Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez

“Residencia Profesional Agosto – Diciembre 2017”

PROYECTO:

Mantenimiento menor a la unidad generadora #5 de la Central Hidroeléctrica Malpaso

Alumno: Rios López Iran

Empresa donde se realizó el proyecto:

Comisión Federal de Electricidad

Asesor Interno:

Dr. Rubén Herrera Galicia (I.T.T.G)

Asesor Externo:

Ing. Jesús Alonso Ocaña Roque

Ing. Eléctrica. 9° Semestre.

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Diciembre del 2017

INDICE

1. Introducción

1.1 Antecedentes.....3

1.2 Estado del arte…….....4

1.3 Justificación…….6

1.4 Objetivos..……6

1.5 Metodología…….7

2. Fundamento teórico

2.1 Centrales hidroeléctricas……..8

2.2 Unidad de generación……9

2.3 Equipo primario……..10

2.4 Unidad de transformación……10

3. Desarrollo

3.1 Rotor del generador……..12

3.2 Estator del generador...……18

3.3 Transformador de potencia ……..23

4. PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 Pruebas de Resistencia de Aislamiento…….26

4.2 Pruebas de Entrehierro…….29

4.3 prueba de caída de tensión a polos magnéticos……..32

4.4 Conclusión……...34

Referencias bibliográficas……..35

Anexos

Anexo A: Materiales empleados……36

Anexo B: Equipos de prueba……36

Anexo C: Organigrama de la empresa……37

1. Introducción

1.1 Antecedentes

La continuidad del servicio, de un sistema eléctrico se logra instalando equipos y componentes de calidad, equipos y componentes fabricados y probados bajo normas técnicas específicas, así mismo debe ser operado adecuadamente y para conservar sus parámetros operativos de diseño, se requiere de la actividad humana denominada mantenimiento.

Basándose de manera concreta al mantenimiento podemos definir que son las acciones que tienen como objeto conservar las condiciones operativas de diseño de un equipo, siendo estas acciones, realizadas por personal técnico especializado. El mantenimiento tiene repercusiones en las tres características de un sistema eléctrico, continuidad, calidad y economía.

Cuando hablamos del mantenimiento menor decimos que son aquellos trabajos realizados a una unidad (Turbina-Generador), de acuerdo a sus parámetros de operación y sintomatología, para devolver a la unidad sus condiciones normales de operación, para lo cual no se requiere desmontar la unidad. La reparación de los elementos principales tanto de la turbina como del generador se hacen en sitio y el refraccionamiento es menor.

El mantenimiento consiste en preservar las condiciones de operación del equipo instalado y que se encuentra convirtiendo la energía mecánica de la turbina a energía eléctrica. Por razones de su constante actividad, este sufre deterioro en sus diversas partes componentes, por lo que es necesario restituir sus condiciones a valores permisibles para que pueda seguir operando sin riesgos.

Las constantes variaciones de temperatura, operan con altas temperaturas, la vibración continua, los esfuerzos mecánicos, sobre corrientes y sobre tensiones que se producen durante las fallas, contaminación de polvo contaminado con vapores de aceite o vapores químicos de otra índole, la humedad en el circuito del aire, entre otros, son factores que en forma aislante o combinadamente provocan el deterioro paulatino de las condiciones traduciéndose en: envejecimiento del aislamiento.

Unidad generadora No-5. La unidad 5 se encuentra en la segunda etapa del piso de excitatriz Los datos de placa de la unidad generadora No.5 se encuentran en el piso de excitatriz.

1.2 Estado del arte

Durante el año se habían programado 19 Mantenimientos Rutinarios preventivos, sin embargo solo se efectuaron 9 de ellos con un total de 75.47 horas reales contra una meta de 258 horas. La Disminución en el Número de Mantenimientos fue por necesidades de ACOR al requerir la Unidad Generadora para cubrir el déficit de energía eléctrica.

Los mantenimientos realizados fueron principalmente para actividades electromecánicas, control y protecciones, mantenimiento al sistema de enfriamiento, filtros, válvulas, mantenimiento a equipos auxiliares y pruebas eléctricas al generador, regulador de tensión, regulador de velocidad. Mantenimiento a gabinetes del automatismo, cambio de fuentes de alimentación y pruebas de rodado.

