
Vertical Resolution	8 bits								
Vertical Sensitivity	2 mV to 5 V/div on all models with calibrated fine adjustment								
DC Vertical Accuracy	±3% on all models								
Vertical Zoom	Vertically expand or compress a live or stopped waveform								
Maximum Input Voltage	300 V _{RMS} CAT II; derated at 20 dB/decade above 100 MHz to 13 V _{RMS} AC at 3 MHz								
Position Range	2 mV to 200 mV/div (-2 V) >200 mV to 5 V/div +50 V								
Bandwidth Limit	20 MHz for all models								
Input Coupling	AC, DC, GND on all models								
Input Impedance	1 MΩ in parallel with 20 pF								
Time Base Range	5 ns to 50 s/div	5 ns to 50 s/div	5 ns to 50 s/div	5 ns to 50 s/div	5 ns to 50 s/div	5 ns to 50 s/div	5 ns to 50 s/div	2.5 ns to 50 s/div	2.5 ns to 50 s/div
Time Base Accuracy	50 ppm								
Horizontal Zoom	Horizontally expand or compress a live or stopped waveform								
I/O Interfaces									
USB Ports	USB host port on front panel supports USB flash drives USB device port on back of instrument supports connection to PC and all PicBridge-compatible printers								
GPIB	Optional								
Nonvolatile Storage									
Reference Waveform Display	(2) 2.5K point reference waveforms								
Waveform	(2) 2.5K point	(2) 2.5K point	(2) 2.5K point	(2) 2.5K point	(4) 2.5K point	(2) 2.5K point	(4) 2.5K point	(2) 2.5K point	(4) 2.5K point

Figura 2.30 especificaciones del osciloscopio



Figura 2.31 Termómetro por infrarrojo Fluke 566

Especificaciones de los productos	
Rango de temperatura (medida por infrarrojos)	566: De -40 °C a 650 °C (de -40 °F a 1202 °F) 568: De -40 °C a 800 °C (de -40 °F a 1472 °F)
Precisión (medida por infrarrojos)	< 0 °C (32 °F): ± (1,0 °C (± 2,0 °F) + 0,1°/1 °C o °F); > 0 °C (32 °F): ± 1 % o ± 1,0 °C (± 2,0 °F), la mayor de ambas
Resolución de la pantalla	0,1 °C (0,1 °F)
Respuesta espectral (medida por infrarrojos)	De 8 µm a 14 µm
Tiempo de respuesta (medida por infrarrojos)	< 500 ms
Rango de temperatura de entrada para el termopar tipo K	De -270 °C a 1372 °C (de -454 °F a 2501 °F)
Precisión de entrada para el termopar tipo K	De -270 °C a 40 °C ± (1 °C + 0,2°/1 °C) (de -454 °F a -40 °F: ± (2 °F + 0,2°/1 °F)) De -40 °C a 1372 °C ± 1 % o 1 °C (de -40 °F a 2501 °F: ± 1 % o 2 °F), la mayor de ambas
Resolución óptica D:S (distancia: diámetro del área de medida)	566 30:1 568 50:1
Puntero láser	De punto único; potencia < 1 mw; clase 2 (II) de funcionamiento; de 630 nm a 670 nm
Tamaño mínimo del punto	19 mm (0,75 pulg.)
Ajuste de la emisividad	Mediante una tabla incorporada de los materiales más usuales o ajustable digitalmente de 0,10 a 1,00 en incrementos de 0,01
Almacenamiento de datos con indicación de fecha y hora	566 20 puntos 568 99 puntos
Interfaz para PC y cable	566 No 568 USB 2.0 con software FlukeView® Forms
Alarmas de temperatura alta/baja	Acústica y de dos colores

Tabla 2.7 Especificaciones del termómetro infrarrojo



Figura 2.32 Variador de voltaje

Variador de tensión

Aplicación

- Control en bancos de medida
- Control para medida en pruebas de laboratorio
- Control de velocidad en motor
- Control de resistencias de caldeo
- Corrección y regulación de tensión

Ventajas constructivas

- Sin interferencias de radiofrecuencia
- Forma de onda de salida totalmente sinusoidal
- Alta eficiencia con bajo consumo
- Envolverte metálica robusta

2.6 Especificaciones (Generador Eléctrico Síncrono de eje vertical)



Figura 2.33 Generador Síncrono de 180 MW



Figura 2.34 Placa de datos

2.7 Programa de Mantenimiento Eléctrico Menor

El programa de mantenimiento menor eléctrico es una serie de pasos a seguir para hacerle pruebas y mantenimiento a la unidad generadora y por tal razón hay que cumplir en un determinado tiempo. En este caso es empezó en el periodo del 16 de Abril de 2018 al 27 de Mayo 2018 que fueron 1 mes y 11 días. Se tiene que terminar el mantenimiento en ese lapso de tiempo establecido.

MANTENIMIENTO ELÉCTRICO MENOR DE LA UNIDAD GENERADORA N° 3 DE LA C.H. MALPASO (CFE)							
NUM	ORDEN	DESCRIPCION DE ACTIVIDADES	Subgrafo	Cl.	Inic.extr.	Fin extr.	FECHA
							DIA
CONSEC							
ESTATOR							
1	907963156	RETIRO DE TOLVAS Y TAPAS ANTIDERRAPANTES	800255979	CM04	16.04.2018	16.04.2018	PROGRAMADO
							REAL
2	907965582	PRUEBAS DIELECTRICAS POR FASE	800255986	CM04	17.04.2018	17.04.2018	PROGRAMADO
							REAL
3	907963155	DESCONEXIÓN DEL GENERADOR	800255979	CM04	18.04.2018	18.04.2018	PROGRAMADO
							REAL
4	907965569	LIMPIEZA DEL LAMINADO, ARAÑA, HUECOS Y D	800255980	CM04	19.04.2018	22.04.2018	PROGRAMADO
							REAL
5	907965564	MEDICIÓN DE ENTREHIERROS SUPERIOR E INFE	800255980	CM04	23.04.2018	24.04.2018	PROGRAMADO
							REAL
6	907963161	SONDEO DE ACUÑADO DEL ESTATOR	800255979	CM04	24.04.2018	28.04.2018	PROGRAMADO
							REAL
7	907963158	PRUEBAS DIELECTRICAS LAPEM	800255979	CM04	04.05.2018	06.05.2018	PROGRAMADO
							REAL
8	907963157	MANTTO. AL DEVANADO DE ESTATOR	800255979	CM04	22.04.2018	23.04.2018	PROGRAMADO
							REAL
9	907963160	CONECTAR TRENZAS EN SALIDA Y NEUTRO	800255979	CM04	22.06.2018	23.06.2018	PROGRAMADO
							REAL
10	907963159	MONTAR TOLVAS Y TAPAS ANTIDERRAPANTES	800255979	CM04	29.04.2018	02.05.2018	PROGRAMADO
							REAL
ROTOR							
11	907965568	INSPECC.DE CONEXIONES ELECT. POLOS DESMO	800255980	CM04	17.04.2018	18.04.2018	PROGRAMADO
							REAL
12	907965567	DESCONEXIÓN Y DESMONTAJE DE 14 POLOS.	800255980	CM04	18.04.2018	19.04.2018	PROGRAMADO
							REAL
13	907965565	PRUEBA DE RESIS. DE AISL Y CAIDA POLOS	800255980	CM04	19.04.2018	21.04.2018	PROGRAMADO
							REAL
14	907963054	MANTTO. Y PBAS. SOPORTES AISLANTES	800274323	CM04	22.04.2018	24.04.2018	PROGRAMADO
							REAL
15	907965574	PRUEBAS DIELECTRICAS AL CAMPO FINALES.	800255980	CM04	23.04.2018	23.04.2018	PROGRAMADO
							REAL
16		PBA. AISLAMIENTO PORTAESCOBILLAS		CM04			PROGRAMADO
							REAL
17	907965571	PRUEBAS DIELECTRICAS A POLOS DESMONTADOS	800255980	CM04	27.04.2018	29.04.2018	PROGRAMADO
							REAL
18	907965566	MANTTO. ANILLOS PORTAESCOBILLAS. (LIMPIE	800255980	CM04	21.04.2018	22.04.2018	PROGRAMADO
							REAL
19	907965572	MONTAJE Y CONEXIÓN DE POLOS EXTRAIDOS.	800255980	CM04	17.06.2018	19.06.2018	PROGRAMADO
							REAL
20	907965570	MANTENIMIENTO DE POLOS DESMONTADOS	800255980	CM04	20.04.2018	21.04.2018	PROGRAMADO
							REAL

Figura 2.35 Actividades programadas para el mantenimiento menor

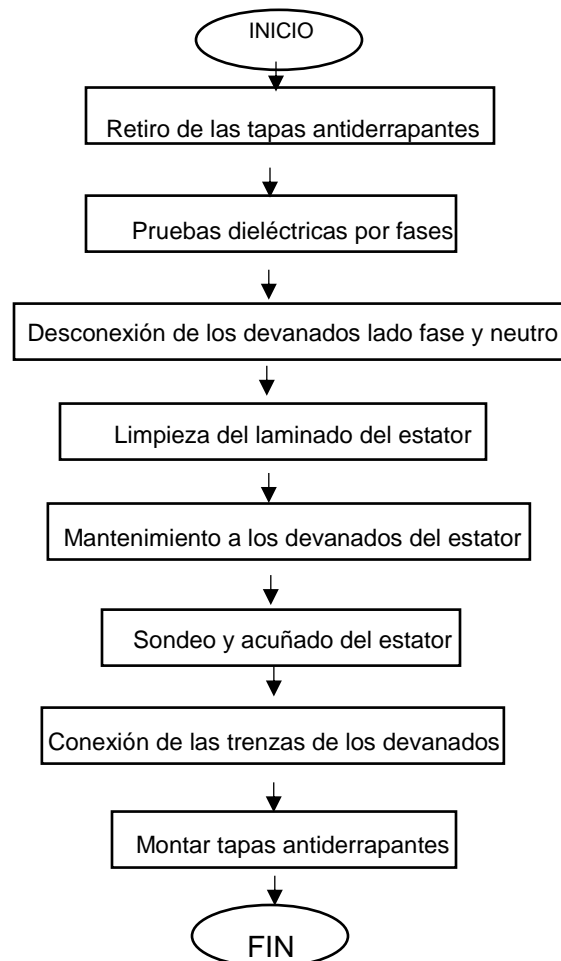
Capítulo 3

Desarrollo

3.1 Pruebas y mantenimiento al estator de la unidad N° 3

El estator es una de las partes fundamentales del generador síncrono ya que puede generar energía eléctrica a grandes voltajes. Lo cual para que siga operando sin riesgos y tener continuidad en el servicio es conveniente realizarle un mantenimiento en este caso es el mantenimiento menor de acuerdo a un programa de actividades programado.

Por lo tanto se le hará al estator unas series de pruebas eléctricas para diagnosticar cualquier anomalía. El estator cuenta con partes fundamentales como son el devanado trifásico y el laminado del estator, el departamento eléctrico se encargó de realizarle su respectivo mantenimiento al estator. Las pruebas y el mantenimiento que se le realizaron al estator por parte del departamento eléctrico son:



Esquema 3.1 Actividades que se llevaran a cabo

Serie de pruebas por parte de LAPEM

- RESISTENCIA DE AISLAMIENTO
- ÍNDICE DE POLARIZACIÓN
- ALTA TENSIÓN
- FACTOR DE DISIPACIÓN Y CAPACITANCIA
- DESCARGAS PARCIALES

Retiro de tolvas y tapas antiderrapantes.

Para hacer el mantenimiento al estator se tiene que extraer algunas partes como son las tapas antiderrapantes, estas tapas sirven para recubrir al generador de suciedad y evitar que las partes internas no se dañen. Estas recubren al generador por el suelo.



Figura 3.1 Unidad N° 3 Tapas antiderrapantes puestas.

Para quitar las tapas antiderrapantes se tiene que destornillar y se necesita un desarmador de cruz y una cuña con punta de cruz, se destornillan cada tapa y con ayuda de la grúa viajera se retiran las tapas para dejarlas en un lado del piso de generadores para no tener ningún accidente en las demás maniobras como se ve en la siguiente figura.



Figura 3.2 Desmontaje de tapas antiderrapantes

Al término de la jornada de trabajo se tiene que tapar el generador para que se mantenga con una temperatura moderada gracias a las resistencias calefactoras para que el aislamiento del generador no se humedezca y por la suciedad que pueda afectar a las piezas internas.

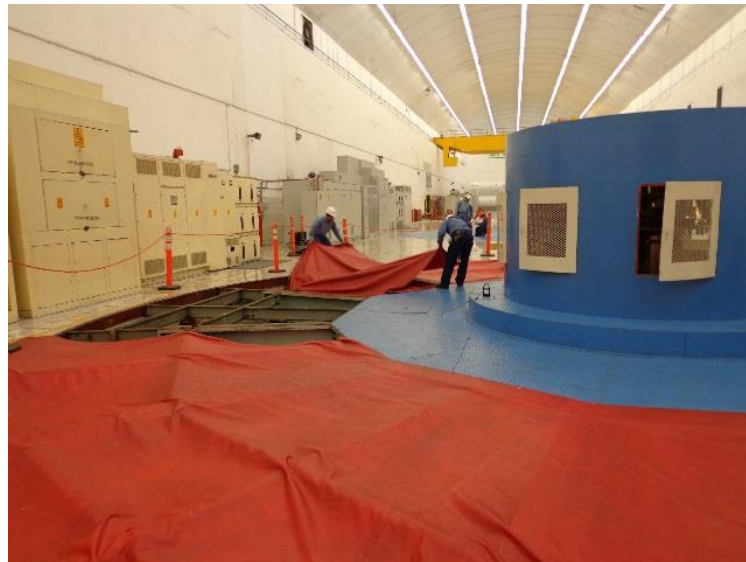


Figura 3.3 Lonas para proteger la unidad

Al quitar las tapas antiderrapantes se notó que el estado del generador estaba muy sucio por polvo de balata del sistema de frenado. Lo cual es tomo a realizarle una limpieza profunda todo el estator y el rotor por parte del departamento eléctrico.



Figura 3.4 Generador sucio de polvo de balata

Luego se procedió a desmontar las tolvas de fibra de vidrio estas su función es cubrir los devanados del estator de cualquier partícula de polvo y humedad que pueda penetrar al generador.



Figura 3.5 Desmontaje de las tolvas de fibra de vidrio parte superior

Tanto en la parte superior como en la parte inferior del generador se quitaron las tolvas. Con una llave matraca y un dado de medida de $\frac{3}{4}$ se destornillan. Y se acomodan en un lugar donde no tapen el paso.



Figura 3.6 Desmontaje de las tolvas parte inferior

Después de sacar todas la tolvas de fibra de vidrio se procede a la desconexión de las trenzas lado fases y lado neutro para realizarle pruebas de resistencia de aislamiento en el lado de fases para llevar una tendencia de cómo se encontraba la unidad antes de que se le realizara el mantenimiento al estator.



Figura 3.7 Prueba de resistencia de aislamiento a las fases del generador

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
SUBGERENCIA REGIONAL NOROESTE
CENTRAL HIDROELECTRICA MALPASO
MEDICION DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

DEPTO. DE MANTO: ELECTRICO UNIDAD 3 FECHA: 17.04.2018

EQUIPO: GENERADOR MARCA: ASEA No. SERIE: _____

VOLTAJE: 15,000V KVA: _____ FREQ: 60HZ RPM: _____

CONEXION: _____

TIEMPO DE OPERACION: _____ CLASE DE AISLAMIENTO: "F"

PARTE	ESTATOR "F" A, B, C			LINEA			GUARDA			TIERRA		
	LECT.	K	M Ω	LECT.	K	M Ω	LECT.	K	M Ω	LECT.	K	M Ω
PROBADA												
VOLTAJE PRUEBA	5,000 V											
CONEXION DE PRUEBA	→ LINEA			LINEA			LINEA			LINEA		
	→ GUARDA			GUARDA			GUARDA			GUARDA		
	→ TIERRA			TIERRA			TIERRA			TIERRA		
15 DEG	119		M Ω									
30 DEG	243		M Ω									
45 DEG	388		M Ω									
1 MIN	495		M Ω									
2 MIN	903		M Ω									
3 MIN	1.23		G Ω									
4 MIN	1.53		G Ω									
5 MIN	1.83		G Ω									
6 MIN	2.07		G Ω									
7 MIN	2.37		G Ω									
8 MIN	2.58		G Ω									
9 MIN	2.85		G Ω									
10 MIN	3.04		G Ω									
RELAC 31												
RELACION 101	6.16											

TEMPERATURA OBTENIDA CON: 31°C

DESCRIBA EQUIPO INCLUIDO EN LA PRUEBA: _____ RESISTENCIA DE AISLAMIENTO Y CABLES DE PR: _____

OBSERVACIONES: 3.65 MF MEGGER No. _____

REVISO: JESUS ALONDO OCAÑA ROQUE PROBO: GERMAN MTZ. M

RANGO: 0 A 1TΩ
1.7149.0F0

Figura 3.8 Orden de trabajo para la realización de resistencia de aislamiento

Después lo que se realizó es desconectar las trenzas de generador de lado fases y lado neutro. Es la parte donde se conecta el generador.



Figura 3.9 Desconexión de las trenzas del generador

Después se empezó con la limpieza general del estator con un líquido llamado dieléctrol este detergente es de uso industrial y se aplica por su fácil evaporación ya que el aislamiento se humedece y no se debe porque puede afectar en las pruebas que se le realizará.

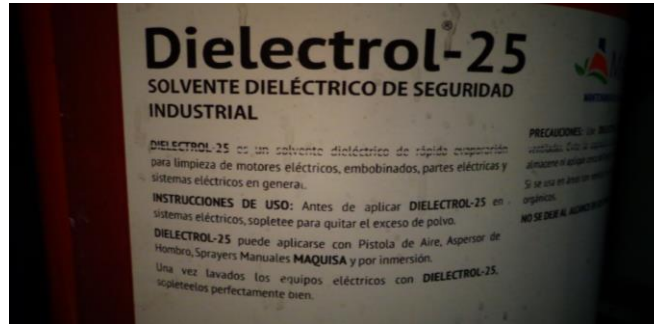


Figura 3.10 Solvente eléctrico (dieléctrol -25)

El departamento eléctrico le realizó una prueba de resistencia de aislamiento para saber el estado en general del estator antes de ser sometido al mantenimiento.

Ya que las pruebas salieron satisfactorias se procede a limpiar el devanado llamado cabezales inferiores y superiores



Figura 3.11 Limpieza de cabezales parte superior



Figura 3.12 Encintado con cinta de fibra de vidrio a partes deterioradas

Aprovechando que se extrajeron algunos polos se hizo una inspección visual al estator para encontrar posibles zonas de asimiento en malas condiciones para volverlas a reestablecer.

Limpieza del laminado del estator

Esta limpieza es muy importante ya que en esa parte se encuentra las barras de los cabezales (las bobinas del generador) y si está sucio puede provocar falla a tierra o una descarga en la ranura por el exceso de polvo de balata que se encontró en esa zona.



Figura 3.13 Limpiezas con dieléctrol al laminado del estator

Como el acceso a ese lugar es complicado se tiene que hacer una pequeña tarima para bajar a un técnico a realizar esa acción, ayudándolo a baja otro técnico del lado donde no haya polos.



Figura 3.14 Limpieza de cabezales parte inferior



Figura 3.15 Sopleteo a ranuras del estator

También el sopleteo es esencial ya que hay partes en donde la franela o trapos no pueden llegar y con él puede llegar a limpiar zonas de difícil acceso.

Sondeo del acuíado del estator

El sondeo del acuíado es verificar en las ranuras del estator cuales cuñas están flojas esto se puede saber colpiando levemente con un pequeño martillo. La realización de la prueba de sondeo sirve para visualizar las cuñas ya sea que estén flojas por la vibración magnética del generador, para esto se hace la revisión del sondeo para verificar cuál de las cuñas es necesario para ser reapretadas como se observa en la siguiente figura.



Figura 3.16 Sondeo del Acuíado del estator



Figura 3.17 Martillo para verificar el acuñado

Terminando el sondeo no se encontraron cuñas flojas o mal colocadas por lo cual se siguió con el mantenimiento sin ningún problema.

Limpeza de cubículos de radiadores y araña del estator

El departamento mecánico se encargó de extraer y darle su respectivo mantenimiento a los radiadores y el departamento eléctrico se encargó de realizarle limpieza a los cubículos donde se quitaron los radiadores e igual como se viene haciendo con todas las piezas.



Figura 3.18 Limpieza de cubículo parte radiadores



Figura 3.19 Limpieza terminada de cubículos de radiadores

Se empieza con la limpieza de la araña del generador



Figura 3.20 Limpieza con dieléctrol para una fácil evaporación



Figura 3.21 Rehabilitación de tovas de fibra de vidrio que están fisuradas

Luego de haber terminado el mantenimiento al estator se empieza las conexiones de lado de neutro y el lado de fases



Figura 3.22 Conexiones de las trenzas lado bus de fase aislada

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
SUBGERENCIA REGIONAL NOROESTE
CENTRAL HIDROELECTRICA MALPASO
MEDICION DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

DEPTO. DE MANTTO. ELECTRICO CASA DE MAQUINAS FECHA 19.04.2018

EQUIPO: U-3 MARCA ASEA No. SERIE 5798 244

VOLTAJE 15,000 V KVA 218,000. 225 FREQ 60HZ RPM 128.57

CONEXIÓN

TIEMPO DE OPERACIÓN ESTRELLA CLASE DE AISLAMIENTO "F"

PARTE	DEVANADO FA			DEVANADO FB			DEVANADO FC			DEVANADO FA-FB-FC		
PROBADA	FA			FB			FC			FA-FB-FC		
VOLTAJE PRUEBA	10,000 VCD			10,000 VCD			10,000 VCD			10,000 VCD		
CONEXIÓN DE PRUEBA	LINEA			LINEA			LINEA			LINEA		
	GUARDA			GUARDA			GUARDA			GUARDA		
	TIERRA			TIERRA			TIERRA			TIERRA		
	LECT.	K	M Ω	LECT.	K	M Ω	LECT.	K	M Ω	LECT.	K	M Ω
15 SEG	462		MΩ	444		MΩ	479		MΩ			10.6
30 SEG	579		MΩ	565		MΩ	565		MΩ			16.8
45 SEG	905		MΩ	910		MΩ	910		MΩ			27.7
1 MIN	1.20		GΩ	1.21		GΩ	1.20		GΩ			209
2 MIN	2.19		GΩ	2.20		GΩ	2.21		GΩ			786
3 MIN	2.97		GΩ	2.99		GΩ	3.10		GΩ			1.11
4 MIN	3.63		GΩ	3.66		GΩ	3.67		GΩ			1.39
5 MIN	4.23		GΩ	4.25		GΩ	4.28		GΩ			1.63
6 MIN	4.75		GΩ	4.71		GΩ	4.79		GΩ			1.83
7 MIN	5.21		GΩ	5.22		GΩ	5.29		GΩ			2.04
8 MIN	5.71		GΩ	5.66		GΩ	5.73		GΩ			2.20
9 MIN	6.02		GΩ	6.10		GΩ	6.21		GΩ			2.37
10 MIN	6.45		GΩ	6.54		GΩ	6.55		GΩ			2.51
RELAC 3/1												
RELACION 10/1	5.42			5.46			5.48					8.72

TEMPERATURA OBTENIDA CON: _____

DESCRIBA EQUIPO INCLUIDO EN LA PRUEBA _____

OBSERVACIONES: FA-10222 VCD - 12.0 NF MEGGER No. MIT1020/2 10KV
F B-10217VCD-12.1 NF C-10214VCD-12.1 NF RANGO: 0 A 1 TΩ

ABC-10213 VCD-12.1 NF

REVISO: JESUS ALONSO OCAÑA ROQUE PROBO: RODRIGO RODRIGUEZ CH.
I-2149-DE01-R-01

Figura 3.23 Orden de trabajo para la realización de resistencia a las fases del generador



Figura 3.24 Conexiones de las trenzas lado Fases

Después de haber realizado la prueba de R.A a cada una de las fases del generador y una prueba trifásica sabiendo que los resultados son favorables se procede a la conexión de las trenzas del generador.

Se inicia el montaje y fijación de tolvas de fibra de vidrio ya puestos los polos que se les realizo mantenimiento estas tovas van colocadas en el cabezal superior del generador y también se pondrá en la parte inferior.



Figura 3.25 Colocaciones de tolvas de fibra de vidrio tanto en la parte superior como la inferior

Luego de colocar las tolvas se procede a tapar el generador con las tapas antiderrapantes, pero antes de ese pase se debe de realizarle una inspección visual para saber si no quedo algún material u objeto extraño a este. Con ayuda de la grúa de casa de máquinas se procede a realizar esa acción.



Figura 3.26 Se colocan las tapas antiderrapantes.

Se termina el mantenimiento con una prueba de campo del generador.



Figura 3.27 Prueba de resistencia de aislamiento al conjunto de generador-transformador

Se participa en las actividades de puesta en servicio de la unidad: rodado y excitado de la unidad en automático, sincronización, pruebas de Mel y oel, pruebas de regulador de velocidad y regulador de tensión al vacío y a diferentes cargas.

Pruebas LAPEM al estator de la unidad N° 3

En el total de las mediciones realizadas se obtuvieron resultados satisfactorios, lo cual indica un buen estado de conservación de los devanados y aislamientos.

Con la prueba de Alta Tensión aplicada se confirmó que el estado general de los aislamientos es satisfactorio, ya que durante su aplicación no se generaron fallas ni cambios significativos en la corriente. Es decir, la operación del Estator se puede realizar de manera confiable.

Norma	Título
IEEE Std. 43-2000	Recomendaciones Prácticas para Pruebas de Resistencia de Aislamiento de Maquinas Rotatorias
IEEE Std. 56-1977	Guía para el Mantenimiento del Aislamiento de Grandes Maquinas Rotatorias
IEEE Std. 286	Recomendaciones Prácticas para Medición del Factor de Potencia Tip-Up del aislamiento de Bobina de Estator de Máquinas Rotatorias.
IEC 60894	Guía de Procedimientos de Prueba para la Medición de Pérdidas de Tangente sobre bobinas y barras para Devanados de Máquinas.
IEC 60270-2000	Medición de descargas parciales fuera de línea a aislamientos de devanados eléctricos de máquinas rotatorias
IEC 894	Guía de Procedimientos de Prueba para la Medición de Pérdidas de Tangente sobre bobinas y barras para Devanados de Máquinas.
IEEE Std 95™-2002	IEEE Recommended Practice for Insulation Testing of AC Electric Machinery (2300 V and Above) With High Direct Voltage

Tabla 3.1 Descripción de pruebas a realizar en base a la norma

Recomendaciones

- 1.-El estado general de los devanados y aislamientos del Estator es adecuado para que el Generador pueda continuar operando de manera confiable.
- 2.- Para el próximo periodo de mantenimiento programado de la Unidad se deberá repetir la aplicación de un protocolo de pruebas, para evaluar la tendencia de los resultados registrados en ésta ocasión.

Prueba de resistencia de aislamiento a los devanados del estator

El objetivo de esta prueba es determinar el contenido de humedad y/o suciedad presente en el aislamiento del devanado del estator. Su fundamento y teoría se basan en la norma IEEE Sta.43.

Para este tipo de aislamiento a base de cinta de mica y resina epoxica clase "F" según la guía IEEE-43 se recomienda un índice de polarización (relación de 10/1) mínimo de 2 para para realizar pruebas de tensión aplicada.

DATOS DEL EQUIPO					
REGION: SUBGERENCIA REGIONAL NOROESTE	TEMP AMBIENTE: 26.5 °C	57 % HR			
CENTAL CH Malpaso	UNIDAD: 3	TEMP DEVANADOS: 34 °C	57 % HR		
MARCA: ASEA	TIPO: GS 3925	TENSION ESTATOR 15 000 V	AMPERES 8 660		
SERIE: 5798 244	RPM: 128.57 HZ: 60	TENSION ROTOR 500 V	AMPERES 1 400		
CAPACIDAD: 218 000 / 225 000 KVA	F.P.: 0.95	CLASE AISLAMIENTO: F			
LONGITUD NUCLEO: 2.55 m	NUMERO RANURAS: 432	ASFALTO-MICA	<input type="checkbox"/>	CONTROL DE CORONA	X
CONEXIÓN NEUTRO: Y	RAMALES POR FASE: 4	EPOXY-MICA	X	ENFRIADO CON H ₂ Y H ₂ O	<input type="checkbox"/>
AÑO DE FABRICACION: 1969	HORAS DE OPERACION: -----	POLIESTER-MICA	<input type="checkbox"/>	ENFRIADO CON H ₂	<input type="checkbox"/>
FECHA ULTIMA PRUEBA: -----	ROTOR DENTRO	OTROS	<input type="checkbox"/>	ENFRIADO CON AIRE	X
FECHA DE PRUEBA: 4 DE MAYO DE 2018	ROTOR FUERA	TIPO RELLENO LATERAL: -----			

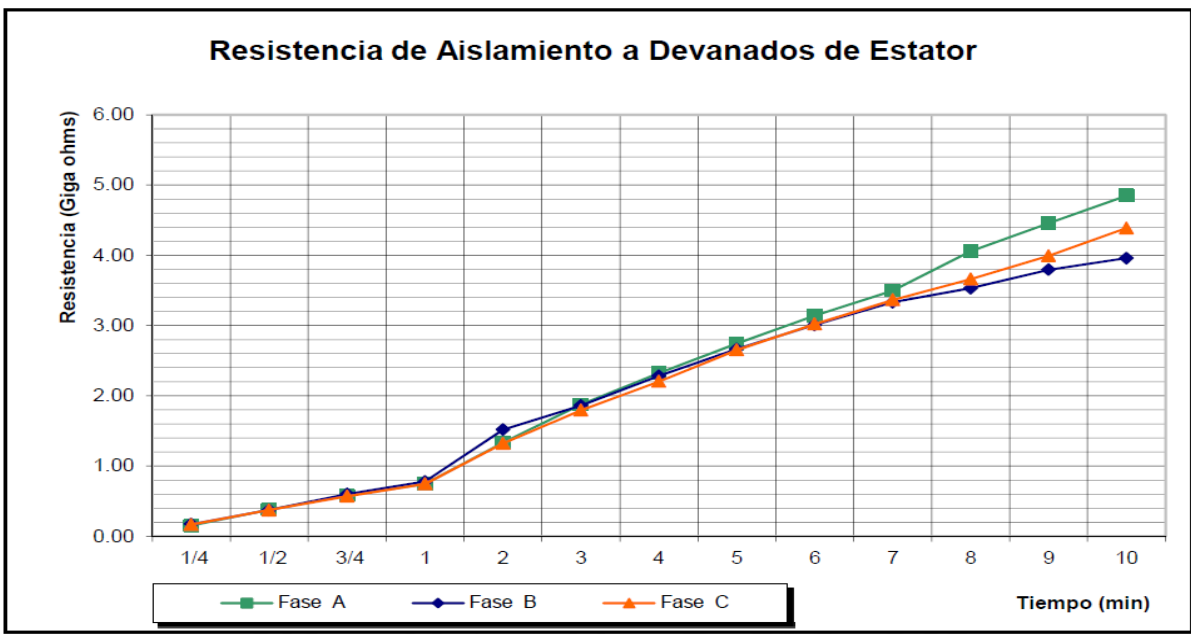
Figura 3.28 Datos del Generador

PRUEBA No.	1			2			3			4			5
TENSION DE PRUEBA	5000 Vcc			5000 Vcc			5000 Vcc						500 Vcc
A LINEA	FASE A			FASE B			FASE C						EXCITACION
A TIERRA	FASES B Y C			FASES A Y C			FASES A Y B						FLECHA
TIEMPO (MINUTOS)	LECT.	K	GΩ	LECT.	K	GΩ	LECT.	K	GΩ	LECT.	K	GΩ	LECT. GΩ
¼	0.23	0.66	0.15	0.26	0.66	0.17	0.25	0.66	0.17	---	---	---	---
½	0.58	0.66	0.38	0.57	0.66	0.37	0.57	0.66	0.37	---	---	---	---
¾	0.88	0.66	0.58	0.91	0.66	0.60	0.87	0.66	0.57	---	---	---	---
1	1.13	0.66	0.75	1.18	0.66	0.78	1.13	0.66	0.75	---	---	---	---
2	2.02	0.66	1.33	2.30	0.66	1.52	2.00	0.66	1.32	---	---	---	---
3	2.84	0.66	1.87	2.82	0.66	1.86	2.72	0.66	1.79	---	---	---	---
4	3.52	0.66	2.32	3.46	0.66	2.28	3.34	0.66	2.20	---	---	---	---
5	4.16	0.66	2.74	4.04	0.66	2.67	4.02	0.66	2.65	---	---	---	---
6	4.76	0.66	3.14	4.56	0.66	3.01	4.58	0.66	3.02	---	---	---	---
7	5.30	0.66	3.50	5.05	0.66	3.33	5.10	0.66	3.36	---	---	---	---
8	6.15	0.66	4.06	5.35	0.66	3.53	5.55	0.66	3.66	---	---	---	---
9	6.75	0.66	4.45	5.75	0.66	3.79	6.05	0.66	3.99	---	---	---	---
10	7.35	0.66	4.85	6.00	0.66	3.96	6.65	0.66	4.39	---	---	---	---
RELACION 3/1	-----			-----			-----			-----			-----
RELACION 10/1	5.10			5.90			6.50			-----			-----

Tabla 3.2 Resultados de la prueba de resistencia de aislamiento



Figura 3.29 Personal de LAPEM con ayuda del departamento eléctrico realizando prueba de resistencia de aislamiento antes de la prueba de HIP-POT.



Grafica 3.1 Tendencia de la prueba de R.A de los devanados

Como se ve en la gráfica, los tres devanados casi tienen la misma tendencia por lo que el personal de LAPEM dio visto bueno a la parte del aislamiento del estator.

Prueba de alto potencial (HI-POT)

Esta prueba consiste en aplicarle un alto potencial a los devanados del estator, y diagnosticar si el aislamiento está en condiciones de seguir operando con sus parámetros nominales. Esta prueba es destructiva.

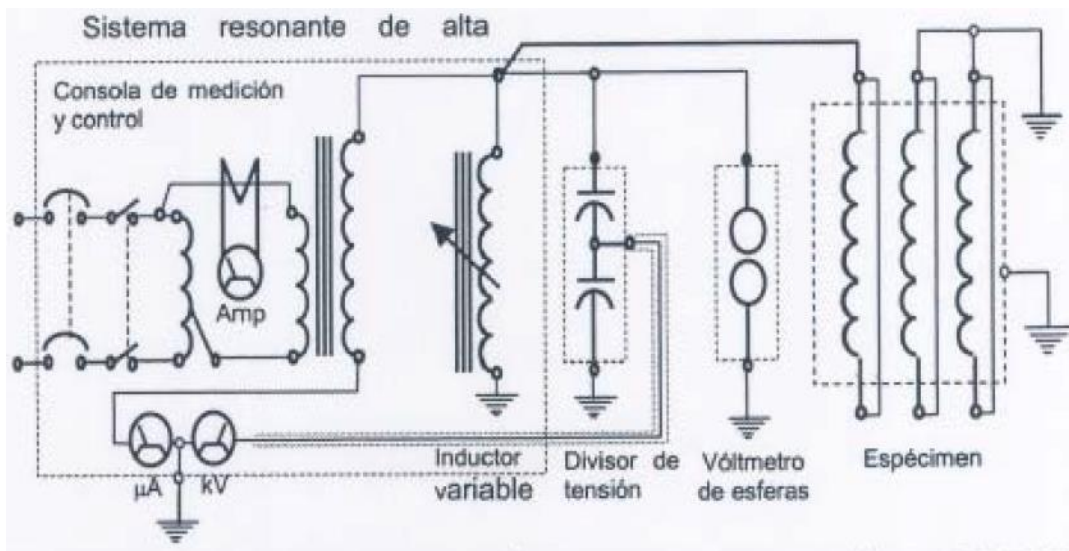


Figura 3.30 Diagrama del sistema de alta resonancia



Figura 3.31 Traslado del equipo (hi-pot)

Como es un dispositivo muy grande es difícil su traslado por lo que se requiere de la ayuda de la grúa viajera ubicada en el piso de excitatriz.


EQUIPO DE PRUEBA		OBSERVACIONES						
Fuente de Alta Tensión, Resonante en Frecuencia.	MARCA: IIE	Energización en el lado Línea.						
MODELO: EGCTH-50	No. SERIE: 6410-856/010801/2411	Frecuencia de resonancia; 34.8 Hz.						
Tensión del equipo: 50 kVca	Rango: 30 - 300 Hz	Conexión de la fuente; en serie.						
PROBO <div style="text-align: center;">  <hr/> NOMBRE Y FIRMA </div>		FECHA <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="border-right: 1px solid black;">2018</td> <td style="border-right: 1px solid black;">MAYO</td> <td>04</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black;">Año</td> <td style="border-right: 1px solid black;">Mes</td> <td>Día</td> </tr> </table>	2018	MAYO	04	Año	Mes	Día
2018	MAYO	04						
Año	Mes	Día						

Figura 3.32 Características del equipo de prueba

Análisis de los resultados

La prueba de Alta Tensión se realizó utilizando una fuente de frecuencia variable, la cual se ajustó (resonó) a una frecuencia de 34.8 Hz con arreglo serie, de acuerdo a la capacitancia de una fase completa del Generador.

La fórmula de aplicación de potencial cuando el equipo esta nuevo de acuerdo a los parámetros de la unidad 3:

$$2(E)+1KV$$

Dos veces el voltaje nominal más un kilo volts

Entonces: La unidad es de 15,000 volts = 15 KV

$$2(15) + 1 KV = 30 + 1KV = 31 KV \text{ De Aplicación}$$

Pero como el generador no es nuevo se aplica otro criterio:

$$15 KV (1.30) = 19.5 KV$$

Este es el potencial que se le aplico al generador. Se multiplica los 15 KV de tensión del generador por el valor de 1.30 que establece la norma IEEE Sta. 95 y nos da el resultado para la aplicación de potencial devanado de estator.



Figura 3.33 Instalación del equipo para la prueba de alta tensión



Figura 3.34 Equipo conectado en serie para la realización de la prueba



Figura 3.35 Inicio de la prueba de alto potencial

La prueba de alto potencial es destructiva solo hay dos parámetros de resultados “satisfactorio y No Satisfactorio” esta prueba se realiza durante un minuto, gradualmente se va aumentando el voltaje hasta que se llegue al valor indicado de prueba (19.5 KV) de allí empieza a correr el tiempo de prueba de un minuto.

Como resultado la prueba fue satisfactoria ya que los devanados están en buenas condiciones sin dejar atrás el mantenimiento que se le dio al estator principalmente al aislamiento porque estaba sucio de partículas de polvo de balata y como se sabe que los residuos de las balatas es carbón y este es un conductor puede haber una falla a tierra durante la prueba.

PRUEBA No	1		2		3	
LÍNEA	FASE A		FASE B		FASE C	
TIERRA	FASES B y C		FASES A y C		FASES A y B	
KV	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
	5.21 A	5.16 A	5.18 A	5.15 A	5.19 A	5.15 A
19.5	19.5 kVca @ 1 min		19.5 kVca @ 1 min		19.5 kVca @ 1 min	
	Satisfactorio		Satisfactorio		Satisfactorio	

Tabla 3.3 Resultados de la prueba de HI-POT

Después de la prueba de alto potencial se debe realizar otra prueba de resistencia de aislamiento para verificar y comprobar si el aislamiento quedó o no débil, debido al sobre esfuerzo por la prueba de potencial. Así que el personal de LAPEM volvió a realizarle la prueba de R.A.

Al término de la prueba de resistencia de aislamiento los resultados fueron satisfactorios ya que el aislamiento no sufrió daño alguno y se comprueba en los resultados dados.

PRUEBA No.	1			2			3			
TENSION DE PRUEBA	5000 Vcc			5000 Vcc			5000 Vcc			
A LÍNEA	FASE A			FASE B			FASE C			
A TIERRA	FASES B Y C			FASES A Y C			FASES A Y B			
TIEMPO (MINUTOS)	LECT.	K	GΩ	LECT.	K	GΩ	LECT.	K	GΩ	LECT.
¼	0.22	0.62	0.13	0.22	0.62	0.14	0.24	0.62	0.15	---
½	0.51	0.62	0.31	0.50	0.62	0.31	0.48	0.62	0.29	---
¾	0.73	0.62	0.45	0.73	0.62	0.45	0.76	0.62	0.46	---
1	0.95	0.62	0.58	0.93	0.62	0.57	0.98	0.62	0.60	---
2	1.69	0.62	1.04	2.24	0.62	1.38	1.80	0.62	1.11	---
3	2.32	0.62	1.43	2.26	0.62	1.39	2.66	0.62	1.64	---
4	2.84	0.62	1.75	2.80	0.62	1.72	3.32	0.62	2.04	---
5	3.34	0.62	2.06	3.28	0.62	2.02	4.04	0.62	2.49	---
6	3.70	0.62	2.28	3.64	0.62	2.24	4.70	0.62	2.89	---
7	4.26	0.62	2.62	4.08	0.62	2.51	5.45	0.62	3.35	---
8	4.64	0.62	2.86	4.36	0.62	2.68	6.10	0.62	3.75	---
9	4.96	0.62	3.05	4.74	0.62	2.92	6.60	0.62	4.06	---
10	5.30	0.62	3.26	5.00	0.62	3.08	7.20	0.62	4.43	---
RELACION 3/1	-----			-----			-----			
RELACION 10/1	5.60			5.40			7.35			

Tabla 3.4 Resultado de la prueba de resistencia de aislamiento

Prueba de Factor de Disipación.

El factor de disipación es un índice de pérdidas dieléctricas que guarda el sistema de aislamiento, el cual es un indicativo de la homogeneidad del aislamiento durante su manufactura o su proceso natural de envejecimiento durante su vida útil, dicho índice se incrementa proporcionalmente con la tensión de prueba.

El procedimiento de prueba empleado se basa en la norma IEC 894, el cual se especifica como criterios de evaluación: el valor de factor de disipación obtenido al 20% de la tensión nominal y la variación del mismo entre los valores obtenidos al 20% y al 60 % de la tensión de la máquina, dicha razón de cambio se conoce como $\Delta \tan \delta$.

La magnitud del factor delta tangente es un indicador cuantitativo del grado de pérdidas por corona que ataca el aislamiento principal a tierra (esencialmente las resinas o compuestos orgánicos) y los revestimientos superficiales graduadores de campo eléctrico.

1.- Previamente a la realización de la prueba de Alta Tensión, se hicieron mediciones de Factor de Disipación y Capacitancia a cada fase completa, para lo cual se interconectaron cada uno de los cuatro ramales con los que cuenta una fase. Por limitaciones de capacidad de la fuente utilizada (M4000), únicamente fue posible energizar a tensiones de 3 y 6 kV.

EQUIPO DE PRUEBA		OBSERVACIONES						
Medidor de Factor de Disipación y Capacitancia	MARCA: DOBLE	Mediciones en lado línea.						
MODELO: M4000	No. SERIE: 119901280	(F) Valores actuales.						
Tensión del equipo: 12 000 kVca	Frecuencia 60 Hz.	Fase completa.						
		Antes de Alta Tensión.						
		Equipo M4000 es propiedad de la CH Belisario Domínguez (Angostura)						
PROBO Federico Álvarez Morales _____ NOMBRE Y FIRMA		FECHA <table border="1"> <tr> <td>2018</td> <td>MAYO</td> <td>04</td> </tr> <tr> <td>Año</td> <td>Mes</td> <td>Día</td> </tr> </table>	2018	MAYO	04	Año	Mes	Día
2018	MAYO	04						
Año	Mes	Día						

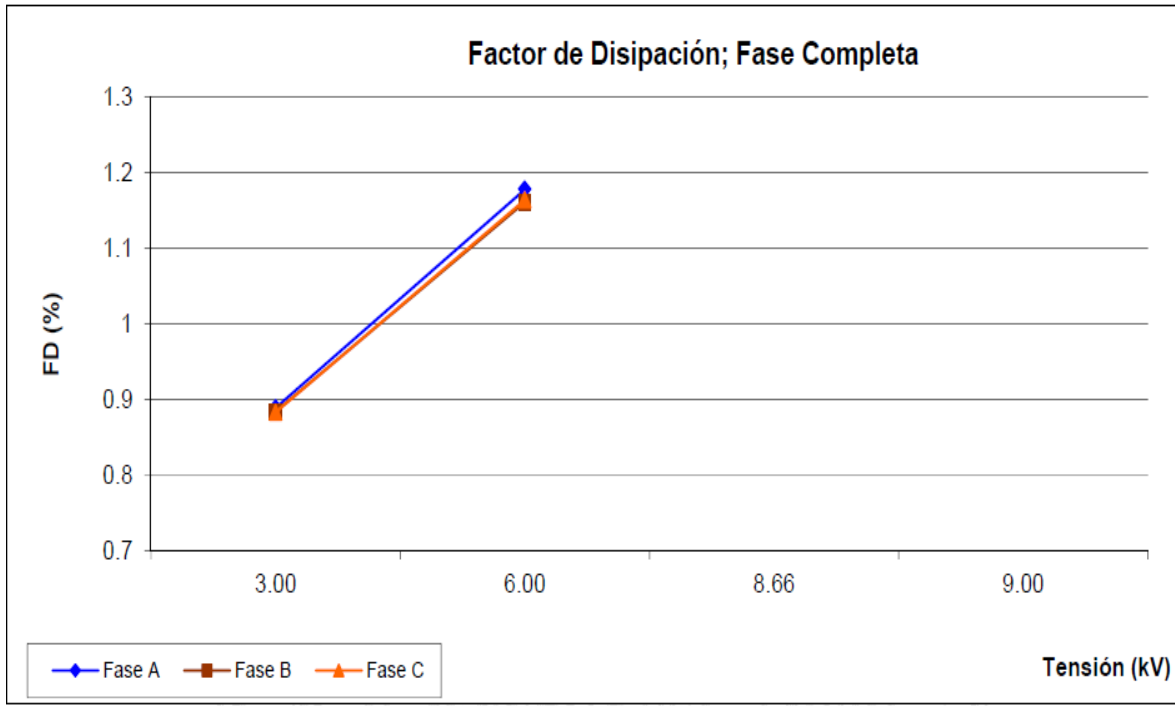
Figura 3.36 Datos del equipo para la realización de la prueba



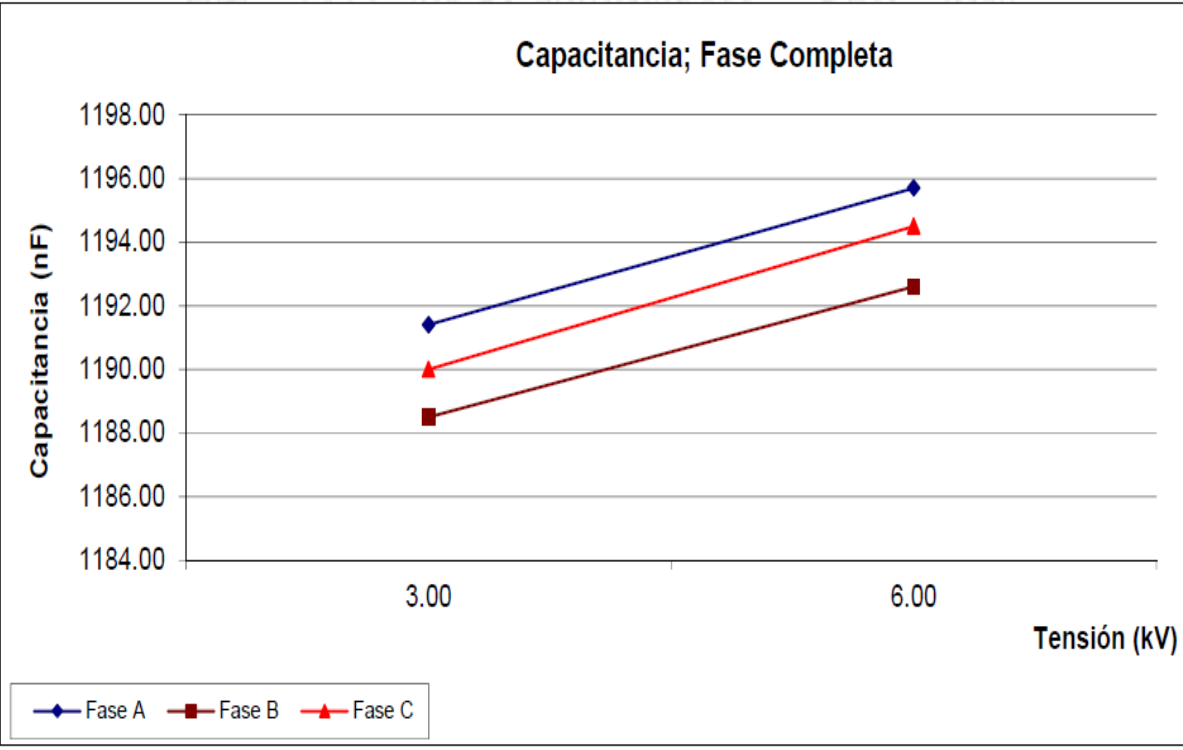
Figura 3.36 Equipo de Factor de Disipación

	Fase	%Vn (kV)	kV Prueba	I (mA)	P (W)	C (nF)	$\Delta C / C$	Tan δ %	$\Delta \tan \delta$
1	A	20	3	1345.525	35.891	1191.400	-----	0.889	-----
2	A	40	6	2705.669	191.442	1195.700	0.361	1.178	0.289
3	A	$V_n / \sqrt{3}$	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
4	A	60	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
5	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
6	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
7	B	20	3	1346.655	35.786	1188.500	-----	0.884	-----
8	B	40	6	2698.709	188.041	1192.600	0.345	1.161	0.277
9	B	$V_n / \sqrt{3}$	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
10	B	60	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
11	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
12	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
13	C	20	3	1345.578	35.629	1190.000	-----	0.883	-----
14	C	40	6	2698.700	188.185	1194.500	0.378	1.164	0.281
15	C	$V_n / \sqrt{3}$	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
16	C	60	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Tabla 3.5 Resultados antes de la prueba de factor de disipación



Grafica 3.2 Prueba factor de disipación



Grafica 3.3 Prueba de capacitancia



Figura 3.37 Personal de LAPEM realizando prueba al generador

Prueba de Descargas Parciales

El objetivo de esta prueba es verificar el contenido de cavidades u oclusiones dentro del sistema aislante así como el estado actual que guardan los revestimientos graduadores de campo eléctrico que se conforman el volumen del aislamiento a tierra de los devanados del estator. La prueba se realizó con base a la norma IEC-270

Las mediciones de Descargas Parciales fueron realizadas después de la prueba de alta tensión. Se midió cada media fase, debido a las limitaciones de capacidad de la fuente utilizada, con un tiempo de estabilización de 5 minutos. Hasta una tensión máxima de 8.66 kV.



Figura 3.38 Personal de LAPEM realizando pruebas eléctricas al estator del generador

EQUIPO DE PRUEBA		OBSERVACIONES
MEDIDOR DE DESCARGAS PARCIALES	MARCA: POWER DIAGNOSTIC	Energización en lado neutro, medición en el la línea.
MODELO: ICM System	No. SERIE: 429	Tiempo de estabilización 5 minutos @ 8.66 kV.
Medidor de Factor de Disipación y Capacitancia	MARCA: DOBLE	Amp Gain: 1, Main Amp Gain: 20
MODELO: M4000	No. SERIE: 119901280	Div Ratio 247
Tensión del equipo: 12 000 kVca	Frecuencia 60 Hz.	Calibrador serie: 2672
PROBO Federico Álvarez Morales NOMBRE Y FIRMA		FECHA 2018 MAYO 04 Año Mes Día

Figura 3.39 Equipo para la realización de prueba de descargas parciales

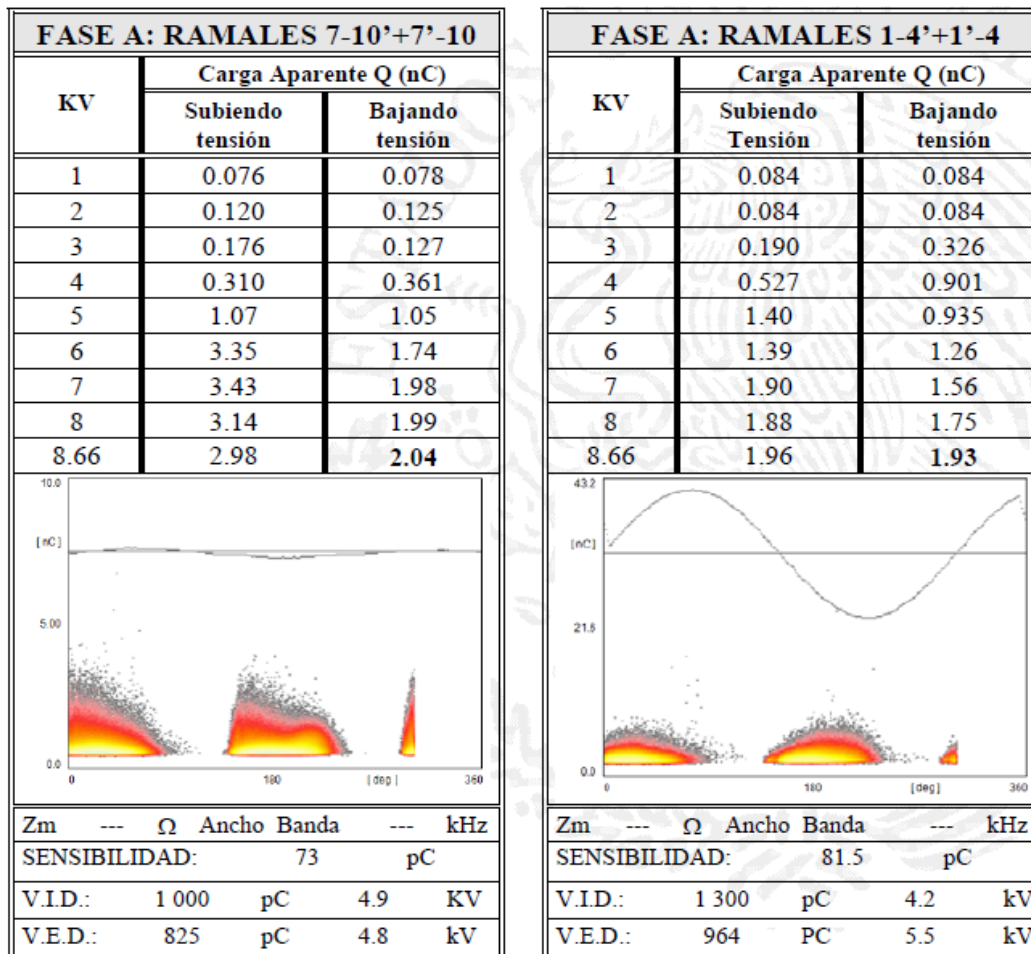


Tabla y grafica 3.1 Resultados de prueba de descargas parciales

Prueba de Resistencia Óhmica

Los valores de resistencia óhmica para cada fase mostrados en la tabla resumen, corresponden a valores equivalentes calculados de acuerdo los resultados obtenidos en cada uno de los ramales por fase, corregidos a 75°C.