Cada 3 años se le realiza el mantenimiento menor a la unidad 5 tal es el caso del presente año. De hace 27 años hasta la fecha se han registrado 10 mantenimientos menor de la unidad No. 5. En el año de 1990 [1] se empezaron a realizar los mantenimientos a la unidad No. 5, los cuales se realizaban durante 70 días para poder terminar todas las actividades programadas por parte de la empresa, los cuales creaban una ruta crítica para ir siguiendo las actividades paso a paso.

Posteriormente se realizó el segundo mantenimiento menor en el año de 1993 [2] el cual contaba de igual manera con un jefe de departamento, un jefe de mantenimiento, 4 técnicos superior, 5 técnicos y 15 personas adicionales los cuales realizaban las actividades programadas para salir en tiempo y forma, con esto pedían una licencia para una fecha y posteriormente la misma licencia la entregaban con la unidad disponible para generar.

Para el año 1996 [3] se programó también un mantenimiento menor a la unidad 5, con los mismos días disponibles para terminar la licencia que el CENACE autoriza para llevar acabo el mantenimiento de dicha unidad, de igual manera cuenta el departamento con un jefe de departamento, un jefe de mantenimiento, 4 técnicos superior, 5 técnicos y 15 trabajadores adicionales para concluir dichas actividades marcadas por la ruta crítica que el departamento tiene.

En el año de 1999 [4] se realiza también el mantenimiento menor de la unidad No.5 la cual sale a libranza por medio del CENACE el cual concede la licencia para que esta unidad entre en mantenimiento, de la misma manera se solicita el personal para llevar acabo las actividades marcadas por la ruta crítica que proporciona el departamento eléctrico.

En el año 2002 [5] se realiza el mantenimiento menor, el CENACE proporciona la licencia para que el personal del departamento eléctrico realice las actividades que proporciona el jefe de departamento en este caso el Ing. Humberto robledo, elaboro la ruta crítica de actividades a realizar, con esto se entrega en tiempo y forma la licencia para poner la unidad disponible para generar.

En el año 2005 [6] se solicita la licencia por parte de la empresa Comisión Federal de Electricidad al CENACE ya que la unidad 5 requería mantenimiento menor ya que en dicha unidad surgían distintas deficiencias al momento de generar, la cual dicha licencia fue otorgada para que la unidad entrara en mantenimiento menor y así el personal del departamento eléctrico realizara las actividades siempre y cuando se entregara en tiempo y forma la unidad para generar.

En el año 2008 [7] se solicita la libranza para mantenimiento menor de la unidad 5 con la finalidad de hacer más eficiente al momento de generar, el CENACE concede dicha licencia pero solo otorga 60 días de libranza, el cual se solicita más personal adicional para realizar las actividades que se programan en dicho mantenimiento, con las actividades ya realizadas se entrega la licencia al CENACE para dejar dicha unidad disponible para generar.

En el año 2011 [8] entra la unidad 5 en mantenimiento menor, para darle mantenimiento a partes importantes de la unidad, con esto otorgan 60 días de libranza para que el departamento y el personal adicional requerido realicen las actividades para que la unidad salga en tiempo y forma para entregar la licencia requerida y quede lista para generar.

En el 2014 [9] sale en libranza la unidad 5 para darle el mantenimiento adecuado para que su generación sea eficiente al momento que la unidad generadora sea pedida por el CENACE para generar. El mantenimiento se realiza pero esta ocasión se reduce el personal por falta de presupuesto por parte de la empresa para poder solventar el sueldo de dichos trabajadores adicionales. La unidad se entrega en tiempo y forma lista para generar.

Hasta la fecha el último mantenimiento menor se realiza en el año 2017 [10], ya perteneciendo a la EPS1, (Empresa Productiva Subsidiaria 1) perteneciente a Hermosillo Sonora, la cual solicita la licencia pero reduce los días de mantenimiento a 50 días, de igual manera el personal para el mantenimiento es reducido, algunas actividades no se realizan para poder salir en tiempo y forma y dejar lista dicha unidad para disponible para generar.

1.3 Justificación

Vale la pena realizar este proyecto del mantenimiento menor de la unidad generadora número cinco de la Central Hidroeléctrica Malpaso, ya que este mantenimiento se realiza cada tres años, el cual hace más eficiente la unidad generadora para la producción de energía eléctrica. De esta manera el proyecto nos guarda los datos obtenidos durante el mantenimiento para tenerlos como antecedentes en el área de administración del departamento eléctrico.