FASE	I PRUEBA (mA)	I PRUEBA %	Rt (mΩ)	Tt (°C)	K	Ts (°C)	Rs (mΩ)
FA (T7 - T10')	9.015	----	10.743	33	234.50	75.0	12.430
FA (T7' - T10)	8.957	----	10.958	33	234.50	75.0	12.678
FA (T1 - T4')	8.960	----	10.955	33	234.50	75.0	12.675
FA (T1' - T4)	9.109	----	10.970	33	234.50	75.0	12.693
----	----	----	----	----	----	----	----
FB (T8 - T11')	9.130	----	10.726	33	234.50	75.0	12.410
FB (T8' - T11)	9.128	----	10.940	33	234.50	75.0	12.658
FB (T2 - T5')	9.053	----	10.965	33	234.50	75.0	12.687
FB (T2' - T5)	9.052	----	10.978	33	234.50	75.0	12.701
----	----	----	----	----	----	----	----
FC (T9 - T12')	9.139	----	10.730	33	234.50	75.0	12.415
FC (T9' - T12)	9.012	----	10.939	33	234.50	75.0	12.656
FC (T3 - T6')	8.962	----	10.960	33	234.50	75.0	12.680
FC (T3' - T6)	9.130	----	10.985	33	234.50	75.0	12.709
ROTOR	----	----	----	----	----	----	----

OBSERVACIONES:

El valor promedio de las mediciones es válido para la resistencia.

PREPARATIVOS:

1. Las terminales deben estar desconectadas.
2. Descargar cualquier carga estática por un periodo de 10 minutos.
3. La resistencia debe medirse por cada fase.

FASE	Rs (mΩ)	RESISTENCIA DE FABRICA (mΩ)	DIFERENCIA PROMEDIO
A	3.155	-----	-----
B	3.153	-----	-----
C	3.154	-----	-----
ROTOR		-----	-----

Tabla 3.6 Resultados de la prueba de Resistencia Óhmica

Prueba de Descargas en la ranura

El objetivo de esta prueba es evaluar la actividad por efecto corona o descarga parcial externa en la región de la ranura con la finalidad de monitorear el comportamiento del revestimiento exterior semiconductor graduador de campo eléctrico. Este tipo de descarga ocurren en la superficie de la bobina tiene un contacto deficiente con el acero de la ranura. Para las mediciones de Descargas a la Ranura se utilizó la fuente de frecuencia variable.

Se interconectaron las tres fases del Generador, por lo que la fuente se ajustó a una frecuencia de 39.8 Hz con arreglo paralelo. Se energizo con 8.66 KV con un tiempo de estabilización de 90 minutos antes de iniciar las mediciones. Los valores máximos se registraron en las ranuras 105, 118 y 307, las magnitudes corresponden para aislamientos en buen estado de conservación. Área: Oficina de Sistemas Eléctricos Informe No. K3332-019 / 15 Pagina 5 de 44.

EQUIPO DE PRUEBA				OBSERVACIONES		
Detector de descargas superficiales en bobina		MARCA:	ADWELL	Estabilización 90 minutos @ 8.66 kV.		
MODELO:	PPM-97	No. SERIE:	053002	Mediciones en cabezal superior.		
Fuente de Alta Tensión, Resonante en Frecuencia.		Mca.	IIE	Frecuencia resonante de la fuente 39.8 Hz.		
MODELO:	EGCH-50	SERIE:	*****			
TENSION DEL EQUIPO:	50	KVCA	FREC.:	30-300	Hz	
PROBO				FECHA		
<p style="text-align: center;">Federico Álvarez Morales</p> <hr/> <p style="text-align: center;">NOMBRE Y FIRMA</p>				2018	MAYO	04
				Año	Mes	Día

Figura 3.40 Equipo para la realización de la prueba de descarga en la ranura del estator.

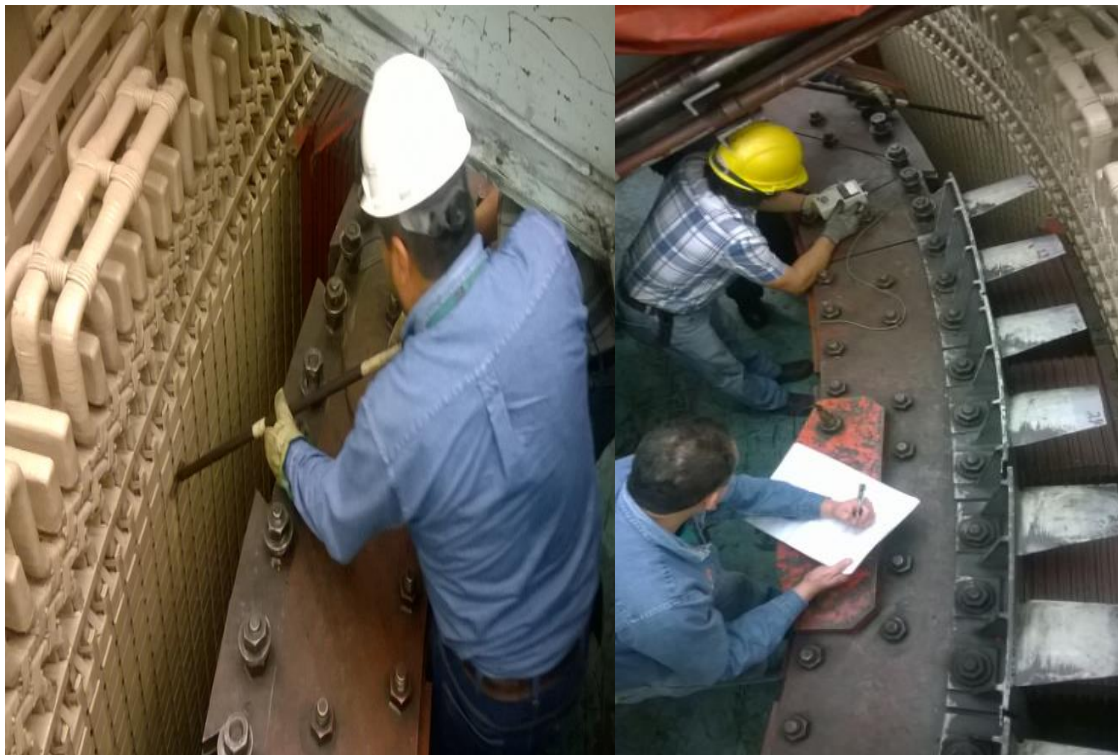


Figura 3.41 Realizando pruebas al estator LAPEM con ayuda del departamento eléctrico

No	TRIFASICA				TRIFASICA				TRIFASICA				TRIFASICA			
	Ranura No.	Descarga (mA)		Ranura No.	Descarga (mA)		Ranura No.	Descarga (mA)		Ranura No.	Descarga (mA)		Ranura No.	Descarga (mA)		
		L. Exc.	L. Turb.		L. Exc.	L. Turb.		L. Exc.	L. Turb.		L. Exc.	L. Turb.		L. Exc.	L. Turb.	
1	97	3.4	---	121	2.2	---	145	1.6	---	169	4.8	---	---	---	---	
2	98	5	---	122	1.4	---	146	1.8	---	170	2	---	---	---	---	
3	99	3	---	123	1.8	---	147	0.8	---	171	1.8	---	---	---	---	
4	100	3	---	124	6.4	---	148	3	---	172	2	---	---	---	---	
5	101	2.8	---	125	2	---	149	1	---	173	3	---	---	---	---	
6	102	0.8	---	126	2	---	150	1.4	---	174	1.4	---	---	---	---	
7	103	0.8	---	127	2	---	151	1.4	---	175	3.6	---	---	---	---	
8	104	1	---	128	2.6	---	152	1.6	---	176	2	---	---	---	---	
9	105	11	Paq. 3	129	4.2	---	153	2	---	177	2.8	---	---	---	---	
10	106	2.6	---	130	2.6	---	154	0.8	---	178	1.2	---	---	---	---	
11	107	1.8	---	131	1	---	155	1.8	---	179	1.4	---	---	---	---	
12	108	1.8	---	132	3	---	156	1	---	180	1	---	---	---	---	
13	109	2.8	---	133	2.2	---	157	1.4	---	181	3.4	---	---	---	---	
14	110	2.4	---	134	2.8	---	158	1.6	---	182	1.8	---	---	---	---	
15	111	5	---	135	2	---	159	2.6	---	183	3	---	---	---	---	
16	112	4	---	136	1.6	---	160	1.6	---	184	1.4	---	---	---	---	
17	113	3.8	---	137	0.8	---	161	1	---	185	2	---	---	---	---	
18	114	1.8	---	138	1.2	---	162	2	---	186	2	---	---	---	---	
19	115	2.6	---	139	1	---	163	1.6	---	187	4.2	---	---	---	---	
20	116	3	---	140	2.4	---	164	2.4	---	188	4.6	---	---	---	---	
21	117	2.6	---	141	1	---	165	3.4	---	189	2	---	---	---	---	
22	118	18	Paq. 3	142	0.8	---	166	1.6	---	190	2	---	---	---	---	
23	119	3.8	---	143	1.4	---	167	1.4	---	191	1.4	---	---	---	---	
24	120	3.4	---	144	1.6	---	168	1	---	192	2	---	---	---	---	

Tabla 3.7 Resultado de la prueba de descarga en la ranura

En los resultados las ranuras 105 y 118 están en observación, se le realizara una inspección y mantenimiento más profundo.

Conclusiones

En base al protocolo de pruebas aplicado en apego a la normativa IEC e IEEE indicada como referencia, se considera que:

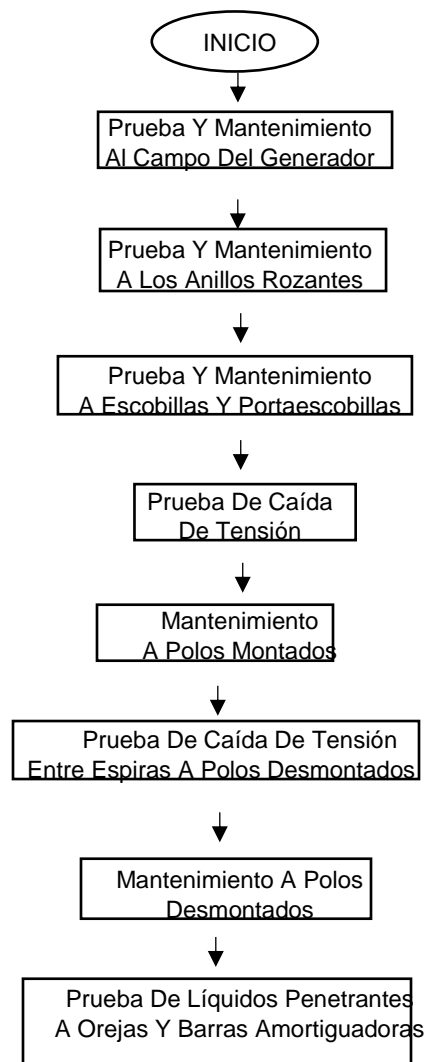
En el total de las mediciones realizadas se obtuvieron resultados satisfactorios, lo cual indica un buen estado de conservación de los devanados y aislamientos.

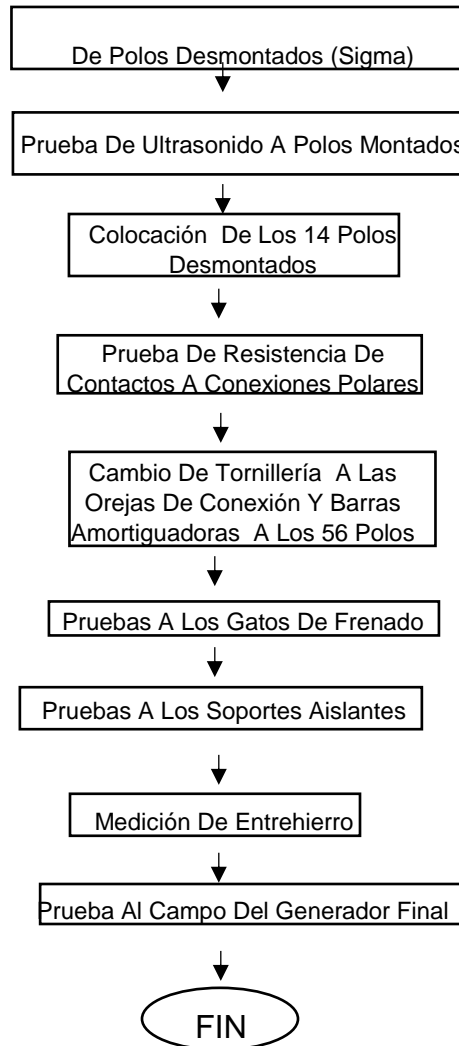
Con la prueba de Alta Tensión aplicada se confirmó que el estado general de los aislamientos del estator es satisfactorio, ya que durante su aplicación no se generaron fallas ni cambios significativos en la corriente. Es decir, la operación del Estator se puede realizar de manera confiable.

3.2 Pruebas y Mantenimiento al rotor de la unidad N° 3

Una de las partes principales con las que cuenta el generador eléctrico síncrono es el rotor que está conformado por los anillos rozantes, barras de excitación y los polos que van montados al rotor, los cuales se les realizan unas series de pruebas eléctricas al inicio del mantenimiento para comparar con las pruebas después de su mantenimiento y determinar el estado del equipo para que pueda seguir trabajando con su operación nominal y tener continuidad en el servicio.

La unidad N° 3 cuenta con 56 polos salientes los cuales forman parte del rotor que se les realizó a cada elemento pruebas eléctricas para saber en qué condiciones se encuentran antes de iniciar con las actividades de mantenimiento. Las pruebas y mantenimientos que se realizaron al rotor por parte del departamento eléctrico son:





Esquema 3.2 Descripción de actividades a realizar

También se realizó un protocolo de pruebas eléctricas por parte del Laboratorio de Pruebas para Equipos y Materiales (LAPEM). Las pruebas que realizó LAPEM son: Serie de pruebas con el rotor estático:

- RESISTENCIA DE AISLAMIENTO
- RESPUESTA AL IMPULSO DE BAJA TENSIÓN A POLOS
- IMPEDANCIA ESTÁTICA

Serie de pruebas con el rotor girando:

- IMPEDANCIA DINÁMICA CON VOLTAJE Y VELOCIDAD GRADUAL ; Z & V
- IMPEDANCIA DINÁMICA A VELOCIDAD NOMINAL; Z & R.P.M
- RESPUESTA AL IMPULSO DE BAJA TENSIÓN A ROTOR (R.P.M)

Todas las pruebas mencionadas por parte del departamento eléctrico y de LAPEM se explicarán detalladamente, ya que este tema de residencia servirá como un

seguimiento, historial y bitácora para llevar un control más confiable de la unidad generadora.

Teoría general de prueba resistencia de aislamiento.

Como sabemos que es aislamiento es la parte más vulnerable de un circuito eléctrico por lo cual tiene que realizarse pruebas eléctricas en este caso es la prueba de resistencia para el aislamiento es una de las pruebas más comunes que se le hace a un aislante y este consiste en determinar el contenido de humedad o suciedad presente en el aislamiento.

Corriente de Fuga: Es la que fluye sobre la superficie del aislamiento. Esta corriente al igual que la Corriente de Conducción irreversible, permanece constante y ambas constituyen el factor primario para juzgar las condiciones del aislamiento.

Absorción dieléctrica: La resistencia de aislamiento (R.A) varía directamente con el espesor del aislamiento e inversamente al área del mismo; cuando repentinamente se aplica una tensión de corriente directa a un aislamiento, la resistencia se inicia con un valor bajo y gradualmente va aumentando con el tiempo hasta estabilizarse. Graficando los valores de resistencia de aislamiento contra tiempo, se obtiene una curva denominada de absorción dieléctrica; indicando su pendiente el grado relativo de secado y limpieza o suciedad del aislamiento.

Si el aislamiento esta húmedo o sucio, alcanzara un valor estable en uno o dos minutos después de haber iniciado la prueba y como resultado se obtendrá una curva con baja pendiente.

La pendiente de la curva puede expresarse mediante la relación de dos lecturas de resistencia de aislamiento, tomadas a diferentes intervalos de tiempo, durante la misma prueba.

A la relación de 60 a 30 segundos se le conoce como "Índice de Absorción", y a la relación de 10 a 1 minuto como "Índice de Polarización". Los índices mencionados, son útiles para la evaluación del estado del aislamiento de devanados de transformadores de potencia y generadores.

Método de la prueba de Resistencia de aislamiento

La prueba de resistencia de aislamiento consiste en aplicar una tensión de prueba durante un período de 10 minutos, tomando lecturas a 15, 30, 45 y 60 segundos, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 minutos.

Su principal aplicación es en transformadores de potencia y en grandes máquinas rotatorias como el generador, dadas sus notables características de absorción.

Aplicando un voltaje de 500 VCD al campo del generador. Ya terminada la prueba se diagnostica si hay resistencia de aislamiento bajo de lo establecido por la norma IEEE Std. 43-2000 dice que recomienda un índice de polarización (relación 10/1) mínimo de 2.

Dado que el material con que está hecho el aislamiento de los devanados y del campo del generador es a base de cinta de fibra de vidrio, cinta de mica, resina epoxica, la clasificación que tiene este aislamiento es de la clase "F" que es un aislamiento interno por lo cual suele ser delicado, como se encuentra en un ambiente húmedo este absorbe esa humedad y altera sus propiedades, también los cambios de temperatura que hace que el aislamiento tiende a envejecerse más rápido. Otros factores que afecta al aislamiento son la suciedad, grasa, polvo de balata, los sobrevoltajes, las sobrecorrientes o causas mecánicas.

Prueba de campo al generador

La prueba de campo consiste en diagnosticar el valor de resistencia del aislamiento de los anillos rozantes, barras de excitación y los polos montados del rotor todo en conjunto, para determinar si estos elementos se encuentran con humedad, suciedad, o deteriorado por los cambios de temperatura.

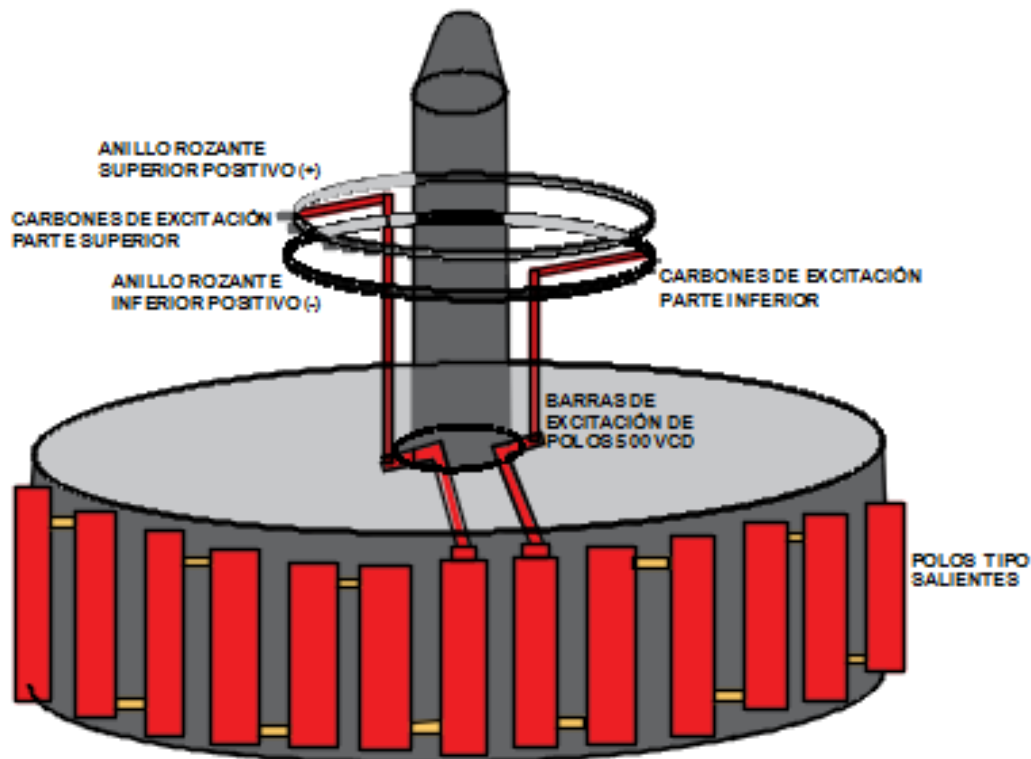


Figura 3.42 Campo del generador

Cada anillo cuenta con 20 carbones tanto en la parte superior lado positivo como la inferior que es la parte negativa. El generador se excita con corriente directa por los

carbones y el voltaje aplicado es de 500VCD. A continuación la imagen donde se aprecia los anillos con los carbones fuera de su base.

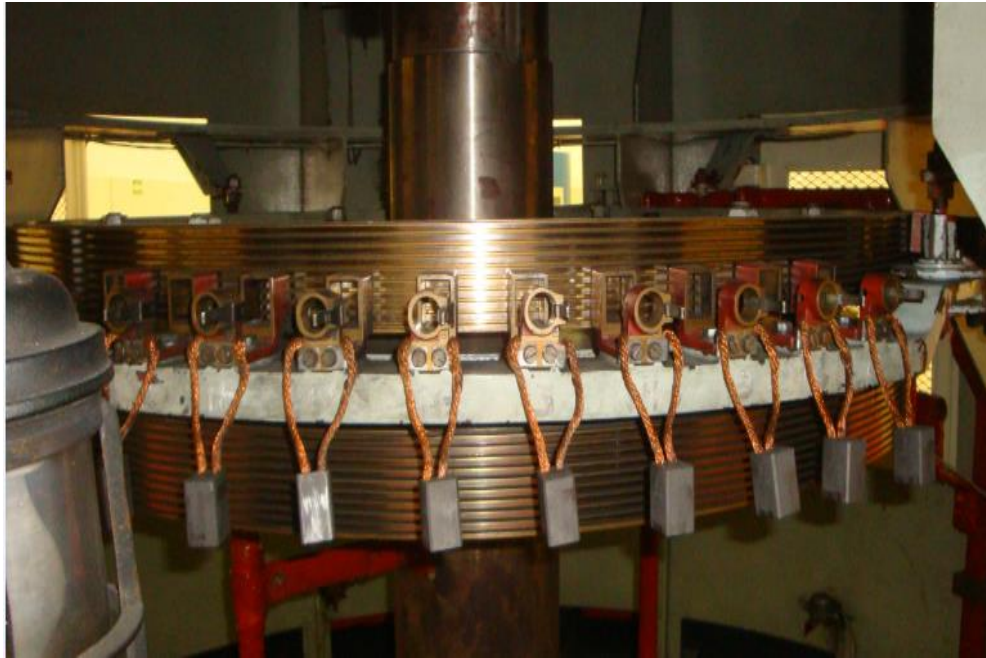


Figura 3.43 Carbones fuera de su base para realizar prueba de campo de generador



Figura 3.44 Pivote del carbón

Ya desconectado todos los carbones se procede a conectar el equipo de prueba de resistencia de aislamiento, la prueba se realiza puenteando los anillos rozantes con un caimán- caimán. El medidor de resistencia de aislamiento en sus terminales de prueba son pinzas así que da la facilidad que solo se preñe con la parte a probar.

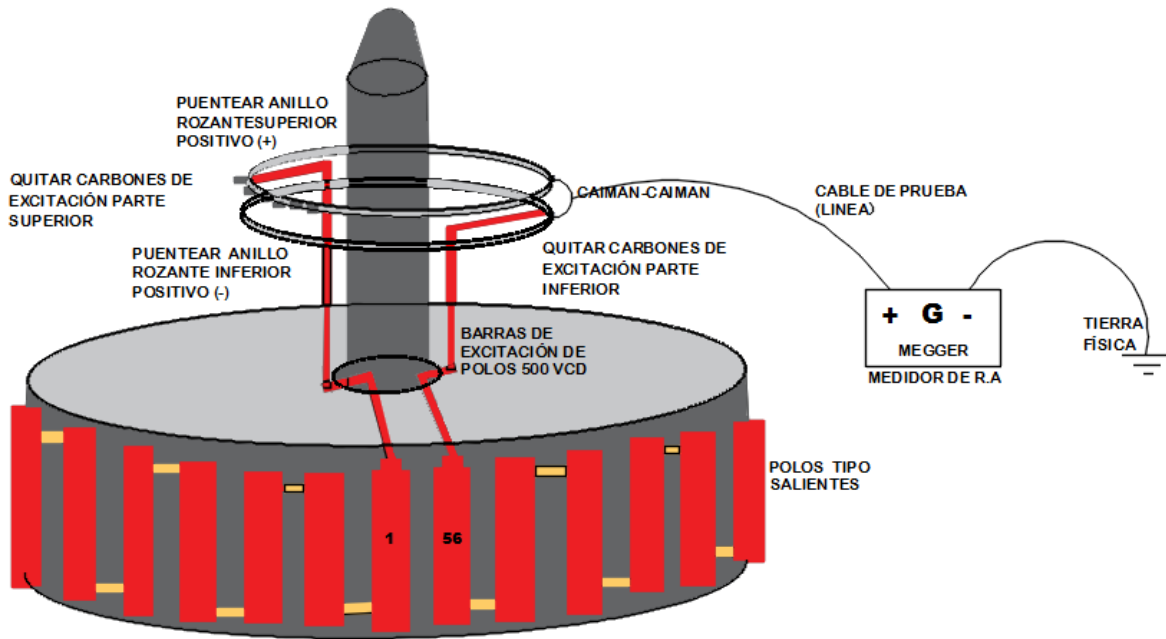


Figura 3.45 Conexión del medidor de R.A al campo de generador



Figura 3.46 Iniciando prueba de campo del generador

Como vemos en la figura se conecta la punta de prueba positiva (línea) del medidor de R.A a los anillos rozantes ya cortocircuitado para que prueba sea completa, y

la parte negativa del medidor se le conectó a una tierra física, Al campo del generador se le aplico un voltaje de 500 VCD.