Este proyecto nos indica cuales son los trabajos que se realizan durante el mantenimiento, el cual tiene una duración de cincuenta días. Las actividades realizadas deben terminarse en tiempo y en forma como lo marca el programa que nos presenta la subgerencia de Comisión Federal de Electricidad. Todos los departamentos tienen como finalidad realizar su función de manera eficaz para que todo termine correctamente y la unidad esté disponible para generar.

1.4 Objetivos

Realizar el mantenimiento menor de la unidad generadora No. 5 en los días disponibles que el CENAL nos otorga para realizar el mantenimiento de manera correcta.

Objetivos específicos. Efectuar el Mantenimiento Menor de la Unidad Generadora No. 5 de la Central Hidroeléctrica Grijalva, tendente a preservar y mantener en condiciones de disponibilidad, confiabilidad y operatividad, realizándose a la totalidad de sus partes, de acuerdo al programa de mantenimiento en el sistema de My SAP.

1.5 Metodología

En la 1.1 se muestra el diagrama bloques del mantenimiento mejor de la Unidad 5.

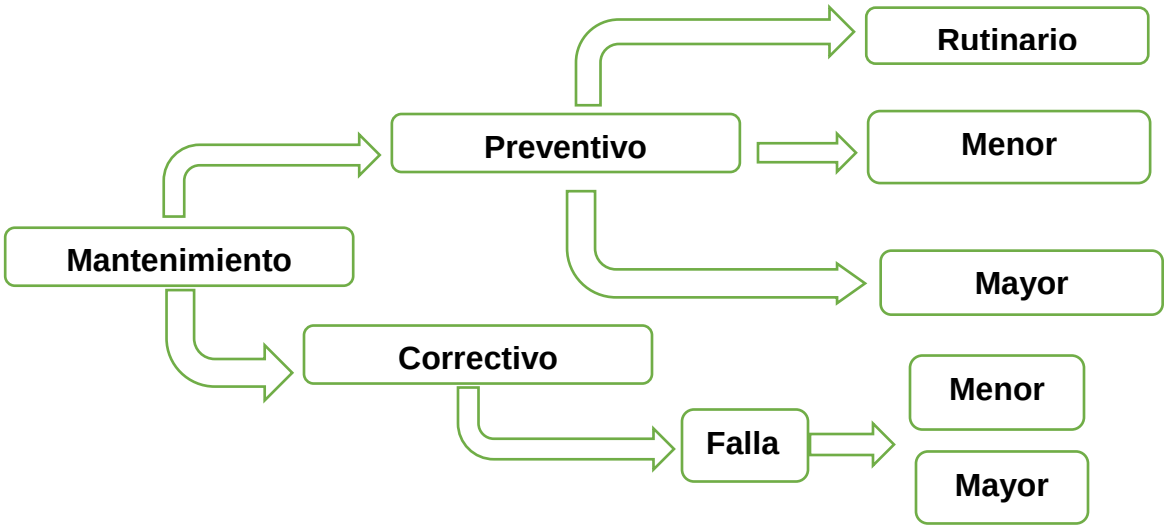

Fig.1 Clasificación del mantenimiento.

Mantenimiento. Consiste en preservar en condiciones de operación el equipo instalado. **Mantenimiento preventivo.** Es el mantenimiento que tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las intervenciones de sus puntos vulnerables en el momento oportuno.

Mantenimiento correctivo. Este mantenimiento también es denominado “mantenimiento reactivo”, tiene lugar luego que ocurre una falla o avería, es decir, solo actuara cuando se presenta un error en el sistema.

Mantenimiento rutinario. Es el que 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 en que “Operación Sistema” (CENACE) requiere la disponibilidad de sus condiciones normales de operación, por lo cual no se requiere desmontar la unidad.

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

Mantenimiento mayor. Es aquel en el que la disponibilidad de las unidades es afectada en un 100%. Su programación se hace basándose en las recomendaciones y especificaciones de los fabricantes y sus horas de operación, implicando desmontaje de piezas principales.

2. Fundamento teórico

2.1 Centrales hidroeléctricas

En una central hidroeléctrica se utiliza energía hidráulica para la generación de energía eléctrica. Son el resultado actual de la evolución de los antiguos molinos que aprovechaban la corriente de los ríos para generar energía. En general, estas centrales aprovechan la energía potencial gravitatoria que posee la masa de agua de un cauce natural en virtud de un desnivel. En su caída entre dos niveles del cauce, se hace pasar el agua por una turbina que transmite energía a un generador.