La prueba es durante 10 minutos. Al término de la prueba se verificó los resultados y se observó que el campo del generador salió con un índice de polarización menor de 2% de acuerdo con la norma.

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

SUBGERENCIA REGIONAL NOROESTE
CENTRAL HIDROELECTRICA MALPASO
MEDICION DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

DEPTO. DE MANTTO. ELECTRICO C.H. MALPASO FECHA 19.04.2018
EQUIPO: GENERADOR MARCA ASEA No. SERIE 5798244
VOLTAJE 15,000 KVA 218,000/225,000 FREQ 60HZ RPM 128.57
CONEXION ESTRELLA

TIEMPO DE OPERACION _____ CLASE DE AISLAMIENTO "F"

PARTE PROBADA	CAMPO DEL GENERADOR U-3											
	500 VCD											
CONEXION DE PRUEBA	LINEA			LINEA			LINEA			LINEA		
	GUARDA			GUARDA			GUARDA			GUARDA		
	TIERRA			TIERRA			TIERRA			TIERRA		
	LECT.	K	M Ω	LECT.	K	M Ω	LECT.	K	M Ω	LECT.	K	M Ω
15 SEG	345		M Ω									
30 SEG	531		M Ω									
45 SEG	647		M Ω									
1 MIN	734		M Ω									
2 MIN	954		M Ω									
3 MIN	1.07		G Ω									
4 MIN	1.16		G Ω									
5 MIN	1.24		G Ω									
6 MIN	1.29		G Ω									
7 MIN	1.33		G Ω									
8 MIN	1.38		G Ω									
9 MIN	1.41		G Ω									
10 MIN	1.43		G Ω									
RELAC 3/1												
RELACION 10/1	1.95											

TEMPERATURA OBTENIDA CON: _____

DESCRIBA EQUIPO INCLUIDO EN LA PRUEBA: _____

OBSERVACIONES: 50.0 NF MEGGER No. MIT1020/2 10KV

RANGO: 0 A 1 T Ω

REVISO: JESUS ALONSO OCAÑA ROQUE PROBO: RODRIGO RODRIGUEZ CHAVARRIA

Figura 3.47 Resultado de la prueba de R.A al campo del generador

Como la prueba de campo salió bajo de acuerdo a la norma se le hará por partes para saber que elemento del campo del generador esta con el aislamiento en baja resistividad, se desconectó los anillos rozantes, las barras de excitación y los polos, para entonces diagnosticar que elemento posiblemente este dañado y repararlo. Primero se hizo la prueba de R.A a los anillos rozantes, se desconectó de las barras de excitación de ambos lados y se empezó a conectar el equipo y realizar la prueba durante 10 min. Los resultados de la prueba salieron con un aislamiento alto, en la tabla se observa los resultados que se dieron en el orden de los Megaohms.

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

SUBGERENCIA REGIONAL NORORESTE
CENTRAL HIDROELECTRICA MALPAGO
MEDICION DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

DEPTO. DE MANTTO. ELECTRICO UNIDAD 3 FECHA 21.04.2018

EQUIPO: GENERADOR MARCA ASEA No. SERIE 5798244

VOLTAJE 15,000V KVA 218 - 225 FREC 60HZ RPM 128.57

CONEXIÓN DELTA Y ESTRELLA

TIEMPO DE OPERACIÓN 55 AÑOS CLASE DE AISLAMIENTO "F"

PARTE	ANILLOS ROZANTES					
PROBADA						
VOLTAJE PRUEBA	500 V					
CONEXIÓN DE PRUEBA	LINEA	LINEA	LINEA	LINEA	LINEA	LINEA
	GUARDA	GUARDA	GUARDA	GUARDA	GUARDA	GUARDA
	TIERRA	TIERRA	TIERRA	TIERRA	TIERRA	TIERRA
	LECT.	K	M	LECT.	K	M
15 SEG	320		MΩ			
30 SEG	325		MΩ			
45 SEG	328		MΩ			
1 MIN	332		MΩ			
2 MIN	325		MΩ			
3 MIN	315		MΩ			
4 MIN	304		MΩ			
5 MIN	303		MΩ			
6 MIN	302		MΩ			
7 MIN	306		MΩ			
8 MIN	301		MΩ			
9 MIN	300		MΩ			
10 MIN	306		MΩ			
RELAC 3/1						
RELACION 10/1	0.92					

TEMPERATURA OBTENIDA CON: _____

DESCRIBA EQUIPO INCLUIDO EN LA PRUEBA: _____ RESISTENCIA DE AISLAMIENTO Y CABLES DE PRUEBA

OBSERVACIONES: 3.65 Mf MEGGER No. MIT 520/2

RANGO: 0 A 10Ω

REVISO: SERGIO A. MUANGOS VILLATORO PROBO: FILEMON ALVAREZ

I-2149-DE01-R-01

Figura 3.48 Resultado de la prueba de R.A a los anillos rozantes

Los resultados de la prueba realizada fueron satisfactorios de acuerdo a la tendencia de los resultados.

Después de la prueba se desconecta el equipo y se procede a realizarle su respectivo mantenimiento a los anillos rozantes, para la limpieza se le aplico un líquido llamado dielectrón. Este sirve como un buen detergente para remover partículas de polvo o residuos, por su fácil evaporación y se utiliza en la limpieza de equipos eléctricos.



Figura 3.49 Solvente Dieléctrico

Antes de aplicar el dielectrón se debe limpiar el equipo con trapos secos o con un removedor de suciedad para poder aplicar el dieléctrol y mejorar la limpieza.



Figura 3.50 Mantenimiento a los anillos rozantes con dieléctrol

Luego se le hizo medición a los carbones de excitación. Un carbón tiene como medida 5 cm cuando esta nuevo y cuando el carbón está desgastado y llega a medir 3.5 o 3.6 cm el carbón debe ser retirado y cambiado por uno nuevo. Ya que estos se desgastan por la fricción con los anillos rozantes.

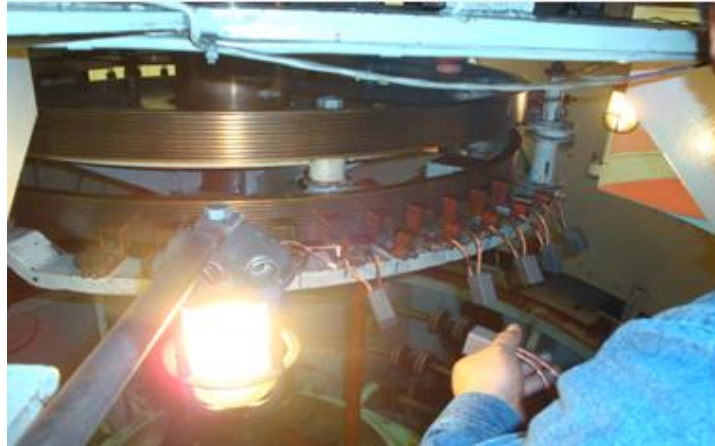


Figura 3.51 Medición de carbones y reemplazo

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
CENTRAL HIDROELÉCTRICA MALPASO
DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO

**REPORTE DE CAMBIO DE CARBONES DE LOS ANILLOS ROZANTES
DE LA UNIDAD # 3**

FECHA: 22.04.2018

ANILLO SUPERIOR

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
4.0	3.9	4.0	3.8	4.0	3.8	3.8	3.9	4.0	3.8	4.0	4.2	4.2	4.1	4.0	4.0	4.2	4.3	4.3	4.3

ANILLO INFERIOR

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
4.1	4.1	4.0	4.1	4.1	4.1	4.2	4.3	4.3	4.3	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.3	3.5	3.6
										5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0

OBSERVACIONES:
Nota: SE CAMBIARON CARBONES DEL 11 AL 20 EN ANILLO INFERIOR

TIPO DE MANTENIMIENTO

MAYOR MENOR RUTINARIO CORRECTIVO

AUTORIZO JESUS OCAÑA ROQUE REALIZO FILEMON ALVAREZ CAMACHO

I-2149-DE01-R-03

Figura 3.52 Cambio de carbones de la unidad 3



Figura 3.53 Carbón en el límite de su medida 3.6 cm



Figura 3.54 Carbón nuevo medida real de 5 cm

Después de haberle realizado pruebas, limpieza y cambiado algunos carbones se termina el mantenimiento a los anillos rozantes.

Pruebas y mantenimiento a barras excitadoras del campo de generador

Se inicia con la desconexión de las barras de excitación lado de conexiones de los polos 1 y 56 para poder sacar las barras de excitación para realizarle pruebas eléctricas.



Figura 3.55 Desmontaje de las barras de excitación

Luego de la desconexión y desmontaje de las barras de excitación se realiza pruebas de resistencia de aislamiento a las barras de excitación. Por lo cual se tienen que desmontar del generador porque se le hará con un procedimiento distinto, ya que las barras tienden hacer como un cable en la forma que tiene un conductor y forro, por lo cual se necesita ponerle una tierra física con papel aluminio y sería imposible ponerle aluminio en su posición en la que se encuentra. Para poder realizar la prueba de resistencia de aislamiento a las barras se necesitó papel aluminio comercial este simulará ser la tierra física para realizar la prueba.



Figura 3.56 Comparación del cable con barra de excitación y barra de excitación forrado con papel aluminio.

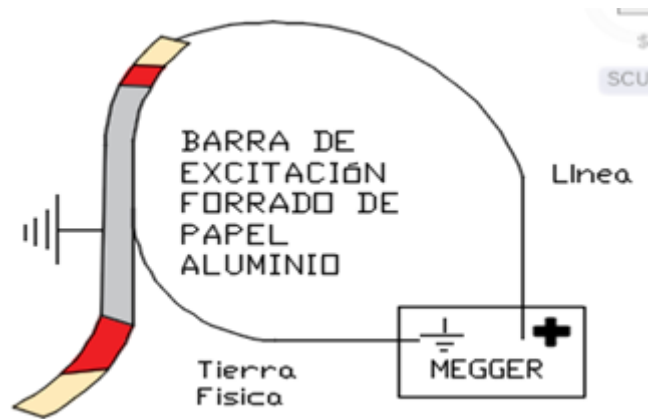


Figura 3.57 Conexión del Megger a la barra de excitación

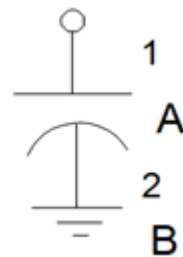


Figura 3.58 Circuito equivalente de un cable

A esta prueba se le aplica un voltaje de 500 VCD, ya desmontado las barras de excitación se precede hacerle la prueba con el medidor de resistencia de aislamiento.



Figura 3.59 Prueba de R.A con las barras envueltas de papel aluminio

En la prueba realizada las barras de excitación salieron un una resistencia baja por lo que se tendrá que cambiar el aislamiento de ambas barras de excitación por que se veían además deterioradas.



Figura 3.60 Quitando aislamiento de las barras de excitación

Se procede a quitarle el aislamiento a las barras de excitación por el caso que en pruebas se diagnosticó que el aislamiento tenga impregnado imperfecciones o que el aislamiento ya este deteriorado por los cambios de temperatura.



Figura 3.61 Barra de excitación sin aislamiento

Es muy importante la seguridad del trabajador al realizar cualquier trabajo pero al extraer el aislamiento en un lugar cerrado y sin ventilación es peligroso ya que el aislamiento está hecho de fibra de vidrio y este material al quitarlo lo hacen con un esmeril y lijas esto hace que en el ambiente cerrado se disperse partículas de fibra de vidrio y el trabajador lo puede aspirar o las personas cercanas al área de trabajo por lo cual se debe de usar un equipo de protección personal.

Prueba de líquidos penetrantes.

Se procedió hacerle una prueba llamada líquidos penetrantes al cobre para esta prueba determina si las barras de cobre no se encuentren fisurados de sus dobleces o con restos de carbón también en sus dobleces (esta prueba no es destructiva).



Figura 3.62 Aplicación de la prueba de líquidos penetrantes

Esta prueba se realiza de la siguiente manera:

Primer paso: se tiene que lijar la parte a probar para que el líquido aplicado tenga una mejor penetración al material.

Segundo paso: limpiar con un paño semi húmedo las barras de cobre para quitar cualquier imperfección que quedo al lijar.

Tercer paso: se aplica el solvente de forma directa con un rociador de lata como pintura en cada dobles de las barras de cobre y se espera por un lapso de 15 minutos para que el líquido penetre si es que hay una fisura.

El resultado se da cuando la sustancia aplicada en las barras este seco y visiblemente se puede observar que en donde haya una fisura en esa parte se mirará un color rojizo y si no hay fisura se verá el mismo color que cuando lo estaban aplicando el líquido.



Figura 3.63 Prueba satisfactoria

Como se puede observar en la figura la prueba de líquidos penetrantes en las barras de cobre salieron satisfactorias ya que no se encontraron fisura o poros que puedan provocar un deterioro más prolongado a las barras de excitación. Una vez acabada la prueba se limpiaron las barras con thinner para proceder a colocarle el nuevo aislamiento.



Figura 3.64 Colocación de cinta de mica con resina y cinta de fibra de vidrio.

Procedimiento para la colocación del nuevo asilamiento se explica a continuación.

El material que se usó:



Figura 3.65 Cinta de fibra de vidrio



Figura 3.66 Cinta de mica



Figura 3.67 Resina epoxica transparente y catalizador

Después se procede a encintar las barras de excitación primero se le da a cada barra de cobre de lado a lado 12 vuelta de cinta de mica, cada vuelta que se le da con la cinta se le adhiere la resina epoxica para una mejor impregnación de la cinta.



Figura 3.68 Colocación de cinta de mica

Después de acabar las doce vuelta con la cinta de mica sigue la cinta de fibra de vidrio ya que esta cinta es más resistente a la humedad, residuos de polvo, voltajes y corrientes son tres vueltas que se le pasa a la barra de cobre.



Figura 3.69 Aplicación de la resina epoxica

Después de acabar el encintado de las cintas y de la resina se tiene que aplicar barniz aislante este sirve para reforzar y hacer más uniforme el aislamiento para no dejar burbujas o poros que puedan afectar al aislamiento durante la operación de la unidad.



Figura 3.70 Aplicación del barniz aislante base 35

Después de haber barnizado las barras de excitación se procede a secarlas con un método que se llama Secado este consiste en secar la resina y pintura aplicada en las barras de cobre esto se logra mediante resistencias calefactoras.

Y focos incandescentes en un lugar aislado de ambiente para encerrar la temperatura y que el aislamiento seque correctamente.

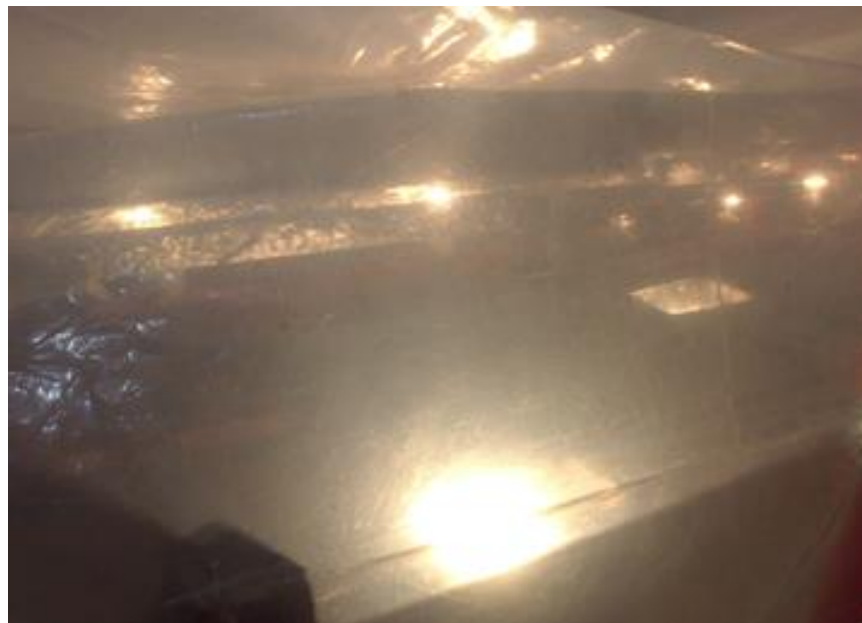


Figura 3.71 Barras de excitación sometidas a temperatura por el método de secado

Después del secado se le hace otra prueba de resistencia de aislamiento para determinar si el aislamiento de las barras aumento gradualmente con la prueba anterior.



Figura 3.72 Realización de la prueba de resistencia de aislamiento al aislamiento nuevo

La prueba de resistencia de aislamiento resulto muy favorable ya que se reemplazó el aislamiento viejo y en las pruebas eléctricas salió con un índice de polarización mayor de 2.

Se volvieron a volver a poner en su lugar de nuevo.



Figura 3.73 Colocación de las barras de excitación

Prueba de caída de tensión

Para la realización de esta prueba la unidad tienen destapada como las tapas antiderrapantes, las tolvas de fibra de vidrio, haber desconectados los carbones de los anillos rozantes para que no haya fallas durante la prueba y tener una mejor medición. Esta prueba se realiza para diagnosticar posibles fallas en los polos salientes del rotor, por ejemplo si un polo esta aterrizado con una falla franca a tierra o con falla no franca a tierra o también para saber si el circuito de los polos está abierto ya que estos están conectados en serie. Y esta prueba puede detectar estas anomalías.

La prueba de caída de tensión es efectiva y puede compararse los resultados de un polo a otro polo en los resultados dados. Este método es empleando un voltímetro ya sea digital o analógico y dos desarmadores o dos puntas que sean de metal para que logren hacer un buen contacto con el polo a probar y sea una buena medición, lo que se tiene que hacer es alargar más las puntas del voltímetro ya que los polos son de longitud larga y no dan las puntas de pruebas

Por eso se tienen que poner las puntas o desarmadores para que se pueda realizar la prueba. En la figura se observa el dibujo y el diagrama de los polos conectados en serie.

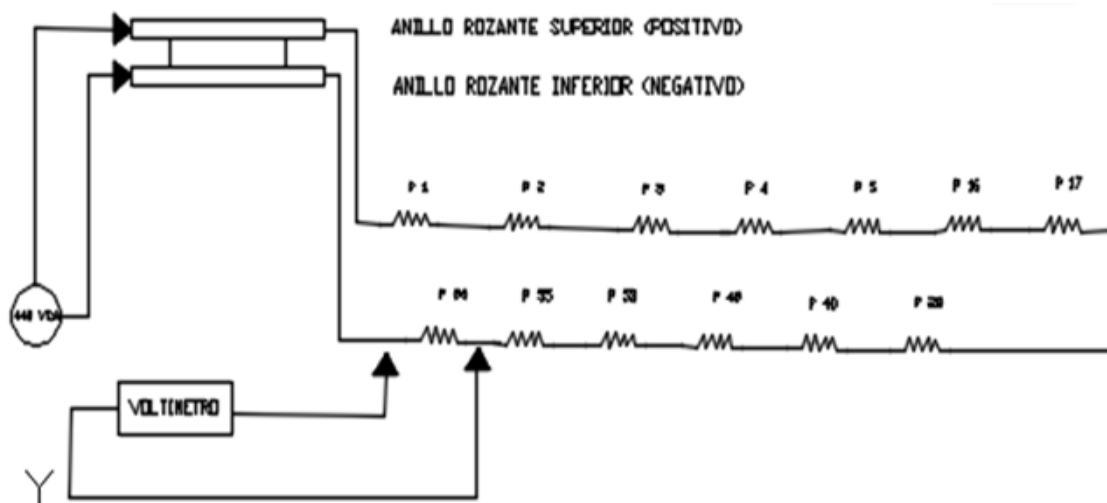


Figura 3.74 Polos conectados en serie con una tensión de prueba 440 VCA.

Desde los anillos rozantes se aplicó una tensión de prueba de 440 VCA. La caída de tensión entre los polos fue teóricamente de:

$$\frac{440 \text{ vca}}{56 \text{ polos}} = 7.85 \text{ volts}$$

Pero el voltaje que daba la fuente era de 435.2 la cual fue la correcta para hacer la relación de caída de tensión entre los polos del rotor.

$$\frac{435.2 \text{ vca}}{56 \text{ polos}} = 7.77 \text{ volts}$$

Este resultado teórico es el valor que deben de dar cada uno de los 56 polos. Pero antes de realizar la prueba se verifica que no esté ningún carbón conectador hacia los anillos rozantes para luego aplicarle voltaje.



Figura 3.75 Colocación del potencial para la prueba en corriente alterna

Luego de la conexión de los cables se prueba desde el interruptor principal ya que la fuente fue bifásica se verifico con un multímetro el potencial.



Figura 3.76 Verificación del potencial aplicado

Luego de ese paso se puso en cerrado el interruptor para que se energizaran los polos y hacer la medición de la caída de tensión. Después un par técnicos realizan la prueba, uno de ellos tiene que estar en la parte de abajo donde se encuentra la parte inferior de los polos en este caso el técnico se encuentra en el piso de generador y el otro se queda en la parte superior del polo que se encuentra en el piso de excitatriz. Cada uno con una punta de prueba del voltímetro.



Figura 3.77 Equipo de medición

Con motivo que hay mucho ruido en el piso de excitatriz se utilizaron radios portátiles para la comunicación entre los técnicos y saber si ya colocó la punta de prueba en la oreja polar el técnico que se encuentra en la parte de abajo y así poner la otra punta el otro técnico que se encuentra en la parte de arriba. Mientras que otro técnico detiene el multímetro y chequea si hay potencial ya que en caso que no se manifestará el voltaje por el comunicador se le avisa el técnico que no está haciendo un buen contacto.



Figura 3.78 Medición de caída de tensión

Otro técnico apunta en una hoja de pruebas en formato oficial los resultados que dieron las mediciones. Se empezó a realizarse esta prueba desde el polo 1 hasta el polo 56. Después se hizo una verificación y se determinó que el polo N° 35 salió con un voltaje bajo de lo normal, lo cual se procedió a desmontarlo del rotor para hacerle una verificación con otras pruebas eléctricas.

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

SUBGERENCIA REGIONAL NOROESTE
CENTRAL HIDROELÉCTRICA MALPASO
DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO

PRUEBA DE CAIDA DE TENSIÓN POLOS DE UNIDAD No # 3
19-ABRIL-2018

VOLTAJE DE PRUEBA: 440 VCA (435.2) CORRIENTE DE PRUEBA: 2.4 amp A. SUP
2.4 amp A. SUP

POLO #	VOLT.	POLO #	VOLT	POLO#	VOLT.
1	7.63	21	7.81	41	7.82
2	7.67	22	7.73	42	8.01
3	7.94	23	7.68	43	7.87
4	7.93	24	8.05	44	7.78
5	7.63	25	8.10	45	8.01
6	7.56	26	7.78	46	8.03
7	7.71	27	7.76	47	7.68
8	7.70	28	8.00	48	7.59
9	7.67	29	7.96	49	7.83
10	7.98	30	8.08	50	7.77
11	8.03	31	8.85	51	7.67
12	7.75	32	8.48	52	7.93
13	7.68	33	8.11	53	7.91
14	7.85	34	6.36	54	7.68
15	7.68	35	5.02	55	7.64
16	7.71	36	6.58	56	7.71
17	8.01	37	8.03		
18	7.96	38	8.35		
19	7.54	39	8.36		
20	7.59	40	7.91		

REALIZO

VERIFICO

RODRIGO RODRIGUEZ (9B9C3)

JESUS OCAÑA ROQUE

Tabla 3.8 Resultados de la prueba de caída de tensión.

Y el polo # 47 se encontró con una parte fisurada en la barra amortiguadora, por ese motivo también se tendrá que desmontar y reemplazar la barra amortiguadora la cual se tiene que desoldar y colocar otra que esté en condiciones favorables.

Desmontajes de polos

Para el desmontaje de los polos es necesario varios técnicos en este caso lo realiza un técnico superior con mucha experiencia para dirigir la maniobra porque es una parte muy delicada ya que los polos están conectados en serie por las orejas

polares estas al izarlas pueden golpearse con el polo de alado o con otro objeto del rotor y dañar la conexión polar.

El cual se realizó una serie de pasos para extraer los polos a los cuales se les dieron mantenimiento. Los polos que se desmontaron fueron los polos: 6, 7, 8, 20, 21, 22, 32, 34, 35, 36, 47, 48, 49, 50. Con el apoyo del departamento mecánico quitar los ventiladores del rotor y aspas fijas, excepto las aspas inferiores del rotor.



Figura 3.79 Quitando aspas de ventilación

Desconectar las conexiones eléctricas y bobinas de los polos que se van a retirar utilizando llave española, matraca y dado de 14 mm.

Para efectuar la desconexión del devanado amortiguador en las unidades de la primera etapa 1 a 4 la medida de las llaves es de 19 mm. Durante la desconexión del polo lado turbina el espacio de trabajo es reducido por lo que se deberá asegurar que la fuerza que se ejerza solo en la tornillería para aflojar tornillos. No se deberá aplicarse en toda la conexión polar (orejas) ya que esto puede provocar su deformación.

Se introduce con la ayuda de la grúa viajera el dispositivo para la extracción del polo utilizado para sujetarlo firmemente, en este punto asegurarse que la placa inferior del dispositivo queda correctamente alineada con la parte inferior del polo, posteriormente colocar la placa superior del dispositivo y efectuar el apriete del mismo atornillando las barras de sujeción con una llave perica de 18" y apertura de 2 ½". Enseguida tensar la maniobra de extracción del polo levantando de manera pulsada el gancho de izaje de la grúa, para poder retirar el ventilador inferior del polo y colocar el dispositivo en forma de cuña que evita el deslizamiento de la contra cuña del polo.

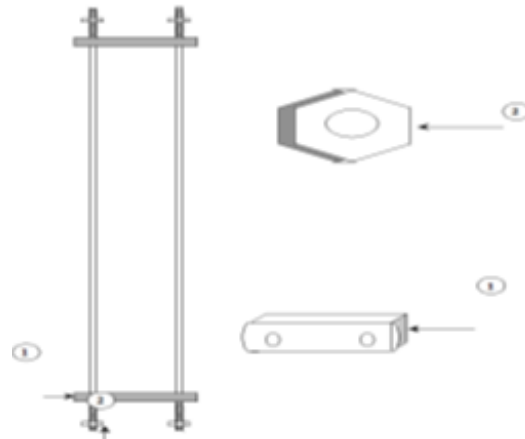


Figura 3.80 Equipo para izar los polos



Figura 3.81 Desmontaje del polo No 35

Colocar en el área de extracción del polo varios tipos de botadores cortos y largos para retirar la cuña y contra cuña que están alojados en la cola de milano del polo y que son utilizados para fijarlo al rotor. Con la ayuda de botadores cortos y un marro 18 libras, se golpea hasta aflojar la cuña, una vez aflojada se procede a colocar un botador más largo hasta que la cuña caiga en la parte inferior del polo.