Las centrales hidroeléctricas aportan un porcentaje favorable en la producción de la energía eléctrica. Sin embargo juegan un papel fundamental ya que dada por su flexibilidad de operación que en un término de 5 minutos ya que puede inyectar potencia a la red eléctrica y también pueden adaptarse a las variaciones de la demanda. Por lo tanto, la energía hidroeléctrica es clave para la estabilidad y la garantía del Sistema Eléctrico de Potencia (S.E.P).

Una central hidroeléctrica es la que consigue aprovechar la energía contenida en una masa de agua situada en cierta altura, transformándola en energía eléctrica. Esto se logra por la caída de agua desde un nivel superior hasta un nivel inferior, pasado por el tubo de presión hasta el caracol. Después el agua golpea a la turbina hidráulica para que sea accionada a una gran presión y que la hace mover a una gran velocidad y a su vez hace la conversión de energía mecánica a eléctrica. En la figura 2.1 observaremos las partes de una central hidroeléctrica.

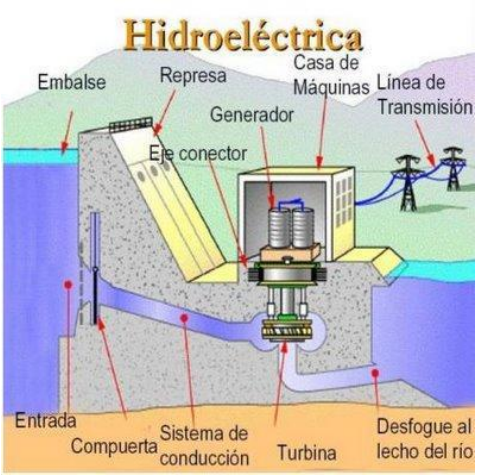

Fig. 1.2 *Generación en centrales hidroeléctricas. En esta imagen podemos encontrar algunas partes como el embalse, el generador, parte de desfogue, compuerta entre otras partes.*

2.2 Unidad de generación

La unidad de generación esta generalmente compuesta por una tubería 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 colocados 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. En la figura 1.3 podremos ver las partes del generador de una central hidroeléctrica.

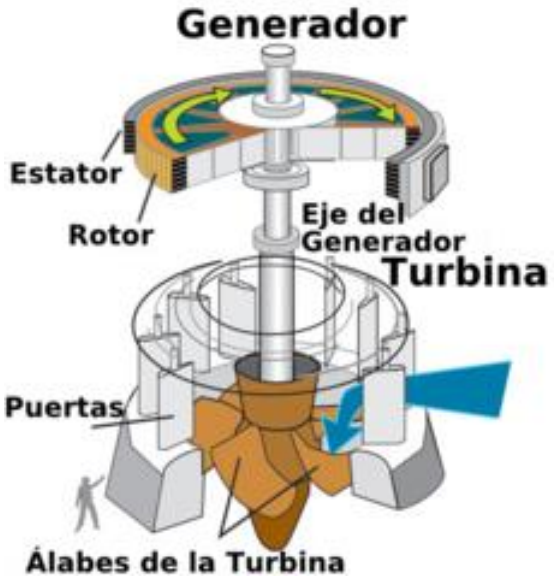

Fig. 1.3 *Partes importantes del generador de una central hidroeléctrica, estator, rotor, eje o flecha, turbina, alabes de las turbinas.*

2.3 Equipo eléctrico primario

Una central generadora, cuenta con un equipo eléctrico diverso el cual se puede clasificar de la siguiente manera. El equipo eléctrico primario son los equipos eléctricos que manejan la potencia y que integran el grupo del turbogenerador. Este equipo primario cuenta con un generador de potencia, bus de fase aislada, transformador de unidad o banco de transformadores, cables de potencia, cuchilla seccionadora, interruptor de potencia, transformadores de corriente, transformadores de potencial.

En la segunda parte del equipo eléctrico primario encontramos, apartarrayos y capacitores de máquina, apartarrayos del transformador de unidad, transformador del neutro, campo del generador, transformado de servicios propios, transformador de excitación, puente de tiristores, interruptor de servicios propios, interruptor de campo, todas estas partes son fundamentales para la generación de la energía en una central hidroeléctrica.