Figura 3.82 Golpeteo con marro a las cuñas que aprietan a los polos

Con una pinza de presión se extraen la contra cuña para liberar el polo, y se marcan con cinta "maskin-tape" y marcador de tinta permanente a que número de polo pertenecen. Luego se le realiza su mantenimiento que solo es ligarlo y limarlo en la parte superior.



Figura 3.83 Identificación de las cuñas y contracuñas de los polos extraídos y su respectivo mantenimiento.

Izar el polo hasta que sobresalga aproximadamente la mitad de su longitud sobre la llanta del rotor, enseguida colocarle el dispositivo que va sujetado a la placa superior del dispositivo de extracción y a la cola de milano del polo para evitar algún deslizamiento durante su traslado al área de mantenimiento. Una vez extraído el polo se procede a extraer la cuña de fondo marcándola correctamente.

Durante el ascenso inicial del polo y hasta su posición final se debe asegurar que no se pierda la posición de las conexiones (orejas) del polo de tal forma que no se doblen, golpeen o deformen. Si es indispensable despegar las dos conexiones esta no deberá ser mayor a cinco milímetros y guiar al polo mientras se despegar de su conexión.

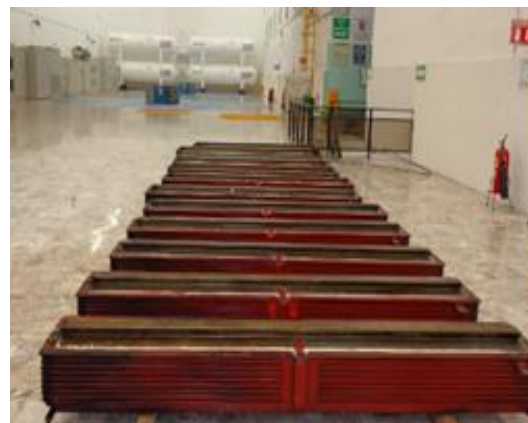


Figura 3.84 Izaje del polo no 35 y polos desmontados

Se fueron quitando los 14 polos que solamente 2 estaban con anomalías pero se tuvieron que sacar más polos para tener en equilibrio en la parte del rotor y no tener descompensada la masa rotativa ya que si no se sacan esos polos puede causar una deformación en el eje central del rotor ya que cada polo pesa aproximadamente 2.35 toneladas suficiente para desestabilizar o desequilibrar la masa rotativa.

Primero se le dio prioridad a los polos 35 y 47 para que se les realice sus pruebas y mantenimiento en el caso del polo 35 se le debe de hacer una prueba que se llama caída de tensión entre espiras y el polo 47 se le debe de desoldar y mandarle a fabricar de nuevo la barra amortiguadora que se fisuró.



Figura 3.85 Barra Amortiguadora Fisurada

Se tiene que desensamblar el polo ya que cuenta con una un núcleo y una bobina polar porque como el núcleo se verá sometido a temperaturas altas puede dañar la bobina polar.



Figura 3.86 Despiece del polo No 35

A este polo se desmonto y se le puso en un soporte para que sea más factible la maniobra para desoldar la barra amortiguadora.



Figura 3.87 Masa comestible para atrapar el calor durante la extracción de la barra amortiguador.

Para desoldar la barra fisurada se tiene que poner masa de maíz esto sirve para atrapar o disipar el calor que se va estar concentrando en el núcleo polar y como son láminas de 1mm y entre placa y placa del núcleo hay un aislante que es resina este con una temperatura alta se puede evaporar o derretir y con riesgo que las placas del núcleo vayan a quedar cortocircuitadas por lo tanto hay que prevenir ese incidente.

Luego con ayuda de departamento mecánico se empieza a desoldar la barra ya que esta soldada con fundente de plata y se necesita a un soldador con experiencia para hacer este trabajo.



Figura 3.88 Desoldado de la barra amortiguadora

Mientras que el soldador calienta la barra otro trabajador le hace palanca para que salga más rápido y no se caliente el núcleo y la bobina polar. Una vez retirada la barra e su lugar también se quita la masa.



Figura 3.89 Núcleo polar sin la barra amortiguadora

Mientras tanto se le dio su respectivo mantenimiento a la bobina polar desmontada y también al núcleo del polo 47.



Figura 3.90 Mantenimiento a polo 47

El mantenimiento se basa más es limpiar al polo con un trapo impregnado con dieléctrol para sacarle suciedad, después se empieza a pintar con barniz aislante de color rojo con una brocha de 1" pulgada, se deja que se seque por un día.

Se diseña la barra amortiguadora del polo en AutoCAD 2015 ya que no se tiene ningún diseño para mandarlo hacer y se debe de diseñar a la barra quitada ya que es su medida real para que no haya problemas geométricos al poner la barra nueva.

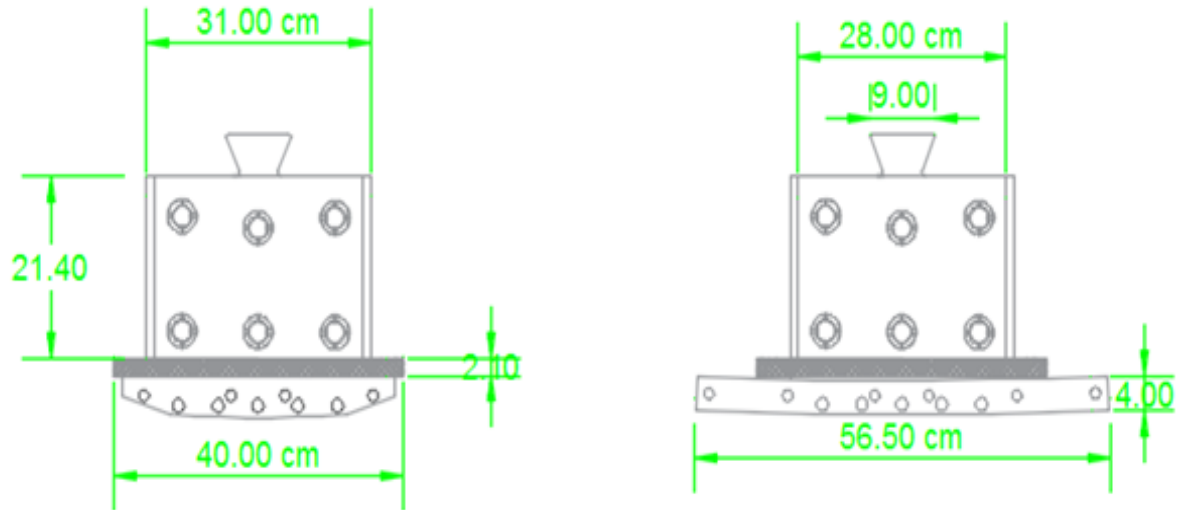


Figura 3.91 Diseño del núcleo polar con medidas reales

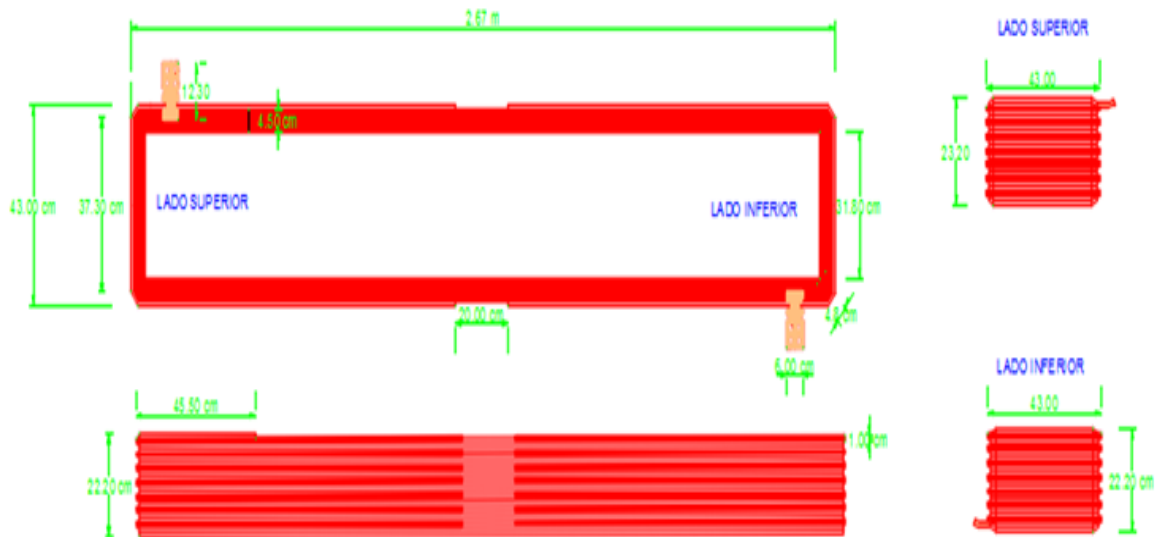


Figura 3.92 Diseño del núcleo polar con medidas reales

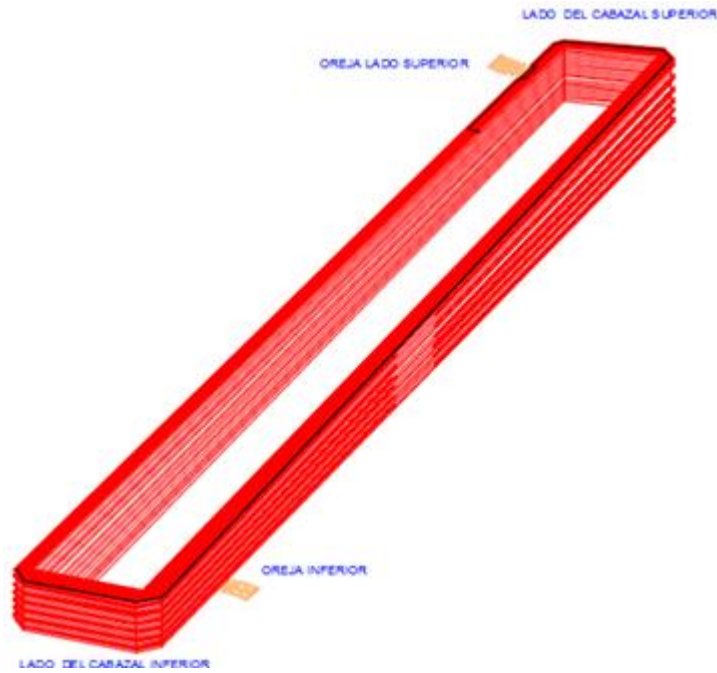


Figura 3.93 Diseño de la bobina polar del polo de la primera etapa

Después de que se llevó a fabricar la barra amortiguadora se instaló otra vez al núcleo del polo con ayuda del depto. Mecánico para soldar con soldadura de plata la barra amortiguadora quedando listo y seguir avanzando con los demás polos del generador.



Figura 3.94 Rehabilitación de la barra amortiguadora



Figura 3.95 Barra colocada y pintada con barniz aislante, colocación de la bobina polar con su cinturón de agarre

Pruebas y Mantenimiento a polos desmontados.

Los polos de la unidad 3 se verificaron en qué condiciones estaban y se le realizaron pruebas de resistencia de aislamiento a los polos desmontados, esta prueba se le realiza para verificar la lectura inicial y luego comparar con la lectura final después de haber le echo el mantenimiento a cada polo desmontado.

Se inicia a darle pruebas a los polos desmontados del generador y se le dio prioridad a hacerle pruebas eléctricas al polo No 35 ya que este polo salió anormal en la prueba de caída de tensión se le va verificar con otra llamada caída de tensión entre espiras de la bobina polar.

En esta prueba consiste en aplicarle un voltaje de prueba de 220 VCA para checar en un voltímetro cuánto hay de caída en cada embobinado del polo. La bobina polar cuanta con 22 espiras.



Figura 3.96 Prueba de caída de tensión entre espiras al polo 35

El resultado de la prueba fueron los siguientes. Como la bobina polar cuenta con 22 espiras a todas se le hace la medición de caída de tensión. También se le hicieron pruebas a todos los polos desmontados.

PRUEBA DE CAIDA DE TENSION DE POLOS POR ESPIRAS
UNIDAD: 3

VOLTAJE DE PRUEBA: 220 VCA

CORRIENTE DE PRUEBA: 1.2 AMP

POLO No.50	VOLT.	POLO No.	VOLT.	POLO No.	VOLT.
1 - 2	44.5	1 - 2		1 - 2	
2 - 3	46.9	2 - 3		2 - 3	
3 - 4	49.2	3 - 4		3 - 4	
4 - 5	51.3	4 - 5		4 - 5	
5 - 6	52.8	5 - 6		5 - 6	
6 - 7	54.5	6 - 7		6 - 7	
7 - 8	55.8	7 - 8		7 - 8	
8 - 9	56.6	8 - 9		8 - 9	
9 - 10	57.6	9 - 10		9 - 10	
10 - 11	61.5	10 - 11		10 - 11	
11 - 12	58.4	11 - 12		11 - 12	
12 - 13	62.3	12 - 13		12 - 13	
13 - 14	59.2	13 - 14		13 - 14	
14 - 15	58.7	14 - 15		14 - 15	
15 - 16	58.9	15 - 16		15 - 16	
16 - 17	61.5	16 - 17		16 - 17	
17 - 18	57.6	17 - 18		17 - 18	
18 - 19	57.1	18 - 19		18 - 19	
19 - 20	59.0	19 - 20		19 - 20	
20 - 21	54.8	20 - 21		20 - 21	
21 - 22	54.0	21 - 22		21 - 22	
22 - 1	1.229	22 - 1		22 - 1	

REALIZÓ:

JONATHAN NUÑES B.

APROBO:

SERGIO A. MIGANGOS V.

Tabla 3.9 Resultados de la prueba de caída de tensión entre espiras

VOLTAJE DE PRUEBA: 220 VCA

CORRIENTE DE PRUEBA: 1.2 AMP

POLO No. 35	VOLT.	POLO No.8	VOLT.	POLO No. 32	VOLT.
1 - 2	50.2	1 - 2	44.1	1 - 2	45.9
2 - 3	52.5	2 - 3	46.4	2 - 3	48.2
3 - 4	54.8	3 - 4	48.8	3 - 4	50.8
4 - 5	56.7	4 - 5	50.7	4 - 5	52.6
5 - 6	58.2	5 - 6	52.2	5 - 6	54.0
6 - 7	59.8	6 - 7	53.9	6 - 7	55.5
7 - 8	61.1	7 - 8	55.1	7 - 8	56.9
8 - 9	61.9	8 - 9	56.0	8 - 9	57.7
9 - 10	63.1	9 - 10	57.0	9 - 10	58.8
10 - 11	63.7	10 - 11	57.7	10 - 11	59.5
11 - 12	64.0	11 - 12	58.2	11 - 12	59.7
12 - 13	64.5	12 - 13	58.5	12 - 13	60.2
13 - 14	64.6	13 - 14	58.6	13 - 14	60.2
14 - 15	64.2	14 - 15	58.2	14 - 15	59.9
15 - 16	64.1	15 - 16	58.2	15 - 16	59.8
16 - 17	63.7	16 - 17	57.8	16 - 17	59.3
17 - 18	62.9	17 - 18	57.0	17 - 18	59.7
18 - 19	62.4	18 - 19	56.5	18 - 19	57.9
19 - 20	61.2	19 - 20	54.2	19 - 20	56.9
20 - 21	59.9	20 - 21	54.2	20 - 21	55.6
21 - 22	58.9	21 - 22	53.4	21 - 22	54.7
22 - 1	1.213	22 - 1	1.198	22 - 1	1.196

REALIZÓ:

JONATHAN NUÑES B.

APROBO:

SERGIO A. MIGANGOS V.

Tabla 3.10 Resultados de la prueba de caída de tensión entre espiras

PRUEBA DE CAIDA DE TENSION DE POLOS POR ESPIRAS
UNIDAD: 3

VOLTAJE DE PRUEBA: 220 VCA CORRIENTE DE PRUEBA: 1.2 AMP

POLO No. 36	VOLT.	POLO No.22	VOLT.	POLO No.49	VOLT.
1 - 2	43.4	1 - 2	48.6	1 - 2	45.8
2 - 3	45.9	2 - 3	50.9	2 - 3	48.2
3 - 4	48.1	3 - 4	53.2	3 - 4	50.7
4 - 5	50.0	4 - 5	55.2	4 - 5	52.7
5 - 6	51.5	5 - 6	56.7	5 - 6	54.2
6 - 7	53.1	6 - 7	58.4	6 - 7	56.0
7 - 8	54.4	7 - 8	59.8	7 - 8	57.2
8 - 9	55.2	8 - 9	60.6	8 - 9	58.0
9 - 10	56.5	9 - 10	61.8	9 - 10	59.2
10 - 11	57.0	10 - 11	62.4	10 - 11	59.8
11 - 12	57.3	11 - 12	62.6	11 - 12	60.0
12 - 13	57.8	12 - 13	63.2	12 - 13	60.8
13 - 14	58.0	13 - 14	63.1	13 - 14	60.9
14 - 15	57.6	14 - 15	62.8	14 - 15	60.4
15 - 16	57.7	15 - 16	62.8	15 - 16	60.5
16 - 17	57.2	16 - 17	62.3	16 - 17	60.1
17 - 18	56.3	17 - 18	61.4	17 - 18	59.1
18 - 19	55.8	18 - 19	60.9	18 - 19	58.6
19 - 20	54.9	19 - 20	60.0	19 - 20	57.7
20 - 21	53.6	20 - 21	58.6	20 - 21	56.3
21 - 22	52.8	21 - 22	56.7	21 - 22	55.4
22 - 1	1.193	22 - 1	1.247	22 - 1	1.254

REALIZÓ: JONATHAN NUÑES B. APROBO: SERGIO A. MIGANGOS V.

Tabla 3.11 Resultados de la prueba de caída de tensión entre espiras

CENTRAL HIDROELECTRICA MALPASO
DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO ELECTRICO

PRUEBA DE CAIDA DE TENSION DE POLOS POR ESPIRAS
UNIDAD: 3

VOLTAJE DE PRUEBA: 220 VCA CORRIENTE DE PRUEBA: 1.2 AMP

POLO No. 34	VOLT.	POLO No. 20	VOLT.	POLO No. 21	VOLT.
1 - 2	49.2	1 - 2	43.3	1 - 2	49.7
2 - 3	51.5	2 - 3	45.7	2 - 3	52.1
3 - 4	53.8	3 - 4	48.1	3 - 4	54.5
4 - 5	55.8	4 - 5	50.1	4 - 5	56.5
5 - 6	57.3	5 - 6	51.6	5 - 6	58.0
6 - 7	59.0	6 - 7	53.4	6 - 7	59.8
7 - 8	60.3	7 - 8	54.7	7 - 8	61.2
8 - 9	61.1	8 - 9	55.5	8 - 9	61.8
9 - 10	62.2	9 - 10	56.7	9 - 10	63.0
10 - 11	62.7	10 - 11	57.4	10 - 11	63.6
11 - 12	63.1	11 - 12	57.7	11 - 12	63.9
12 - 13	63.5	12 - 13	58.2	12 - 13	64.4
13 - 14	63.7	13 - 14	58.3	13 - 14	64.6
14 - 15	63.2	14 - 15	57.9	14 - 15	64.1
15 - 16	63.1	15 - 16	58.1	15 - 16	64.2
16 - 17	62.9	16 - 17	57.6	16 - 17	63.5
17 - 18	61.8	17 - 18	56.7	17 - 18	62.5
18 - 19	61.4	18 - 19	56.3	18 - 19	62.1
19 - 20	60.5	19 - 20	55.3	19 - 20	61.2
20 - 21	59.1	20 - 21	53.9	20 - 21	59.7
21 - 22	58.3	21 - 22	53.1	21 - 22	58.9
22 - 1	1.250	22 - 1	1.250	22 - 1	1.270

REALIZÓ: JONATHAN NUÑES B. APROBO: SERGIO A. MIGANGOS V.

Tabla 3.12 Resultados de la prueba de caída de tensión entre espiras

Como la prueba salió con buenos resultados se procede a darle mantenimiento a todos los polos desmontados.



Figura 3.97 Desarmado de polo 35 para darle mantenimiento

El polo se desarmó para realizarle un mantenimiento más completo



Figura 3.98 Limpieza a la bobina polar

Una vez quedando listo el polo 35 se le dio mantenimiento a los 12 polos desmontados pero ante se le realizo una prueba de caída de tensión a todos.



Figura 3.99 Verificación del resultado de la prueba de R.A.

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

SUBGERENCIA REGIONAL NOROESTE
CENTRAL HIDROELECTRICA MALPASO
MEDICION DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

DEPTO. DE MANTTO. ELECTRICO POLOS U-3 FECHA 27.04.2018
EQUIPO: MARCA No. SERIE
VOLTAJE KVA FREC 60HZ RPM
CONEXIÓN

TIEMPO DE OPERACIÓN CLASE DE AISLAMIENTO

PARTE PROBADA	POLO #32 P. DESPUES			POLO #8 P. DESPUES			POLO 35 DESPUES								
	LECT.	K	M Ω	LECT.	K	M Ω	LECT.	K	M Ω	LECT.	K	M Ω	LECT.	K	M Ω
VOLTAJE PRUEBA	500 VCD			500 VCD											
CONEXIÓN DE PRUEBA	→ LINEA			LINEA			LINEA						LINEA		
	GUARDA			GUARDA			GUARDA						GUARDA		
	→ TIERRA			TIERRA			TIERRA						TIERRA		
15 SEG	10.3		GΩ	16.6		GΩ	12.1		GΩ						
30 SEG	15.3		GΩ	26.6		GΩ	19.4		GΩ						
45 SEG	18.1		GΩ	32.0		GΩ	23.4		GΩ						
1 MIN	20.1		GΩ	35.6		GΩ	26.2		GΩ						
2 MIN	25.1		GΩ	44.1		GΩ	31.2		GΩ						
3 MIN	27.8		GΩ	48.0		GΩ	34.0		GΩ						
4 MIN	29.5		GΩ	51.1		GΩ	35.8		GΩ						
5 MIN	30.8		GΩ	52.9		GΩ	37.2		GΩ						
6 MIN	31.9		GΩ	54.6		GΩ	38.2		GΩ						
7 MIN	32.6		GΩ	55.7		GΩ	39.1		GΩ						
8 MIN	32.6		GΩ	56.7		GΩ	39.6		GΩ						
9 MIN	33.2		GΩ	57.6		GΩ	40.2		GΩ						
10 MIN	34.1		GΩ	58.4		GΩ	40.4		GΩ						
RELAC 31															
RELACION 101	1.69			1.64			1.56								

TEMPERATURA OBTENIDA CON:
DESCRIBA EQUIPO INCLUIDO EN LA PRUEBA: EQUIPO DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO Y COLILLAS DE CONEXIÓN

OBSERVACIONES: MEGGER No. MIT 1020/2
 RANOC 0 A 1TD

REVISO: SERGIO A. MIJANGOS VILLATORO PROBO: JONATHAN NUÑES B.

I-2149-DF01-R-01

Figura 3.100 Prueba de R.A. polos desmontados



Figura 3.101 Limpieza de polos desmontados

Ya estando revisado los polos es colocado en los bancos de hierro se le realiza la limpieza, antes de empezar se le quitan los tornillos superiores y los dos tornillos del lado extremo que se encuentra presionado el dicho, como se observa en la figura.

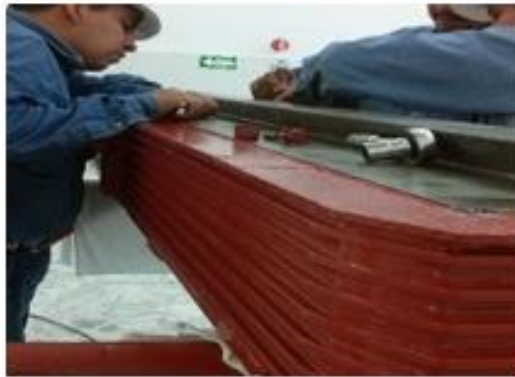


Figura 3.102 Mantenimiento de polos desmontados

Se quita el anillo aislante superior, esto se hace introduciendo una punta de desarmador entre bobinas y el aislante presionado hacia arriba y girando por todo alrededor hasta extraerlo, con el cuidado de no dañar el anillo como se muestra en la siguiente figura.



Figura 3.103 Quitando anillo aislante



Figura 3.104 Anillo aislante de la bobina polar

Una vez extraído el anillo aislante se le quita el silicón que tiene en su superficie con una caladora y el mismo procedimiento se le aplica para el silicón que queda entre la bobina y la masa polar.

Después de haber extraído los restos de silicón a ambas partes de proceder a limpiarlas con trapo, fibra y dieléctrol, el cuales un solvente dieléctrico que no daña los aislamientos ni el núcleo y tampoco los humedece, esto se hace para librar al polo del polvo y otras partículas que están adheridas a él, como se podría ser causa del polvo de balatas de frenado que tiene el generador, que con el paso de tiempo de estar impregnada el polvo se iría desgastando la vida útil de la máquina.



Figura 3.105 Estado de los polos extraídos

Como se puede apreciar el estado de los polos se encuentran un poco sucios esto es causado porque no estaba en buen funcionamiento el extractor de polvo de balata y el polvo que se genera queda impregnado en las bobinas polares.



Figura 3.106 Pintando anillo aislante de polo

Después de estar con la limpieza de los polos sigue el siguiente paso que es el de pintar las piezas de los polos, se pinta con barniz aislante el color de aislante es un color rojo como se observa en la siguiente figura.



Figura 3.107 Limpieza a los polos utilizando dieléctrol



Figura 3.108 Pintado de polo



Figura 3.109 Pintado de polo lado superior e inferior.

Al término de la limpieza y la pintada de los polos se le procede a armar conforme fueron dado mantenimiento, primero se le acomoda el núcleo del polo, se va colocando el núcleo para fijar el polo desarmado como se observa en la siguiente figura.



Figura 3.110 Acomodación de los polos desarmados

Se coloca la armadura del polo, siguiendo el procedimiento para fijar el núcleo como se observa en la siguiente figura.



Figura 3.111 Colocación de la bobina al núcleo polar



Figura 3.112 Maniobra de ajuste de polo.

En la colocación de los polos fue de mucha importancia la maniobra con la grúa viajera para colocar correctamente la fijación del polo, esta maniobra se realizó con cuidado para evitar alguna deformación geométrica.



Figura 3.113 Colocación del polo

Al realizar la colocación del polo se le aplica silicón alrededor del polo, esta aplicación es una mejor adhesión entre la bobina y el núcleo.



Figura 3.114 Ajuste de polo aplicando el silicón



Figura 3.115 Acoplado el polo

Colocando correctamente el polo se le fija el cinturón de apriete, cuidando que los tornillos queden correctamente apretados para evitar que se aflojen por el movimiento o la vibración magnética.



Figura 3.116 Apriete de polo

Con este mantenimiento realizado a los polos queda a servicio para utilizarlo, solo se procede a esperar a que el silicón endurezca o fije, gracias al cinturón de apriete es lo que hace que el polo quede en buenas condiciones. Mientras se acaban de limpiar todo los polos quedan listos y se colocan en un lugar donde no le llegue polvo y se cubren nylon para evitar que se ensucie.



Figura 3.117 Colocación de polo terminado



Figura 3.118 Polos listos cubiertos con nylon

Terminando el mantenimiento de los 14 polos extraídos del rotor, son nuevamente montados al rotor.



Figura 3.119 Prueba de resistencia de aislamiento a los polos corregidos

Una vez terminado el mantenimiento de los polos de prosigue a realizarle de resistencia de aislamiento, esta prueba a realizar es para verificar en qué condiciones quedaron los polos después de su mantenimiento.

Mantenimiento a polos montados al rotor.

Los polos montados también se le dieron mantenimiento en sitio, como estos no se desmontaron su mantenimiento no fue profundo pero eso no impidió darle un mantenimiento correcto.



Figura 3.120 Limpieza de los polos montados parte superior y aspas de ventilación.

Se inició con la limpieza a polos montados del rotor con trapos, brocha y dieléctrol. Se realiza limpieza a la parte superior de los polos montados con trapo impregnado de dieléctrol para una limpieza profunda.



Figura 3.121 Limpieza de polo parte superior

En la parte superior de los polos montados y aspas de ventilación fueron limpiados ya que estaban muy sucios por lo mismo que no hacía bien su función el extractor de polvo de balata y como las aspas de ventilación su función es ventilar por dentro del generador este levantaba las partículas de polvo de balata del frenado y se dispersaba por todo las partes del generador.



Figura 3.122 Limpieza en los costados de los polos

Se les dio mantenimiento a los polos montados en la parte superior y sucesivamente polo a polo luego de acabar en la parte superior enseguida sigue la parte inferior.



Figura 3.123 Se realiza limpieza a la parte inferior de los polos montados y aspas de ventilación

Se continúa con la limpieza a la parte inferior de los polos montados y aspas de ventilación.



Figura 3.124 Limpieza con una brocha

Montaje y conexión de polos extraídos.

Una vez concluido el mantenimiento a todos los polos, el siguiente paso es volverlos a colocar a su posición de origen. Es necesario la utilización de la grúa viajera quien un técnico superior estará al mando con sus demás compañeros. Con mucho cuidado para llevarlo de nuevamente al rotor para ser colocado en la posición que es correspondido del rotor como se ilustra en la siguiente imagen.

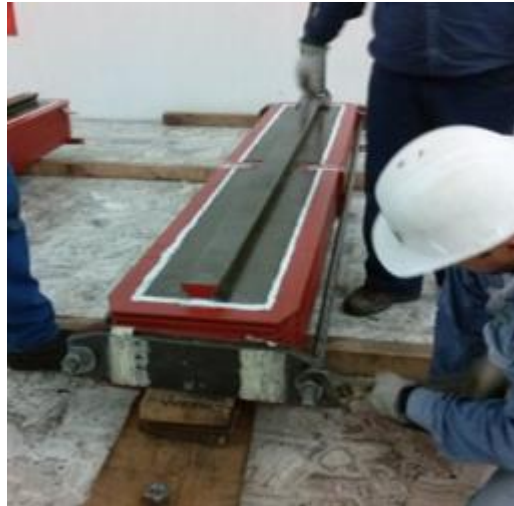


Figura 3.125 Ajustando el polo para ser trasladado en el rotor.

El polo es conducido hacia su respectivo lugar y se efectúa la maniobra para colocarlo, el técnico que utiliza la grúa tiene que tener mucho cuidado al bajar el polo, cuidando de que no baje con inclinaciones inapropiadas para evitar golpear el cabezal del estator esa parte lo ve el técnico que dirige la maniobra.

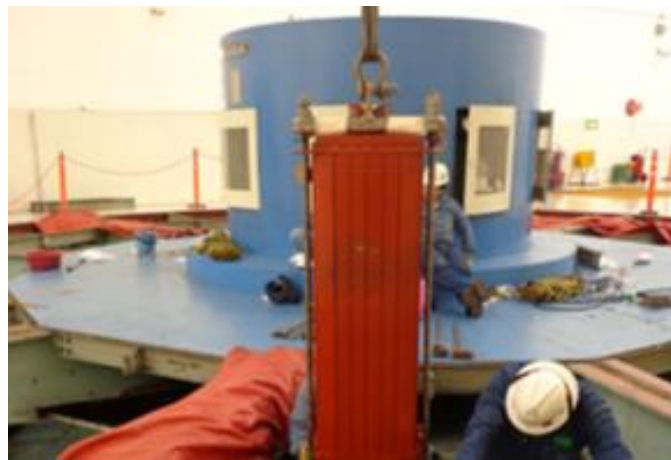


Figura 3.126 Polo movido con la grúa viajera.



Figura 3.127 Colocando el polo al rotor.

El acomodado el polo en su lugar, en el montaje del polo se realiza con mucho cuidado cada polo se encuentran enumerado en la parte del rotor para que no se encuentran con problemas en la colación.

Luego se desensambla la estructura que sirvió para izar el polo y se continúa bajando hasta llegar a colocarlo.



Figura 3.128 Quitando el mecanismo del polo.

Se colocan las cuñas, las cuales previamente se le realizaron mantenimiento y fueron reparados por los golpes con marro a la hora de extraerlo y también se les aplico una sustancia llamada antiderrapantes que evita la oxidación.



Figura 3.129 Colocación de la cuña de presión del polo.

Luego de haber puesto el polo se procede a poner las cuñas estos sirven para evitar movimiento del polo, luego ya puestas las cuñas una de ellas queda ligeramente a fuera por los que se le golpea con un marro para introducirla completamente.



Figura 3.130 Golpeando la cuña del polo.

Cuando la cuña ya está lista se quita el mecanismo se hace lo mismo con los siguientes polos a introducir en el rotor.



Figura 3.131 Quitando el mecanismo del polo.

Otro detalle que se debe de cuidar es no ir colocando los polos en forma consecutiva; es decir el en secuencias, debido a que si se colocan de esa manera se generaría un gran desbalance de peso (un polo pesa 2400 kg. Aproximadamente.) Y el rotor podría sufrir alguna deformación, para evitar esto se colocan dos polos consecutivos y los siguientes dos deben de estar ubicado más o menos a 180 grados de los anteriores; es decir deben de estar en lados opuestos. Al término de la colocación de todo los polos el siguiente paso es el de conectar las orejas de conexión y las barras amortiguadoras.

Conexión del devanado amortiguador y orejas de los polos.

Después de introducir todo los polos, el siguiente paso es conectar las barras del devanado amortiguador y las orejas conectoras de los polos. La barra amortiguadora de cada polo trae un orificio en el cual se atornillan dos barras pequeños de cobre, también se le pone una especie de seguro, que consiste en una lámina que se le dobla en dos de sus esquineros, para evitar que los tornillos se aflojen por el movimiento, esto se puede apreciar en la siguiente figura.



Figura 3.132 Conexión de las barras amortiguadoras

Cambio de tornillería

Se inicia el cambio de tornillería de orejas de polos y conexiones del devanado amortiguador. Las tuercas llevan teflón para un buen agarre con el tornillo y no se aflojen fácilmente.



Figura 3.134 Cambio de tornillería a todos los 56 polos

Con el cambio de tornillería en zona de polos (tornillería conexiones polares y devanado amortiguador) se asegura más las conexiones.



Figura 3.135 Apriete de tornillería nueva

Se continúa con el cambio de tornillería en zona de polos montados (tornillería conexiones polares y devanado amortiguador)



Figura 3.136 Tornillería nueva

Se continúa con el cambio de tornillería en parte superior de polos (tornillería conexiones Polares y devanado amortiguador).



Figura 3.137 Cambio de tornillería parte superior de polo

Se inicia la rehabilitación de la oreja de conexión parte superior del polo 35

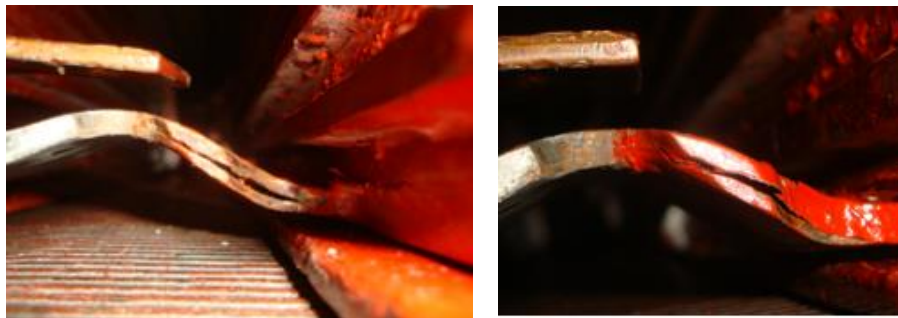


Figura 3.138 Oreja polar abierta

No hubo la necesidad de desmontar el polo 35 ya que se arregló en lugar. Se continúa con el cambio de tornillería en zona de polos montados (tornillería conexiones polares y devanado amortiguador) en la parte inferior del generador.



Figura 3.139 Conexión de barras amortiguadoras y orejas polares lado inferior

La cambiar la tornillería se encontró que el polo número 15 en la barra amortiguadora se encontró en mal estado lo que se procedió a desmontarlo del rotor para rehabilitarlo.



Figura 3.140 Barra amortiguadora en mal estado



Figura 3.141 Desmontaje de polo 15



Figura 3.142 Polo en rehabilitación



Figura 3.142 Barra amortiguadora rehabilitada

Se tuvo la necesidad de abocardar más el hueco del polo para insertarle una pieza circular de cobre y con soldadura de plata se soldó y el resultado fue que quedo en condiciones favorable. Luego se volvió a montar de nuevo al rotor.

Se continúa con el cambio de tornillería en zona de polos montados (tornillería conexiones polares y devanado amortiguador) en la parte inferior del generador.



Figura 3.143 Colocación de tornillería nueva en la parte inferior de los polos

Luego de haber colocado toda la tornillería se termina con el mantenimiento a los polos a continuación se le hará unas pruebas a las orejas de conexión para asegurar que están haciendo un buen contacto.

Prueba de resistencia de contactos

El óhmetro de baja resistencia es un instrumento que sirve para medir resistencias de contacto. Este dispositivo la prueba es en corriente directa, gracias de que no inyecta un voltaje alto pero si una corriente alta es posible que detecte las conexiones malas y el resultado es en micro-ohm.

Así que se procedió a realizarle pruebas a las orejas de conexiones polares y verificar que tanto contacto tienen. Se empezó en la parte superior de los polos hacer la prueba de resistencia.



Figura 3.144 Iniciando la prueba de resistencia de contacto en la parte superior

Se continúa con las pruebas de resistencia óhmica (Ducter) a las conexiones polares.

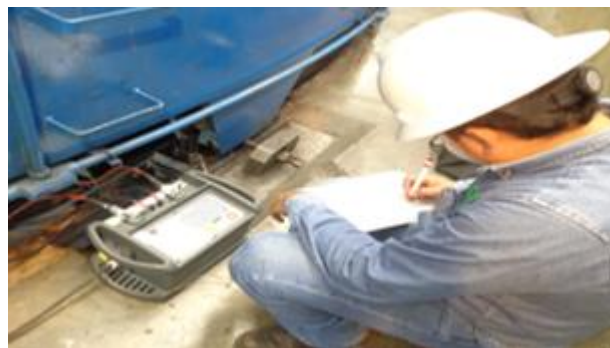


Figura 3.145 Se realizan pruebas con el Ducter para verificar el cierre de contactos.



Figura 3.146 Prueba de resistencia de contacto parte inferior



Figura 3.147 Conexión de los caimanes de prueba

Al término de la prueba los resultados son favorables no se encontraron fallas por conexiones polares.

POLO #	RESISTENCIA MEDIDA (mΩ)	CORRIENTE	POLO #	RESISTENCIA MEDIDA (mΩ)	CORRIENTE	POLO #	RESISTENCIA MEDIDA (mΩ)	CORRIENTE
1	6,238	10 AMP	21	6,682	10 AMP	41	6,581	10 AMP
2	6,605	10 AMP	22	6,45	10 AMP	42	6,559	10 AMP
3	6,41	10 AMP	23	6,462	10 AMP	43	6,513	10 AMP
4	6,54	10 AMP	24	6,585	10 AMP	44	6,37	10 AMP
5	6,387	10 AMP	25	6,404	10 AMP	45	6,495	10 AMP
6	6,47	10 AMP	26	6,384	10 AMP	46	6,475	10 AMP
7	6,357	10 AMP	27	6,349	10 AMP	47	6,316	10 AMP
8	6,556	10 AMP	28	6,265	10 AMP	48	6,417	10 AMP
9	6,389	10 AMP	29	6,318	10 AMP	49	6,300	10 AMP
10	6,443	10 AMP	30	6,39	10 AMP	50	6,316	10 AMP
11	6,534	10 AMP	31	6,553	10 AMP	51	6,301	10 AMP
12	6,387	10 AMP	32	6,679	10 AMP	52	6,400	10 AMP
13	6,528	10 AMP	33	6,28	10 AMP	53	6,304	10 AMP
14	6,639	10 AMP	34	6,451	10 AMP	54	6,368	10 AMP
15	6,45	10 AMP	35	6,579	10 AMP	55	6,440	10 AMP
16	6,412	10 AMP	36	6,518	10 AMP	56	6,423	10 AMP
17	6,665	10 AMP	37	6,528	10 AMP			
18	6,64	10 AMP	38	6,468	10 AMP			
19	6,622	10 AMP	39	6,525	10 AMP			
20	6,356	10 AMP	40	6,492	10 AMP			

Tabla 3.13 Resultados de la prueba de resistencia de contacto

En esta prueba todos las orejas de conexiones polares están en perfectas condiciones ya que el promedio del valor dado fue de 6.45 mΩ

Sistema de frenado

Como bien se sabe que el sistema de frenado es de suma importancia porque es el que se encarga de detener la unidad cuando se da orden de paro o también para una emergencia. Lo cual se le da mantenimiento en la parte eléctrica.



Figura 3.148 Se efectúa el mantenimiento a micros de gatos de frenado.

Los micros son unos relevadores que sirven para activar el freno de forma manual y remonta. Se cuenta con 8 gatos de frenados realiza mantenimiento a los micros de posición de los gatos de frenado # 4 y # 7. El mantenimiento solo es limpieza con trapos impregnado de dieléctrol y calibración de los mismos.



Figura 3.149 Limpieza a micros de frenado

Se efectúan pruebas de operación de gatos de frenado. Operación normal.



Figura 3.150 Verificaciones del frenado del generador

Se realiza aspirado, limpieza general y revisión física de objetos extraños en zona de llanta del rotor, piso falso y área de gatos de frenado.



Figura 3.151 Limpieza en pista de frenado.

Se efectúa mantenimiento al extractor de polvo de balatas, se monta tubería y mangueras (nuevas) área de gatos de frenado.



Figura 3.152 Limpieza al extractor de polvo de balata y filtro



Figura 3.153 Corte de ductos para residuos de polvo

De igual manera se limpió todos los ductos por donde pasa los residuos del polvo que suelta las balatas del frenado. Y se remplazó algunos ductos de manguera corrugada de 2 pulgadas por nuevas.

deteriorar por dentro la flecha y se va formando poros en pocas palabras la corriente va carcomiendo el material de la flecha hueca.

Se realizó una modificación del cableado de señalización para la medición de los 6 soportes aislantes de la U-3.



Figura 3.155 Soporte aislante

Se continúa con la reubicación del cableado correspondiente a los soportes aislantes de la chumacera guía generador de U-3.



Figura 3.156 Reubicación de cableado correspondiente a soportes aislantes de chumacera guía generador, fijación de tablillas y conexión de cableado en área de soportes.

Limpieza general al rotor

Se efectuó la limpieza en general del rotor para mantener en mejor condición la unidad.



Figura 3.157 Limpieza con dieléctrol y trapos a la llanta del generador

Esta limpieza es muy importante porque cuando la unidad este rodando se puede volver a levantar estas partículas de polvo de balatas y volver a ensuciar la parte del estator principalmente y puede provocar falla a tierra como el carbón es un conductor.

Prueba de Líquidos penetrantes (SIGMA)

Mientras se realizaba el mantenimiento el departamento eléctrico contrato a la empresa SIGMA especialista en pruebas de líquidos penetrantes y ultrasonido para que se realizaran pruebas a las orejas de conexión polar y a las barras amortiguadoras polos montados y desmontados del generador para descartar posibles fisuras del cobre.

CLIENTE:	COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD	FECHA:	10 de Mayo de 2018
PROYECTO:	MANTENIMIENTO MENOR U-3	HOJA:	6 DE 7
COMPONENTE:	OREJAS DE CONEXIÓN DE POLOS	ZONA INSPECCIONADA:	METAL BASE



RESULTADOS OBTENIDOS
COMO SE MUESTRA EN LAS IMAGENESSE OBSERVA LAS INDICACIONES ENCONTRADAS EN EL CUERPO DE LAS OREJAS

Figura 3.158 Pruebas de líquidos penetrantes a orejas y barras amortiguadoras de los polos desmontados del rotor.

Esta prueba se realiza mediante un aplicador de pintura como un aerosol, se rocía directamente al objeto como en la parte inferior como superior de la oreja o barra del polo y el tiempo de espera es de 15 minutos. Al término del secado se puede apreciar los resultados. En este caso no se encontraron fisuras en los 14 polos desmontados.

CLIENTE:	COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD	FECHA:	11 de Mayo de 2018
PROYECTO:	MANTENIMIENTO MENOR U-3	HOJA:	7 DE 7
COMPONENTE:	OREJAS DE CONEXIÓN DE POLOS	ZONA INSPECCIONADA:	METAL BASE



RESULTADOS OBTENIDOS

SE REALIZO ULTRASONIDO INDUSTRIAL(DETECTOR DE FALLAS) EN LAS OREJAS MONTADAS EN SU ZONA SUPERIOR E INFERIOR,NO ENCOTRANDO INDICACIONES RELEVANTES.

Figura 3.159 Prueba de ultrasonido a las orejas y barras de conexión de polos montados

Esta prueba consiste que por medio de un equipo de ultrasonido pueda diagnosticar posibles fisuras internamente en las orejas y barras polares. Dado por el espacio reducido en el generador (estator-rotor) es imposible aplicar la prueba de líquidos penetrantes por ese motivo se tiene que realizar la prueba de ultrasonido en las orejas de conexiones polares de los polos montados tanto en la parte superior (piso de excitatriz) como la parte inferior (piso de generador).

Pruebas LAPEM al rotor de la unidad N° #3

Las pruebas que realizó LAPEM al rotor fueron los siguientes.

PROTOCOLO DE PRUEBAS

Devanados de Campo	
Pruebas con Rotor Estático	Pruebas con Rotor Girando
• Resistencia de Aislamiento	• Impedancia Dinámica; z & rpm
• Impedancia Estática	• Impedancia Dinámica; z & v
• Respuesta al Impulso de Baja Tensión	• Respuesta al Impulso de Baja Tensión @ 128.57 rpm.
• Respuesta al Barrido de la Frecuencia	-----
• Resistencia Ohmica	-----

Figura 3.160 Todas las pruebas son bajo las siguientes normas.

Norma	Título
IEEE Std. 43-2000	Recomendaciones Prácticas para Pruebas de Resistencia de Aislamiento de Maquinas Rotatorias
IEEE Std. 56-1977	Guía para el Mantenimiento del Aislamiento de Grandes Maquinas Rotatorias
IEEE Std. 286	Recomendaciones Prácticas para Medición del Factor de Potencia Tip-Up del aislamiento de Bobina de Estator de Máquinas Rotatorias.
IEC 60894	Guía de Procedimientos de Prueba para la Medición de Pérdidas de Tangente sobre bobinas y barras para Devanados de Máquinas.
IEC 60270-2000	Medición de descargas parciales fuera de línea a aislamientos de devanados eléctricos de máquinas rotatorias
IEC 894	Guía de Procedimientos de Prueba para la Medición de Pérdidas de Tangente sobre bobinas y barras para Devanados de Máquinas.
IEEE Std 95™-2002	IEEE Recommended Practice for Insulation Testing of AC Electric Machinery (2300 V and Above) With High Direct Voltage

Figura 3.161 Pruebas en base a la IEEE, entre otras normas.

Generador Eléctrico	Marca:	ASEA	No. de Serie:	5798 244
Generador Enfriado por Aire				
218 / 225 MVA (80 / 86 °C)	kVA	Tipo:	GS 3925	
15 000	V	Aumento de temperatura	80 / 86 °C	
8 390 / 8 660	A	Conexión de estator:	Y	
0.95	F.P.	Clase de aislamiento:	F	
3	Fases	Tensión de excitación:	500	
60	Hz	Corriente de campo:	1 400	
128.57	rpm	No. de Serie:	5798243	
58	Polos	Fecha de fabricación:	1966	
Fabricado por ASEA Suecia 1966.				
Notas: 1. - Puesta en Servicio el 07-Abr-1969.				
2. - Redevanado en Febrero 2007.				

Figura 3.162 Descripción del equipo a probar

El punto donde se conectan a los anillos rozantes.

La medición de impedancia dinámica se realizó en do etapas.

- Primero se aplicó una tensión constante de 120v variando la velocidad de la maquina desde cero hasta la nominal (128.57), en escalones de 10 r.p.m.
- Una vez alcanzado la velocidad nominal se realizaron mediciones variando la tensión aplicada desde 10 hasta 120 V.C.A.

Se realizaron pruebas de respuesta a la frecuencia al impulso de baja tensión estando la unidad a velocidad nominal. A través de las escobillas instaladas en los anillos colectores. En 20 y 100 μ S, las gráficas registradas no muestran desviaciones, lo cual es satisfactorio.

Pruebas con el rotor estático

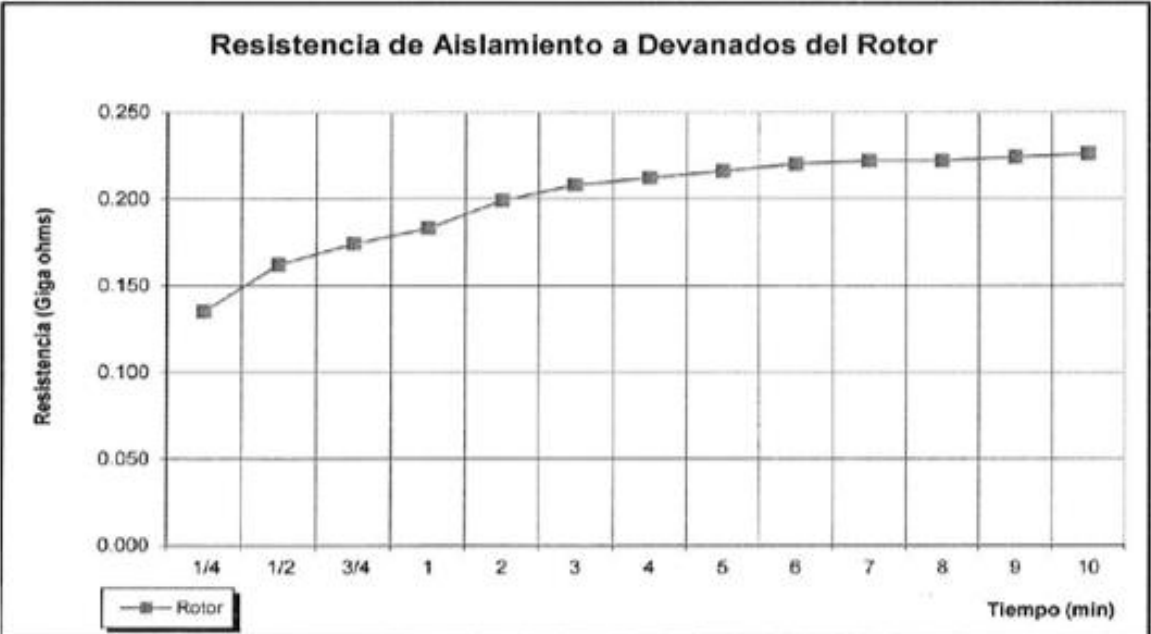
Los resultados de la medición de resistencia de aislamiento son satisfactorios e indican la ausencia de fallas a tierras.



Figura 3.163 Medición de resistencia de aislamiento en el campo del generador.

PRUEBA No.	1			2			3			4			5
TENSION DE PRUEBA A LÍNEA	5000 Vec			5000 Vec			5000 Vec						500 Vec
A TIERRA	FASE A			FASE B			FASE C						EXCITACIÓN
	FASES B Y C			FASES A Y C			FASES A Y B						FLECHA
TIEMPO (MINUTOS)	LECT.	K	GΩ	LECT.	K	GΩ	LECT.	K	GΩ	LECT.	K	GΩ	LECT. GΩ
1/4	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.135
1/2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.162
3/4	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.174
1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.183
2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.199
3	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.208
4	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.212
5	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.216
6	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.220
7	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.222
8	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.222
9	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.224
10	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.226
RELACION 3/1													
RELACION 10/1													1.23

Tabla 3.15 Resultados de la prueba de R.A



Grafica 3.4 Tendencia de la prueba de R.A

EQUIPO DE PRUEBA				OBSERVACIONES		
Medidor de resistencia de aislamiento		MARCA: AVO Internacional		ANTES DE ALTA TENSION		
MODELO: BM25	No. SERIE: 6410-856/010801/2411			Mediciones en lado línea.		
Tensión del equipo: 5 000	VCD	Rango: 10	TΩ			
PROBO				FECHA		
Federico Álvarez Morales NOMBRE Y FIRMA				2018	MAYO	14
				Año	Mes	Día

Figura 3.163 Equipo de prueba

Los resultados fueron satisfactorios ya que la tendencia de la lectura fue incrementando favorablemente.

En las pruebas de impedancia estática e impulso a la frecuencia en baja tensión se observan resultados satisfactorios, lo cual indica que no existen cortos entre espiras a fallas a tierra en los polos.



Figura 3.164 Realización de la prueba de impedancia estática.