2.4 unidad de transformación

La unidad de transformación son máquinas eléctricas estáticas, cuya función es la de cambiar los parámetros de la energía eléctrica. Es decir, permite transmitir energía eléctrica desde un sistema con una tensión dada a otro sistema con una determinada tensión deseada. Arrollamiento primario, es aquel que se le aplicara la tensión que va a ser reducida o ampliada, dicho arrollamiento generara un campo magnético que inducirá una corriente eléctrica en el secundario.

Arrollamiento secundario: Hace referencia al bobinado que se verá inducido por el campo magnético producido por el arrollamiento primario, pudiendo adoptar de esta forma una corriente eléctrica cuando se cierra el circuito a través de sus extremos. Núcleo: es un armazón hecho de un metal ferroso y es por donde circulan las líneas de flujo magnético que produce el bobinado primario. En la figura 1.4 encontraremos una unidad de transformación de la C.H Malpaso.

Las redes eléctricas alimentadas con corriente alterna se hicieron cada vez más grandes, hasta dar origen a lo que hoy conocemos como SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA, el transformador es el dispositivo presente en sus etapas de generación, transmisión, distribución y utilización, diferenciándose una etapa de la otra por los niveles de voltaje de operación. En el sistema de México, los voltajes varían de generación, transmisión y distribución.

Generación: 1.2kv, 2.4Kv, 6.6Kv, 13.8Kv, 15Kv, 17Kv, 21Kv, siendo 30Kv, el voltaje máximo que se pueda emplear, en virtud de la rigidez dieléctrica máxima de los aislamientos con que se aíslan las bobinas de los estatores, obtenida con la mezcla de resina epoxica mica y fibra de vidrio. Esto es con referencia al área de generación.

Transmisión: el voltaje de transmisión empleado en sistemas eléctricos depende de la longitud máxima de los sistemas, para el caso de México el voltaje seleccionado fue de 400Kv. Para la red principal y 230KV, para la red secundaria. Distribución: el voltaje empleado en distribución es a partir de 115Kv, con dicho voltaje se distribuye la energía eléctrica, en los diferentes estados de la república, la selección de voltaje depende de la carga en la industria

Fig. 1.4 *Transformador de la unidad 5. Ubicado en la subestación elevadora, entro en mantenimiento por personal del departamento eléctrico y personal de la empresa IEM.*

3. Desarrollo

Mantenimiento menor de la unidad 5 de la C.H. Malpaso. En el inicio del mantenimiento menor de la unidad generadora No. 5 para llevar a cabo este mantenimiento se tiene que sacar una licencia la cual debe ser otorgada por el CENAL (Centro Nacional). Organismo encargado de administrar el control de energía de distintas regiones del país. Posteriormente se encuentra el organismo CENACE (Centro Nacional del Control de Energía). El cual autoriza el número de licencia para llevar a cabo el mantenimiento de una unidad generadora.

Este mantenimiento se hace con la finalidad de realizar actividades que son programadas por el sistema MY SAP. Con la finalidad de hacer eficiente la unidad generadora. Durante el primer día se entregaron las órdenes de trabajo con las actividades destinadas a distintos frentes del personal del departamento eléctrico.

Conocimiento de la C.H. Malpaso. Se realiza un recorrido en los 5 pisos que hay en la central hidroeléctrica Malpaso, los nombres de los pisos son: Piso de excitación, piso de generadores, piso de turbinas, piso de válvulas y piso de aspiración, así como todos los equipos y dispositivos que se encuentran en esta central. Se realiza recorrido en la subestación elevadora de dicha central hidroeléctrica.

3.1 Rotor del generador

Traslado de maniobras del almacén y bodega a casa de máquinas, se realiza esta actividad para trasladar todos los materiales que se emplean para el mantenimiento del generador ya que estas son de gran utilidad para poder desmontar los polos y darle mantenimiento al generador. Dentro de los materiales se encuentran maniobras para retirar los polos, bancos de metal para cargar los polos y andadores para estancia del generador. En la figura (3.1) se realiza desconexión de barras.

Se realiza desconexión de barra de excitación del generador en apoyo al mecánico para desmontar el cubículo de la unidad generadora No. 5. Dentro de las actividades del generador se realiza también prueba de caída de tensión a los polos montados de dicha unidad voltaje aplicado 440VCA, pruebas de resistencia de aislamiento a barras de excitación parte baja, también se realiza prueba de entrehierro. En la figura (3.2) se realiza prueba de caída de tensión a polos montados.