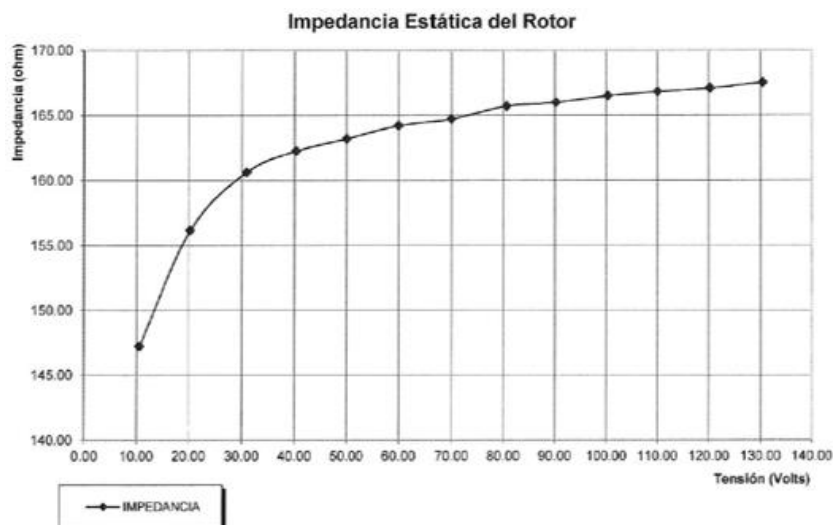
POLOS	BOBINAS POR POLO	ESPIRAS POR BOBINA	FRECUENCIA PRUEBA
56	1	-----	60 Hz

TENSION (V)	CORRIENTE (A)	POTENCIA (W)	RESISTENCIA (Ω)	REACTANCIA (Ω)	IMPEDANCIA (Ω)
10.60	0.0720	-----	-----	-----	147.22
20.30	0.1300	-----	-----	-----	156.15
31.00	0.1930	-----	-----	-----	160.62
40.40	0.2490	-----	-----	-----	162.25
50.10	0.3070	-----	-----	-----	163.19
60.10	0.3660	-----	-----	-----	164.21
70.00	0.4250	-----	-----	-----	164.71
80.70	0.4870	-----	-----	-----	165.71
90.30	0.5440	-----	-----	-----	165.99
100.40	0.6030	-----	-----	-----	166.50
110.10	0.6600	-----	-----	-----	166.82
120.30	0.7200	-----	-----	-----	167.08
130.50	0.7790	-----	-----	-----	167.52
Promedio					162.54

Tabla 3.16 de resultados de la prueba

EQUIPO DE PRUEBA			OBSERVACIONES
Auto transformador de Tensión Variable	MARCA: -----		Alimentación del variac; 127 Vca.
MODELO: -----	No. SERIE: -----		Mediciones en anillos colectores.
Multímetro Digital	MARCA: FLUKE		
MODELO: 87-V	SERIE: 94800111		
Multímetro Digital	MARCA: FLUKE		Los multímetros utilizados son propiedad de la CH Malpaso.
MODELO: 87 V Ex	SERIE: 93920281		
PROBO Federico Álvarez Morales NOMBRE Y FIRMA			FECHA 2018 MAYO 14 AÑO MES DÍA

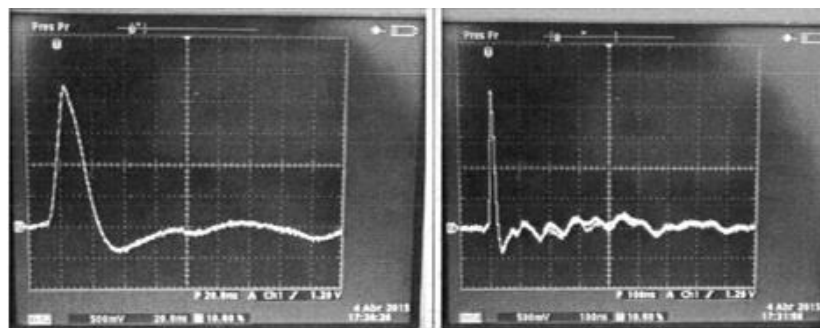
Figura 3.165 Equipo de prueba



Gráfica 3.5 Prueba se muestra ascendente



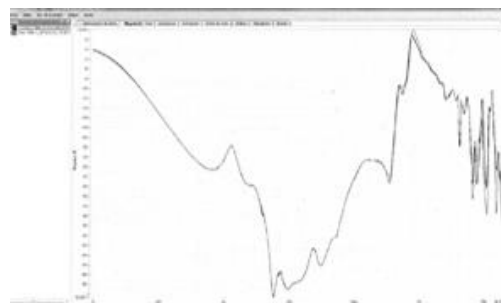
Figura 3.165 Personal de LAPEM realizando prueba de impulso a la frecuencia en baja tensión.



Grafica 3.6 Resultados de prueba

EQUIPO DE PRUEBA			OBSERVACIONES		
Calibrador de carga		MARCA: Power Diagnostic	Se aplica 1 nC		
MODELO: CAL1B	No. SERIE:	----	Mediciones en anillos colectores.		
Osciloscopio Digital		MARCA: Tektronix			
MODELO: TDS 3054B	SERIE	B027664			
PROBO			FECHA		
Federico Álvarez Morales			2018	MAYO	14
NOMBRE Y FIRMA			ANO	MES	DIA

Figura 3.166 Equipo de prueba



Grafica 3.7 Respuesta al barrido de la frecuencia

Los valores de resistencia óhmica a devanados del rotor medidos en esta unidad fueron de (359.666 mΩ) lo cual fue satisfactorio de acuerdo a lo establecido por la norma.

FASE	I PRUEBA (A)	I PRUEBA %	Rt (mΩ)	Tt (°C)	K	Ts (°C)	Rs (mΩ)
A	-----	-----	-----	-----	234.50	-----	-----
B	-----	-----	-----	-----	234.50	-----	-----
C	-----	-----	-----	-----	234.50	-----	-----
ROTOR	7.078	---	310.8581	33.0	234.50	75.0	359.666

OBSERVACIONES:

El valor promedio de las mediciones es válido para la resistencia.

PREPARATIVOS:

1. Las terminales deben estar desconectadas.
2. Descargar cualquier carga estática por un periodo de 10 minutos.
3. La resistencia debe medirse por cada fase.

FASE	Rs (mΩ)	RESISTENCIA DE FABRICA (mΩ)	DIFERENCIA PROMEDIO
A	-----	-----	-----
B	-----	-----	-----
C	-----	-----	-----
ROTOR	359.666	361.019 **	0.38 %

Tabla 3.17 Prueba de resistencia óhmica a devanados del rotor



Figura 3.166 Equipo de resistencia óhmica

Pruebas con el rotor girando

Los resultados de las pruebas de impedancia dinámica variando la velocidad se consideran satisfactorios ya que con el incremento de la velocidad nominal, al variar la tensión aplicada, la impedancia no mostro cambios significativos.



Figura 3.167 Realización de prueba de impedancia dinámica

VELOCIDAD (RPM)	CORRIENTE (A)	POTENCIA (W)	RESISTENCIA (Ω)	REACTANCIA (Ω)	IMPEDANCIA (Ω)
10.00	0.4340	-----	-----	-----	276.50
20.00	0.4330	-----	-----	-----	277.14
31.00	0.4320	-----	-----	-----	277.78
40.00	0.4310	-----	-----	-----	278.42
50.00	0.4320	-----	-----	-----	277.78
60.00	0.4310	-----	-----	-----	278.42
70.00	0.4310	-----	-----	-----	278.42
80.00	0.4310	-----	-----	-----	278.42
90.00	0.4290	-----	-----	-----	279.72
100.00	0.4290	-----	-----	-----	279.72
110.00	0.4280	-----	-----	-----	280.37
128.50	0.4270	-----	-----	-----	281.03
-----	-----	-----	-----	-----	-----
Promedio					278.64

Tabla 3.18 Resultados de la prueba

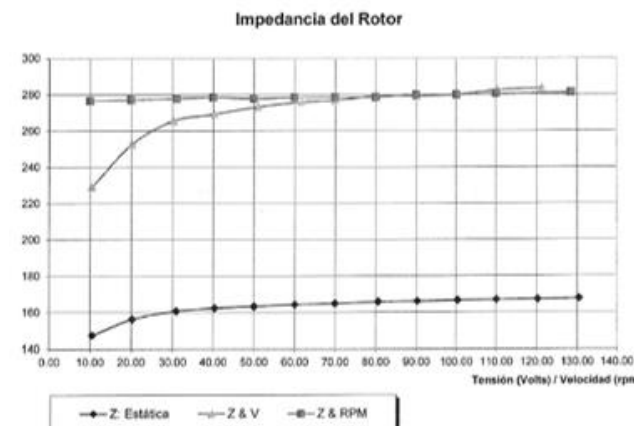
EQUIPO DE PRUEBA				OBSERVACIONES
Auto transformador de Tensión Variable		MARCA: -----		Tensión aplicada: 120 Vca.
MODELO: -----	No. SERIE: -----			Mediciones en porta escobillas.
Multímetro Digital		MARCA: FLUKE		Alimentación del variac: 127 Vca.
MODELO: 87-V		SERIE: 94800111		* Estator redevanado en Febrero 2007
Multímetro Digital		MARCA: FLUKE		Los multímetros utilizados son propiedad de la CH Malpaso.
MODELO: 87 V Ex		SERIE: 93926281		
PROBO Federico Álvarez Morales NOMBRE Y FIRMA				FECHA 2018 MAYO 14 AÑO MES DÍA

Figura 3.168 Equipo de prueba



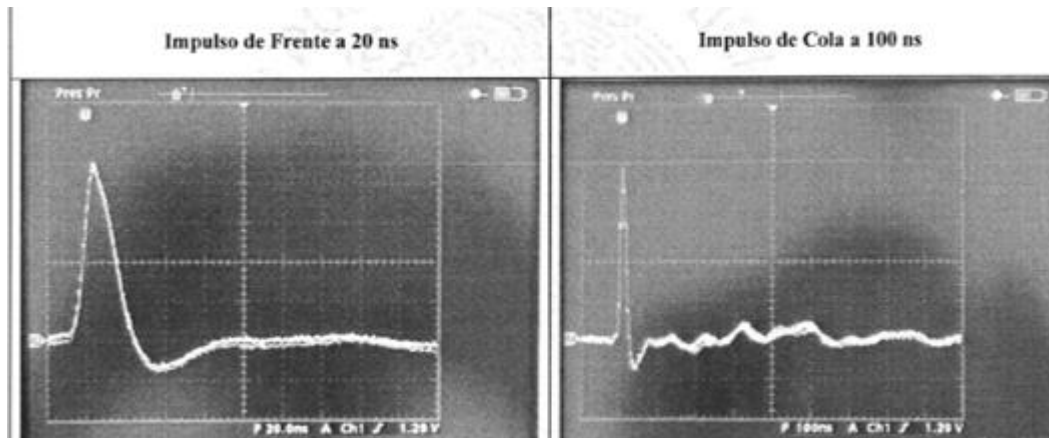
Gráfica 3.8 Prueba de impedancia dinámica a velocidad variable

Los resultados de las pruebas de impedancia dinámica a velocidad nominal se consideran satisfactorios dado que estando la unidad a velocidad nominal, al variar la tensión aplicada, la impedancia muestra una tendencia sin variaciones significativas.



Gráfica 3.9 Prueba de impedancia dinámica a velocidad nominal

Las pruebas de respuesta al impulso de baja tensión realizada a velocidad nominal, muestran un comportamiento satisfactorio ya que en tanto a 20 ns, las gráficas registradas son similares.



Grafica 3.10 Resultados graficados

El estado general de los devanados y aislamiento del rotor es satisfactorio y acuerdo para que la unidad pueda continuar operando de manera confiable.

La prueba de Impedancia Estática se realizó únicamente con 42 polos instalados en el Rotor, los cuales se encontraban separados en grupos; 9 al 19, 23 al 31, 33 (solo), 37 al 46 y 51 al 5. Fue necesario interconectar cada uno de los grupos para dar continuidad al circuito de medición. Las mediciones se realizaron en las terminales que quedaron libres de los polos 5 y 9. Los resultados de Impedancia muestran un comportamiento satisfactorio con el incremento de la tensión aplicada (10 hasta 130 Vca).

Se realizaron pruebas de impulso de baja tensión en cada uno de los grupos de polos instalados en el Rotor, las gráficas obtenidas indican un buen estado del aislamiento de los polos. Así mismo se realizaron pruebas en 12 de los 14 polos que fueron desmontados del Rotor, en éste caso únicamente los polos 35 y 49 muestran diferencias en las gráficas a 20 y 100 ns. Las diferencias encontradas indican contaminación del aislamiento interespiras aun tolerable para la operación de la Unidad.

En la tabla resumen se indica un valor de resistencia óhmica para el Rotor, el cual corresponde a los 42 polos que estaban Instalados e interconectados en el Rotor, éste valor queda como referencia para futuras mediciones. También se realizaron Éstas mediciones en 10 polos desinstalados, los resultados se consideran satisfactorios ya que entre si la diferencia encontrada es menor al 1%.

Medición de entrehierro

La medición de entrehierro es importante en una máquina rotatoria y más si es un generador porque se puede diagnosticar posibles fallas en el rotor como las vibraciones. En la unidad N° 3 se hizo la medición de entrehierro desde los polos hasta el laminado del estator. El entrehierro ideal es de 22 mm desde el polo al laminado del estator pero por los años de uso hacen que se deforme geoméricamente los polos, el estator o que el rotor en forma elíptica y otro factor puede ser el desbalance del rotor que en una parte del rotor haya más masa rotativa y esto que puede ser que esté un poco más inclinado por el desbalance.

POLO #	ENTREHIERRO IDEAL (mm)	Entrehierro Real (mm)
1	22	16.8
2	22	16.8
3	22	16.8
4	22	16.4
5	22	16.5
6	22	16.7
7	22	16.5
8	22	16.5
9	22	16.4
10	22	16.8
11	22	16.5
12	22	16.8
13	22	17.7
14	22	17.8
15	22	17.8
16	22	19.5
17	22	19.5
18	22	17.7
19	22	18.2
20	22	19.3
21	22	17.9
22	22	19.3
23	22	17.7
24	22	17.5
25	22	17.7
26	22	19.7
27	22	21.7
28	22	21.4
29	22	21.2
30	22	22.0
31	22	21.7
32	22	22.1

33	22	21.0
34	22	20.5
35	22	21.1
36	22	21.1
37	22	21.3
38	22	21.5
39	22	21.3
40	22	20.5
41	22	20.8
42	22	20.8
43	22	17.7
44	22	18.5
45	22	17.4
46	22	18.2
47	22	17.7
48	22	17.7
49	22	17.7
50	22	16.5
51	22	16
52	22	16.1
53	22	16.3
54	22	16.5
55	22	15
56	22	16.3

Tabla 3.19 Tabla de resultados de medición de entrehierros

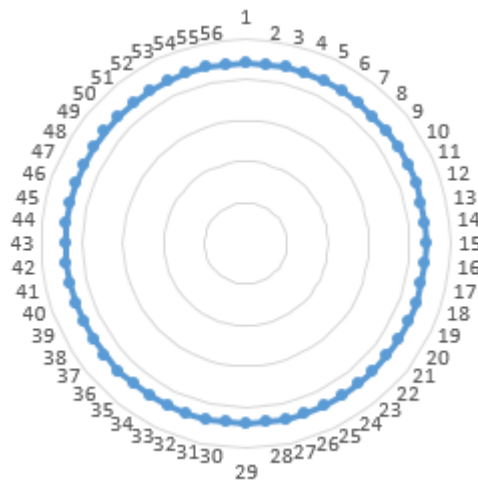
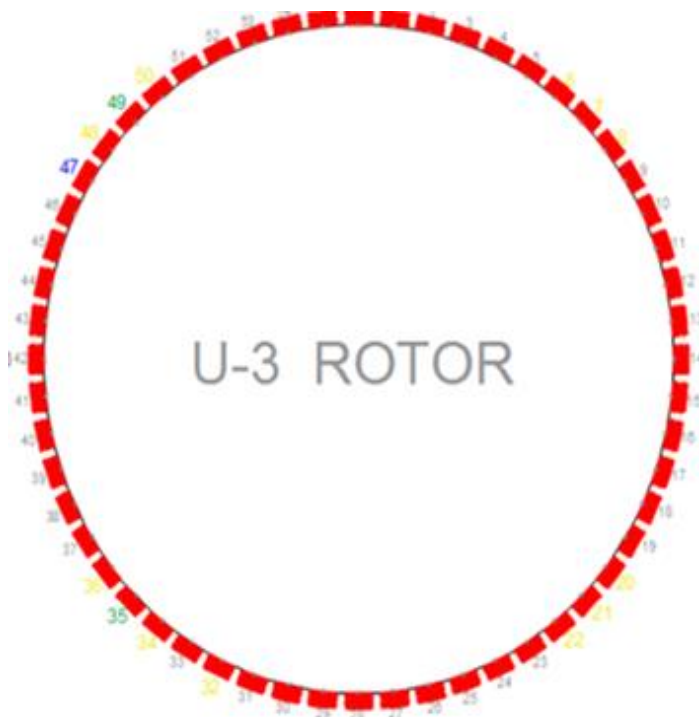


Figura 3.169 Rueda polar ideal.



Figura 3.170 Entrehierro de 22 mm



POLO # 49 BARRA AMORTIGUADORA FISURADA (CAMBIO DE BARRA)

POLOS REEMPLAZADOS: 35 Y 49

POLOS DESMONTADOS PARA MANTENIMIENTO:
6, 7, 8, 20, 21, 22, 32, 34, 36, 47, 48, 50

Figura 3.171 Polos desmontados

3.3 Pruebas a transformador de potencia T-3 fase C



Figura 3.172 Transformador Monofásico, fase C de la unidad #3.

La prueba que se realizó fue la cromatografía de gases para ver qué tan dañado está el interior del mismo e inspeccionar el aceite de la cantidad de gases que contiene.



Figura 3.173 Contenedor de bolsa Cops ayuda a meter presión al aceite y recircule dentro del bote del transformador.

Se realizó la prueba de cromatografía de gases que están disueltos en el aceite con ayuda del equipo de prueba llamado Kelman.



Figura 3.174 Con ayuda de la jeringa se puede sacar la muestra de aceite del Calisto que es un monitoreo en línea para protección del transformador.

Se presenta el aparato de Prueba cromatógrafo de gases Kelman.



Figura 3.175 Kelman marca general electric.

Resultados

Gracias al gran esfuerzo del departamento eléctrico durante la libranza de dos meses la unidad generadora número tres quedó en óptimas condiciones para poder suministrar energía de calidad a la red eléctrica nacional. Después de las pruebas iniciales, mantenimiento y pruebas finales la unidad está disponible para operar sin ningún problema.

La libranza de la unidad fue:

NÚMERO DE LICENCIA, FECHA Y HORA DE INICIO DEL MANTENIMIENTO MENOR U3

- LICENCIA OTORGADA A LA U-3: 20150277--214
- FECHA DE INICIO: 16-ABRIL-2018
- HORA: 00:07 HRS

NÚMERO DE LICENCIA, FECHA Y HORA DEL TÉRMINO DEL MANTENIMIENTO MENOR U3.

- SE RETIRA LA LIC. AUT. 20150277-214 A LAS 21:04 HRS, POR PARTE DEL ING. JESUS ALONSO OCAÑA ROQUE.
- SE SINCRONIZA A LAS 21:47
- SE TERMINA EL MANTENIMIENTO DE LA UNIDAD GENERADORA N° 3. EL DIA MARTES 27 DE MAYO DE 2018

Como se puede observar que la unidad 3 estuvo en tiempo y forma la libranza otorgada, cumpliendo los dos meses que se estableció por el programa de mantenimiento.



Figura 4.1 Pantalla de datos de la unidad generando



Figura 4.2 Instrumentación de la unidad 3



Figura 4.3 Pantalla de Generación Bruta

Conclusión

Las unidades generadoras, en sí, son instrumentos que se utilizan para convertir la energía de una forma a otra, es decir, son las que se encargan de transformar la energía mecánica dada por un medio externo, a energía eléctrica para el consumo.

Una buena disponibilidad de los equipos de generación garantiza la confiabilidad para el cumplimiento de los contratos y la posibilidad de generar energía a corto plazo.

Al mantener las centrales en operación con una mayor continuidad, sin paros por demanda o no programados, se obtendría una mayor productividad, ya que, al estar generando sin interrupciones podrán alcanzar un nivel óptimo de productividad.

En cualquier central eléctrica, el generador eléctrico es una de los equipos principales en la generación de electricidad. Es necesario el conocimiento detallado de su principio de funcionamiento, sus equipos auxiliares y controles e instrumentación correspondientes. Además, en la operación cotidiana se deben monitorear y tomar en cuenta todas las alarmas, protecciones y lecturas erróneas que se detecten, ya que en caso contrario en un lapso mayor pudieran provocar fallas.

El funcionamiento anormal de cualquiera de los equipos auxiliares provocará una disminución en la capacidad del generador, calentamientos excesivos, envejecimiento de su aislamiento y hasta una posible explosión en caso de corto circuito entre fases o rozamiento. Es de notarse también el impacto que puede ocasionar al sistema eléctrico nacional, por lo tanto el operador deberá de tener una estrecha vigilancia de los parámetros del generador y de sus equipos auxiliares, para prevenir o evitar cualquier funcionamiento anormal o falla del equipo.

Un criterio muy importante es que el personal operativo nunca debe restablecer un relevador operado sin la previa revisión y autorización del personal técnico de la central; incluso antes se deberá aplicar el protocolo de pruebas para descartar alguna posible falla que pudiera resultar catastrófica.

Las plantas que tuvieran una mayor disponibilidad y confiabilidad, tendrán una mayor cantidad de horas en operación (HO) alcanzado un índice más alto de productividad en comparación con las otras plantas.

La confiabilidad de una unidad generadora la podemos encontrar por medio del método determinístico y probabilístico, pero con el primero se determina, el coeficiente de disponibilidad de una unidad o central generadora al final de un año, tomando como base los datos estadísticos recopilados de las unidades; en cambio

con el método probabilístico podemos hacernos una idea a futuro de lo que será la confiabilidad de una unidad o central generadora.

Anexos

Central Hidroeléctrica malpaso

Es el nombre de una de las plantas hidroeléctricas más importantes y de mayor capacidad en la república mexicana. La Central Hidroeléctrica Malpaso se ubica sobre la cuenca más importante de generación Hidroeléctrica del país, el Río Grijalva, a 125 Km. De la ciudad de Cárdenas, Tabasco y a 80 Km. de la Cd. Tuxtla Gutiérrez Chiapas

La cuenca de este río se inicia en la vecina república de Guatemala y se interna en nuestro país en la región denominada "Alto Grijalva" en el estado de Chiapas. Desciende posteriormente hacia la planicie del Estado de Tabasco, ahora con el nombre de "Bajo Grijalva", hasta la zona de la Chontalpa, donde desemboca en el Golfo de México.



Anexo 6.1 Vista panorámica de la C.H. Netzahualcóyotl (Malpaso)

El 27 de Junio de 1951 se creó la Comisión del Río Grijalva dependiente de la entonces Secretaria de Recursos Hidráulicos., para el estudio y desarrollo integral de la cuenca de dicho río.

A partir de 1953 la Secretaria de Recursos Hidráulicos construyó los bordos de defensa marginales de los ríos; y en 1955 de acuerdo con Los estudios Hidrológicos, Topográficos y geológicos preliminares, la Comisión del Río Grijalva llegó a la conclusión de que la primera presa por construirse fuera la de Netzahualcóyotl, En la boquilla denominada "Raudales Malpaso", sobre el Río Grijalva.

Partes que Componen la Central de Malpaso

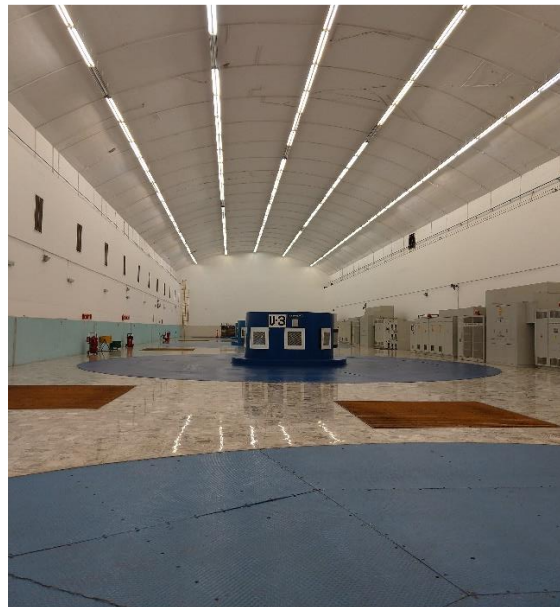
Casa de maquinas

En un aprovechamiento hidroeléctrico, la casa de máquinas tiene como misión proteger el equipo electro-hidráulico que convierte la energía potencial del agua en electricidad, de las adversidades climatológicas. El número, tipo y potencia de las turbinas, su disposición con respecto al canal de descarga, la altura de salto y la geomorfología del sitio, condicionan la topología del edificio. La casa de máquinas puede albergar los equipos siguientes:

- Compuerta o válvula de entrada a las turbinas
- Turbinas
- Multiplicadores (si se necesitan)
- Generadores
- Sistemas de control
- Equipo eléctrico
- Sistemas de protección
- Suministro de corriente continua (control y emergencias)
- Transformadores de potencia e intensidad

Elevaciones de la Bóveda

Bóveda.....104.00 m.s.n.m.
Longitud de la Bóveda..... 160 mts.
Ancho de la Bóveda..... 20 mts.
Altura de la Bóveda..... 33 mts.
2 Grúas viajeras de 140/30 Toneladas respectivamente.



Anexo 6.2 Casa de máquinas de la central hidroeléctrica Malpaso.

La casa de máquinas está dividido en varios pisos:

- Piso de excitatriz.....89.50 m.s.n.m
- Piso de generadores....85.00 m.s.n.m
- Piso de turbinas.....81.50 m.s.n.m
- Piso auxiliar.....76.50 m.s.n.m
- Piso de Aspiración.....65.50 m.s.n.m

Embalse

Tiene una capacidad de almacenamiento de 13 mil millones de m3 hasta la elevación 188.00 m.s.n.m., que equivale al nivel de aguas máximas extraordinarias. Con un embalse máximo de 30 mil hectáreas.

Así como la producción de 3200 GWH medio anuales de energía eléctrica.



Anexo 6.3 La hidroeléctrica Netzahualcóyotl, con sus 30,000.00 Hectáreas

Características generales

Área de la Cuenca Propia.....	9,952.19 Km ²
Escurrencimiento Medio anual (cuenca propia).....	5,638 X 10 ⁶ m ³
Gasto Medio Anual.....	179 m ³ /Sg
Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias (NAME).....	188.00 msnm
Nivel de Aguas máximas de Operación (NAMO).....	182.50 msnm
Nivel de Aguas mínimas de Operación (NAMINO).....	144.00 msnm
Volumen muerto.....	3,055.71 Mm ³
Volumen útil.....	9,317.39 Mm ³
Capacidad para el Control de Avenidas.....	1,683 Mm ³
Capacidad total al NAME.....	14,056 Mm ³
Área total inundada al NAME.....	30,000 Ha.
Nivel mínimo Histórico (10-Jul-1975).....	144.43 msnm
Nivel Máximo histórico (MARZO-2008).....	184.88 msnm

Cortina

Tiene por objeto el control de avenidas máximas para reducir las aportaciones del Río a valores que no ocasionen perjuicios en las zonas agrícolas y poblados cercanos a la central, así como la producción de 3200 GWH anuales de energía eléctrica.