Fig. 3.1 *Desconexión de barra de excitación en apoyo al Depto. Mecánico para desmontaje del cubículo de la unidad No.5.*

Fig.3.2 *En la figura se realiza la prueba de caída de tensión a polos montados, para obtener los valores, el voltaje aplicado fue de 440 VCA.*

Se realiza limpieza a las barras de excitación y entre hierro de los polos, pruebas de resistencia de aislamiento a barras de excitación, y se realizó el traslado de las bobinas del almacén a casa de máquinas, son bobinas que ya están reparadas y son aptas para ser colocadas en los polos que se van a reparar en el mantenimiento. Estas bobinas ya son reparadas por parte de una empresa de monterrey las cuales ya están en condiciones para sustituir las dañadas.

Se realizó inspección a la tornillería de los polos y a los polos para determinar en qué estado se encuentran y verificar cuales son los polos posibles a cambiarse en el próximo mantenimiento. Retiro de resistencias del generador. Se retiran las resistencias del generador en apoyo al departamento mecánico, con la finalidad de liberar espacio en su área de trabajo, la actividad realizada por el departamento mecánico es el retiro de los gatos de frenado. En la fig. (3.3) podemos observarlo.

Fig.3.3 *Se retiran las resistencias en apoyo al mecánico para desenergizar el generador y el mecánico pueda trabajar en los gatos de frenado.*

Se realiza desconexión de los polos que se van a desmontar para el mantenimiento, esto con la finalidad de realizar las actividades del generador, los polos a desmontar son el 7,8,9,13,14,15,41,42,43,21,24,32,35,36,37, desconexión de polos para extracción de los mismos y darle limpieza, mantenimiento y realizarle pruebas de resistencia de aislamiento, así como pruebas de caída de tensión entre espiras. En la figura (3.4) podemos observar la desconexión de polos.

Fig.3.4 *Se realiza la desconexión de los polos magnéticos para realizarle limpieza y mantenimiento a los polos desmontados.*

Dentro de las actividades del generador se realiza el mantenimiento de la quebradora de campo (41G) la cual se encarga de proteger a la unidad generadora y es indispensable realizar mantenimiento a dicha quebradora ya que recientemente han surgido fallas en dicha quebradora. Se desmonto la quebradora y se cambió la tornillería ya que la que tenía no estaba en buenas condiciones. En la figura (3.5) podemos observar el mantenimiento a la quebradora de campo 41G.

Fig.3.5 Se realiza limpieza a la quebradora de campo, se le realiza el desmontaje de dicha quebradora.

Se realiza la medición de pruebas de entrehierro es importante en una maquina rotatoria y más si es un generador porque se puede diagnosticar posibles fallas en el rotor como las vibraciones. En la unidad No. 5 se hizo la medición de entrehierro desde los polos hasta el laminado del estator, el entrehierro ideal es de 22mm desde el polo al laminado del estator.

Por los años de uso hacen que se deforme geométricamente 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 este un poco más inclinado por el desbalance. En la figura (3.6) podemos apreciar la prueba realizada por parte del departamento eléctrico.

Fig.3.6 *Se realiza la prueba de entrehierro para poder obtener la separación que hay entre polo y polo y así ver el balance que hay en el rotor.*

Se realiza mantenimiento al metal clad que es el banco de TP'S (transformador de potencia), Se realiza limpieza, reapriete y mantenimiento así como pruebas de resistencia de aislamiento al metal clad, que sirve para la medición de voltajes, lo utiliza el departamento de protecciones para verificar el registro de voltajes en las protecciones de falla. En la fig. (3.7) se observa el mantenimiento al metal clad.

Fig. 3.7 *Se realiza mantenimiento al metal clad, con la finalidad de realizar reapriete a la tornillería y hacerle prueba de resistencia de aislamiento a capacitores.*

Se realiza el desmontaje de polos de la unidad No. 5, para realizar limpieza y mantenimiento de dichos polos desmontados, esto con la finalidad de aplicarle barniz aislante y silicón en el anillo superior aislante, con la finalidad de que no entre suciedad entre el núcleo y la bobina polar. En la fig. (3.8) podemos observar el desmontaje y mantenimiento de los polos.

Fig. 3.8 *Se realiza desmontaje de los polos para limpieza y mantenimiento de dichos polos.*

Durante la actividad del desmontaje de los polos, se trasladan a la playa de montaje, esto con la finalidad de realizar pruebas de resistencia de aislamiento y pruebas de caída de tensión de dichos polos. Siguiendo con el procedimiento la siguiente actividad consta de detectar los polos que tienen baja resistencia, al detectar los polos se realiza limpieza y mantenimiento en este caso es el polo No. 7 el cual tuvo una baja resistencia.