Anexo 6.4 Cortina de la central hidroeléctrica Malpaso

Subestación elevadora

De tipo intemperie, se localiza en la elevación 192.00 m. Se aloja a los Transformadores de potencia monofásicos que elevan el voltaje de generación, de 15 a 400 KV. Las características de estas etiquetas son:

Concepto	1ª Etapa	2ª Etapa
Marca	Mitsubishi	Persons Peebles
Capacidad	45 / 60 / 75	45 / 60 / 75 MVA
Tipo	Acorazado	Acorazado
Modelo	SR /SUB	ATL 300
Relación	15 / 400	15 / 400 KV
Clase	OA /FOA/FOA	OA/FOA /FOA
Fases	1	1
Frecuencia	60 Ciclos /seg.	60 Ciclos/seg.
Impedancia	4.82 %	8.23 %
Peso Núcleo y Bobina	59.5 Ton.	64.00 Ton.
Peso Tanque y Acce.	29.5 Ton.	15.00 Ton.
Aceite Total	20500 Lt.	30000 Lt.
Peso Aceite	18.500 Kg.	26.000 Kg.
Peso Total Transf.	107.000 Kg.	120.000 Kg

Anexo 6.5 Especificaciones de transformadores



Anexo 6.6 Subestación elevadora

Generador

La Central Hidroeléctrica Malpaso cuenta con seis generadores de fabricación sueca instalados 4 en la primera etapa y 2 en la segunda siendo estos 2 condensadores síncronos. Cuenta con una capacidad instalada de 1, 080 MW.

Alternador	1 ^{ERA} ETAPA	2 ^ª ETAPA
Marca	ASEA	ASEA
Eje	Vertical	Vertical
Fases	3	3
Frecuencia	60 ciclos/s.	60 ciclos/s.
Ventilación	Forzada	Forzada
Potencia nominal	218 MVA a 80°	218 MVA a 80°
	225 MVA a 88°	225 MVA a 88°
	245 MVA a 97°	245 MVA a 97°
Factor de potencia	0.95 atrasado	0.95 atrasado
Tensión entre fases	15 Kv.	15Kv.
Velocidad nominal	128.57 r.p.m.	128.57 r.p.m.
Vel. de desboque	254 r.p.m.	254 r.p.m.
Peso del rotor	253 Ton	253 Ton.
Corriente nominal	8,390 Amp.	8,390 Amp.
Frecuencia	60 Hz	60 Hz
Número de polos	56	56

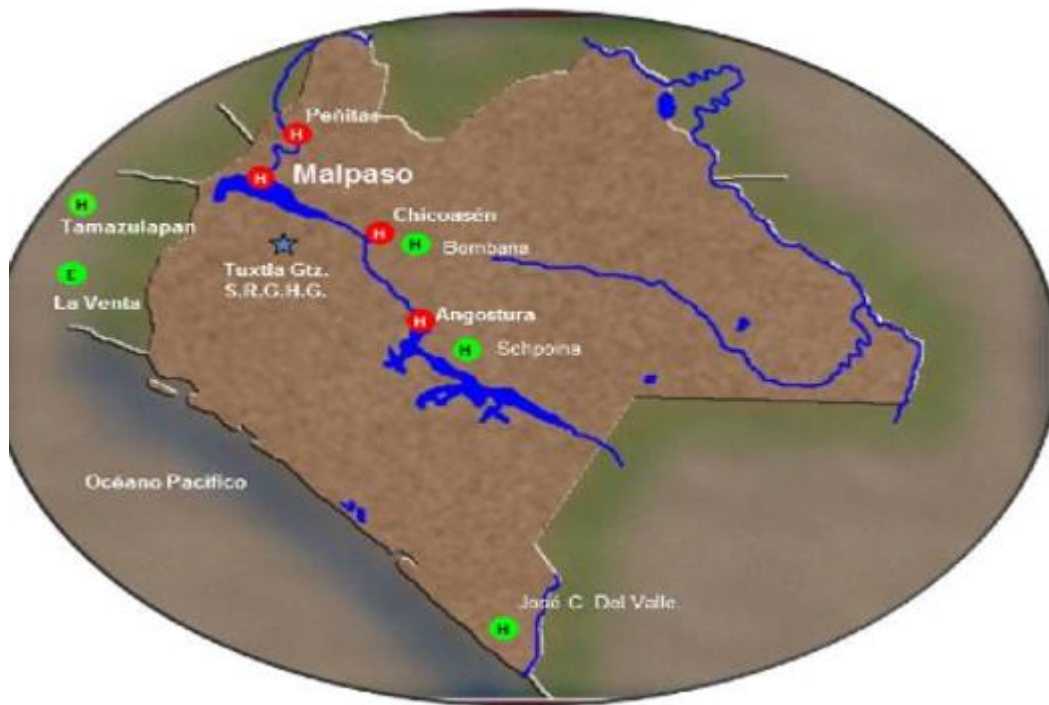
Anexo 6.7 Especificaciones de generadores

Cabe recalcar que la segunda etapa, las unidades 5 y 6 aparte de ser generadores cumplen otra función de ser condensadores síncronos los cual sirve para adsorber armónicos del sistema eléctrico nacional.

UNIDADES	CAPACIDAD	FECHA DE PUESTA EN SERVICIO
UNIDAD No. 1	180 MW	26/ENE/1969
UNIDAD No. 2	180 MW	06/FEB/1969
UNIDAD No. 3	180 MW	07/ABR/1969
UNIDAD No. 4	180 MW	24/JUN/1969
UNIDAD No. 5	180 MW	01/FEB/1978
UNIDAD No. 6	180 MW	14/OCT/1977
TOTAL		1080 MW

Anexo 6.8 Unidades generadoras

Presa Netzahualcóyotl



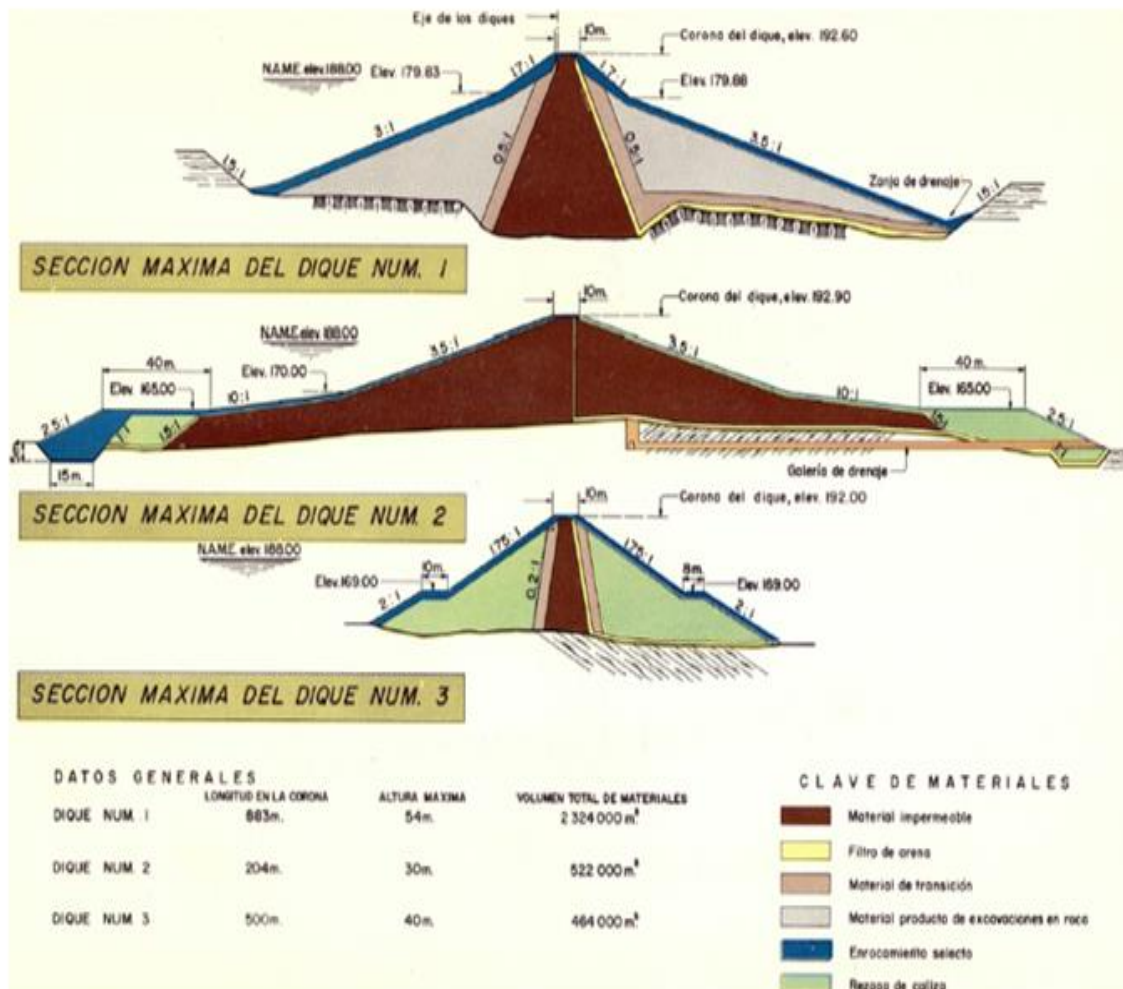
Anexo 6.9 Ubicación geográfica de la central hidroeléctrica malpaso

Sobre el Río Grijalva, tiene una capacidad de almacenamiento de 13 mil millones de m³ hasta la elevación 188.00 m.s.n.m., que concierne al nivel de aguas

máximas extraordinarias. Con un embalse máximo de 30 mil hectáreas. Así como la producción de 3200 GWH medio anuales de energía eléctrica.

Tipo de Central

Para la selección del tipo de cortina se estudiaron las siguientes alternativas: arco-bóveda de concreto, sección de gravedad de concreto y cortina de enrocamiento con corazón impermeable de arcilla, se seleccionó ésta última.



Anexo 6.10 Tipos de cortinas de central

Vertedor

Se localiza en el margen izquierdo de la boquilla y está constituida por Vertedores de cresta controlada, dividido por pilas en 3 vanos de 15.00 m. De ancho, donde están instaladas las compuertas radiales. La cresta se encuentra en la elevación 167.64 M.S.N.M. y localiza 3 compuertas radiales de 15 x 16 mts.



Anexo 6.11 Desfogue de la compuerta

El canal de descarga de este vertedor, está revestido de concreto con una longitud total de 410.00 mts. Y ancho de 51.00 mts. Alcanzando un desnivel entre la cresta y el fondo del tanque de 93.69 mts. Las aguas vertidas caen sobre un tanque amortiguador de 105.00 x 51.00 mts. Y retornan al cause original, aguas debajo de la cortina.



Anexo 6.12 Compuerta de vertedores

Elevación de la cresta.....167.64 msnm
 Cap. máxima de descarga.....8,250 m³/s
 Dimensiones (ancho x alto).....15.00x16.00 m
 Labio superior de Compuerta cerradas.....183.60 msnm



Anexo 6.13 Vertedor de emergencia

Datos técnicos

Elevación de la cresta.....167.64 msnm
 Cap. Max. De descarga.....10,650 m³/s
 No. de compuertas.....4
 Dimen. (Ancho x alto).....15.00 x 18.70 m
 Labio sup. De compuerta.....186.34 msnm
 Gasto mínimo de despegue....3, 880 m³/s

Unidad auxiliar:

La central cuenta con la unidad auxiliar se encuentra ubicada en el piso auxiliar, en caso de los circuitos que alimentan servicios propios llegaran a fallar esta unidad entra en acción para poder generar energía eléctrica, proporcionándola a la central y satisfacer las necesidades de servicios propios.



Anexo 6.14 Generador trifásico auxiliar

Datos Técnicos

Diámetro Tubo Alimentación..... 0.71 M
 Tipo:..... Francis
 Flecha:..... Horizontal
 Gasto:..... 2.374 m³ /seg.
 Caída:..... 65.00 m
 Potencia:..... 1800 CV
 Velocidad de Rotación:..... 900 rpm
 Fabricado por:..... De Pretto -Escher Wyss, Italia

El generador auxiliar está acoplado directamente con la flecha horizontal de la turbina y sus características principales son:

- Potencia Máxima:..... 1720 KVA.
- Factor de Potencia:..... 0.80 Atrasado
- Tensión Normal: 460 V
- Velocidad de Rotación:..... 900 r.p.m.
- Fases:..... 3
- Fabricado por:..... PELLIZARI, ITALIA

Turbinas

Localizadas en el piso de Turbinas, proyectada la obra total para seis unidades en la elevación 81.50 M.S.N.M. Se montaron 4 en la primera etapa de la marca Mitsubishi de fabricación japonesa y 2 en la segunda, de la marca Escher Wyss de fabricación alemana. Las turbinas elegidas para dicho proyecto fueron del tipo Francis vertical por el tipo de caída con el que se contaría para la generación de energía.



Anexo 6.15 Turbina tipo Francis de la unidad #3

Datos Técnicos	Primera Etapa	Segunda Etapa
Número de Unidades.....	4, Tipo FRANCIS	2, Tipo FRANCIS
Potencia Nominal por Unidad....	180 Mw	180 Mw
Marca.....	MITSUBISHI	ESCHER WYSS
Capacidad.....	184-215 Mw	184-215 Mw

Gasto de diseño por Unidad.....	240 m ³ /s	232.2 y 246.8m ³ /s.
Consumo Específico medio.....	4.30 m ³ /Kwh	4.30 m ³ /Kwh
Velocidad de Rotación.....	128.57 rpm	128.57 r.p.m.
Diámetro Ext. Del Rodete.....	5.60 mts	5.65 mts
Diámetro de la Flecha.....	1.26 mts	1.20 mts
Diámetro Chumacera Guía.....	1.60 mts	1.60 mts
Diámetro Cubierta Exterior.....	7.01 mts	7.70 mts
Diámetro Entrada al Caracol.....	5.60 mts	5.65 mts
Peso total partes rotativas.....	150 Ton.	--- Ton.
Peso total partes rotativas Gen.	540 Ton.	523 Ton.
Máx. Carga sobre la Chum. Carga	1260 Ton	1310 Ton.
Vol. de aceite Chumacera Guía.	750 Lts	750 Lts.
Volumen de aceite Chumacera...	8200 Lts	5000 Lts.
Alabes del Rodete.....	15	14

Obra De Toma

Está constituida por 6 estructuras de entrada, correspondientes a cada una de las 6 unidades. Estas estructuras alojan dispositivos de operación de 6 compuertas rodantes y una auxiliar de emergencia, instaladas en vanos de 4.80 m de ancho por 8.20 m de altura que se utilizan para sellar el paso de agua de la presa hacia la tubería de presión en caída a 36° con respecto de la horizontal. El agua que pasa trae consigo la suficiente fuerza Cinética para mover las Turbinas Hidráulicas.



Anexo 6.16 Obra de toma

Desfogues

Las tuberías desalojan el agua hacia el cauce natural del Río, mediante ramales de descarga aguas debajo de los pozos de oscilación. Actualmente se utiliza el túnel n° 3 para desfogue de las unidades 5 y 6; el túnel n° 4 para las unidades 3 y 4 y el túnel n° 5 para las unidades 1 y 2. Estos túneles son de sección de portal de 12.00 mts de ancho en la base y 12.00 mts. De altura hasta la clave de la bóveda, conectándose con pendiente ascendente hasta la elevación 76.13 M.S.N.M.



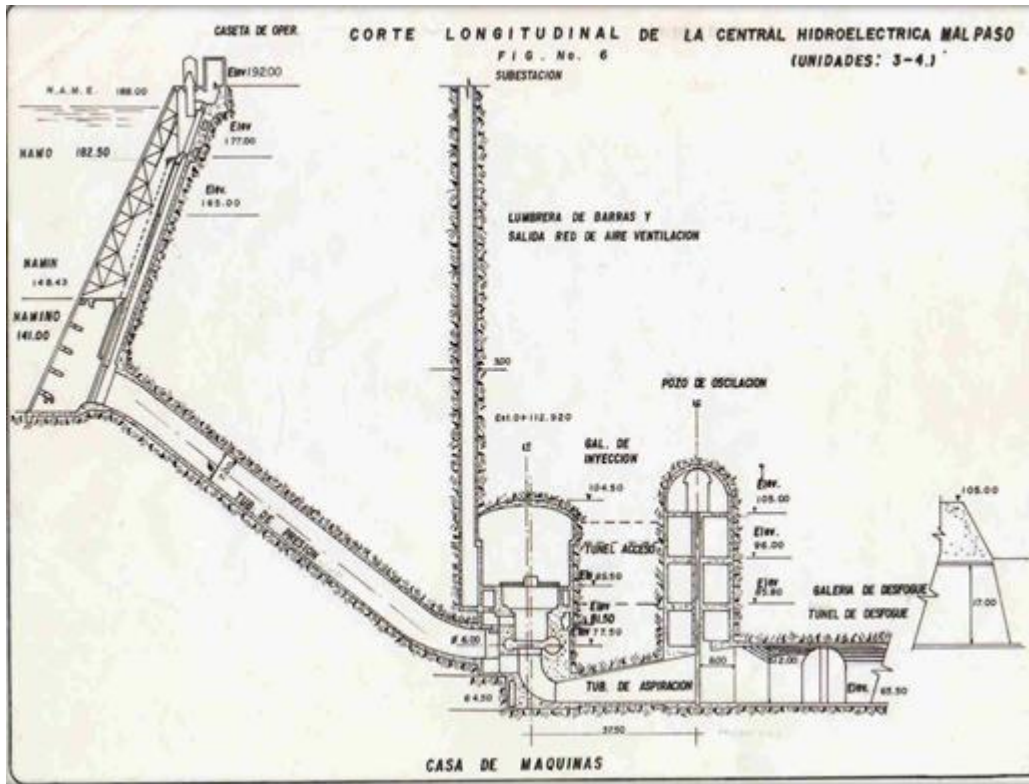
Anexo 6.17 Salida del agua Turbinada

Tubería De Presión

Aguas debajo de los vanos de las compuertas rodantes de la Obra de Toma y a continuación de las transiciones que tienen 12.40 mts. De Longitud, se inicia en cada unidad un túnel inclinado a 36° con la Horizontal, revestido de concreto, forrado con tubería de acero de 7.00 mts de diámetro inferior y 71.36 mts de longitud hasta el codo de Reducción, que se continua con un tubo de reducción de 6.00 mts a 5.60 mts de diámetro y después con otro tubo recto horizontal de 5.60 Mts de diámetro hasta su conexión con la tubería correspondiente.

Pozos De Oscilación

Se localizan 6, uno para cada unidad a 37.50 Mts. Aguas abajo del eje común de las unidades con sección transversal elíptica de 10.00 mts. De diámetro menor y 14.00 mts de diámetro mayor, con altura de 39.50 mts. A partir del piso de descarga de la tubería de aspiración, hasta el piso de la galería de compuertas. Estas instalaciones, además de servir como pozos de oscilación, se utilizan para alojar las compuertas de desfogue de cada unidad, como tubos de ventilación y para soporte superior de la galería de operación de las compuertas.



Anexo 6.18 Esquema general de la central hidroeléctrica Malpaso

Sala De Tableros

Es el centro de operación de la Central Hidroeléctrica Malpaso y se localiza bajo el piso de excitadores en la elevación 85.00 M.S.N.M. En esta Sala se localiza el Control automático por medio de 2 estaciones de trabajo (computadoras) desde donde se efectúan las maniobras de apertura y cierre de compuertas de Obra de Toma, arranque, paro y sincronización al Sistema Interconectado Nacional de las Unidades generadoras con las que cuenta la Central; así como control de motobombas y compresoras de regulación.

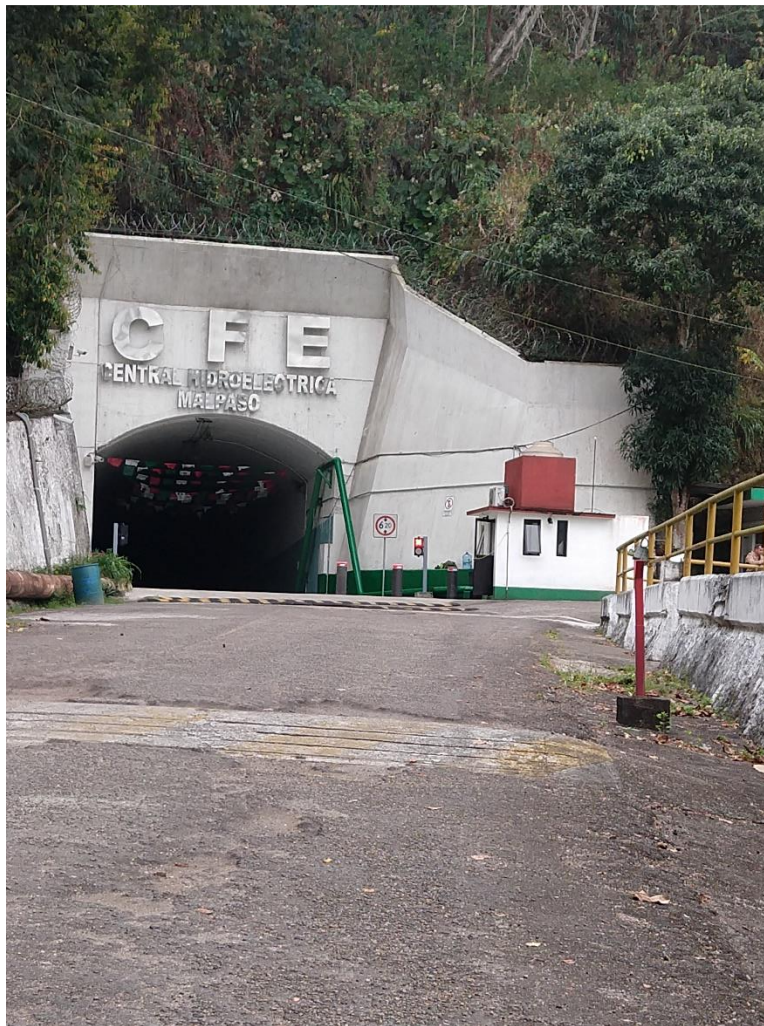
En esta sala de control se lleva a cabo la toma de lecturas de todos los parámetros y condiciones de operación de cada una de las unidades generadoras así como también se lleva un estricto control de las libranzas para efectuar los programas de mantenimientos preventivos y correctivos de las mismas. El Tablero principal de la sala de control tiene los instrumentos necesarios para sincronizar los Generadores en forma manual en caso de que no sea posible efectuar las maniobras por medio de las estaciones de trabajo.

El Tablero de Servicios Propios tiene los instrumentos necesarios para alimentar el sistema de alumbrado y fuerza de cada una de las Unidades; y de las partes estratégicas de casa de máquinas.

Túnel De Acceso

El acceso a Casa de Maquinas se hace desde aguas abajo a partir de la elevación 110.00 M.S.N.M. con un túnel perforado en conglomerado, sección portal para desembocar a la elevación 89.50 M.S.N.M. en el recinto de Casa de Maquinas.

El acceso a las instalaciones de la C.H. Malpaso esta resguardado por personal de la Secretaría de Marina, Armada de México, por personal de Seguridad Física y por personal de la propia C.F.E.



Anexo 6.19 Entrada a la central hidroeléctrica Malpaso

Las dimensiones del portal y del túnel son:

Sección..... Portal
Base..... 7.80 Mts.
Altura..... 6.40 Mts.
Longitud..... 367.00 Mts.
Pendiente..... 0.069

Características Generales

Área de la Cuenca Propia..... 9,952.19 Km²
Escorrentamiento Medio anual (cuenca propia)..... 5,638 X 10⁶ m³
Gasto Medio Anual..... 179 m³/Sg
Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias (NAME)..... 188.00 msnm
Nivel de Aguas máximas de Operación (NAMO)..... 182.50 msnm
Nivel de Aguas mínimas de Operación (NAMINO)..... 144.00 msnm
Volumen muerto..... 3,055.71 Mm³
Volumen útil..... 9,317.39 Mm³
Capacidad para el Control de Avenidas..... 1,683 Mm³
Capacidad total al NAME..... 14,056 Mm³
Área total inundada al NAME..... 30,000 Ha.

Nivel mínimo Histórico (10-Jul-1975)..... 144.43 msnm

Nivel Máximo histórico (MARZO-2008)..... 184.88 msnm

Una de las centrales hidroeléctricas más importantes en México es la central hidroeléctrica Netzahualcóyotl (Malpaso) que pertenecía a la subgerencia regional de generación hidroeléctrica Grijalva y ahora pertenece a la zona noroeste bajo el régimen de una reestructuración, que ahora lleva por nombre empresa productiva subsidiaria I (EPS I) desde el año 2016.

Generación I. CENTRALES HIDROELECTRICAS QUE INTEGRAN LA SPHNO

1	C.H. MALPASO	1080	MW
2	C.H. LUIS DONALDO COLOSIO (HUITES)	422	MW
3	C.H. ANGEL ALBINO CORZO (PEÑITAS)	420	MW
4	C.H. FERNANDO HIRIART BALDERRAMA (ZIMAPAN)	292	MW
5	C.H. PDTE. PLUTARCO ELIAS CALLES (EL NOVILLO)	135	MW
6	C.H. PROF. RAUL J. MARSALL (COMEDERO)	100	MW
7	C.H. BACURATO	92	MW
8	C.H. EL HUMAYA	90	MW
9	C.H.27 DE SEPTIEMBRE (EL FUERTE)	59.4	MW
10	C.H. TINGAMBATO (S.H. MIGUEL ALEMAN)	42	MW
11	C.H. BOQUILLA	25	MW
12	C.H. SANTA BARBARA (S.H. MIGUEL ALEMAN)	22.5	MW
13	C.H. OVIACHIC	19.2	MW
14	C.H. CAMILO ARRIAGA (EL SALTO)	18	MW
15	C.H. GRAL. SALVADOR ALVARADO	14	MW
16	C.H. MOCUZARI	9.6	MW
17	C.H. COLINA	3	MW
18	C.H. ELECTROQUIMICA	1.44	MW
19	C.H. MICOS	0.69	MW
		2,845.85	MW

Anexo 6.21 Listado de centrales que pertenecen a la Subgerencia Regional Noroeste



Anexo 6.21 Parte de las personas que integran el departamento eléctrico

Referencias

- [1] Comisión del Grijalva. “Presa Netzahualcóyotl”: Chiapas, México. Secretaría de Recursos Hidráulicos, 1964.

- [2] Pérez, A. R. A. (2016). Mantenimiento eléctrico en centrales generadoras. Tuxtla Gutiérrez: Impreso en taller de ingeniería, capacitación y comercialización. S. C.

- [3] Pérez, A. R. A. (2016). Generador de potencia. Tuxtla Gutiérrez: Impreso en taller de ingeniería, capacitación y comercialización. S. C.

- [4] Norma IEEE std 43-200 Recomendaciones prácticas para pruebas de resistencia de aislamiento a maquinas rotatorias.

- [5] Norma IEEE std 56-1997 Guía para mantenimiento del aislamiento de grandes maquinas rotatorias.

- [6] Norma IEEE std 286 Recomendaciones prácticas para medición del factor de potencia Tip-up de aislamiento de bobina de estator de máquinas rotatorias.

- [7] Historial de mantenimientos de la central hidroeléctrica Malpaso 1996-2015

- [8] Norma IEC Guía de procedimientos de prueba para la medición de pérdidas de tangente sobre bobinas y barras para devanados de máquinas.

- [9] Norma IEC Medición de descargas parciales fuera de línea de aislamientos de devanados eléctricos de maquina rotatoria.

- [10] Magallon O. M. (2016). Mantenimiento Mayor y Pruebas al Generador 4 de la Central Hidroeléctrica Malpaso.

- [11] Pozo, R. A. (2007). Mantenimiento de Transformadores de Potencia. 1-9.