La limpieza y mantenimiento de los polos consta de desarmar cada uno de ellos, separando la bobina del núcleo con ayuda de la grúa viajera que por medio de esta y empleando las maniobras adecuadas podemos hacer la separación del núcleo de la bobina para darle el mantenimiento adecuado o de lo contrario cambiar dicha bobina dañada. Fig. (3.9) playa de montaje de polos.

Se eliminan barras de fibra de vidrio para que las bobinas reparadas se adapten de manera adecuada al núcleo del polo, en caso que dicha bobina no se adapte de manera adecuada se tiene que rebajar utilizando un formón para eliminar placas de fibra de vidrio y esta pueda adaptarme de manera adecuada.

Fig. 3.9 *Limpieza a los polos desmontados, ubicados en la playa de montaje para su limpieza y mantenimiento.*

Para concluir con las actividades del rotor en la parte del generador, se realiza el montaje de los polos que fueron extraídos para su limpieza y mantenimiento, posteriormente el departamento eléctrico monta los polos para balancear la parte del rotor. También se realizó la limpieza de cada uno de ellos ya que estaban montados en su lugar con la finalidad de limpiar las impurezas que a estos pueden afectar.

3.2 Estator del generador

En las actividades en la parte del estator se realizan distintas actividades las cuales son de gran importancia para el mantenimiento menor de la unidad 5, ya que por medio de ellas se realizan pruebas, limpieza y mantenimiento a la parte importante el cual es el estator. Primeramente se realiza pruebas de resistencia de aislamiento, así como pruebas de campo y conjunto al estator. Fig. (3.10) personal del departamento eléctrico realiza las pruebas iniciales.

Se realiza el retiro de tapas antiderrapantes con la finalidad de poder realizar los trabajos marcados por el sistema, dentro del estator y generador de dicha unidad, de lo contrario no se pueden realizar las actividades ya que estas tapas están montadas. Las tapas antiderrapantes se desmontan con la ayuda de la grúa viajera situada dentro de casa de maquinas la cual tiene un soporte para aguantar 240 toneladas. En la fig. (3.11) podemos observar el desmontaje de las tapas.

Fig. 3.10 *Se realiza prueba de Resistencia de aislamiento, prueba de campo y conjunto por parte del personal del Depto. Eléctrico*

.

Fig. 3.11 *Retiro de tapas antiderrapantes por parte del departamento eléctrico.*

Desconexión de trenzas lado fase y lado neutro. En esta actividad se realiza la desconexión de trenzas para realizar pruebas de resistencia y aislamiento por parte del departamento eléctrico así como mantenimiento y limpieza al generador y posteriormente se realiza pruebas eléctricas tales como pruebas del SID, Descargas parciales, descargas a la ranura, pruebas de toroide y resistencia de aislamiento por parte de LAPEM (Laboratorio de Pruebas de Equipos y Materiales).

Dentro de las actividades del estator también se realiza el retiro de tolvas de fibra de vidrio las cuales se encargan de proteger la parte del estator con la finalidad de que no le entre suciedad o demasiado polvo a dicha parte, ya que aunque cuente con las tapas antiderrapantes pueden colarse impurezas en dicho estator e incluso en el generador. En la figura (3.12) veremos la desconexión de las trenzas lado fase del generador. En la figura (3.13) podemos apreciar el retiro de tolvas de fibra de vidrio.

Fig. 3.12 *Desconexión de trenzas del lado de fase del generador, basado en las actividades del estator.*

Fig. 3.13 *Desmontaje de tolvas de fibra de vidrio con la finalidad de realizar trabajos en la parte del estator.*

Se realiza prueba de resistencia de aislamiento al generador por fase del lado de fase y lado del neutro, esto con la finalidad de obtener los valores para determinar en qué condiciones se encuentra el generador por la parte del estator, así como también se realiza la limpieza de las trenzas desconectadas del estator, se les da limpieza con material simple Green y fibra scotch para quitarles el sarro que tienen las trenzas.

Se realiza inspección y limpieza al devanado del estator con la finalidad de localizar en caso que haya alguna imperfección sobre el devanado, esto se realiza para reparar o darle mantenimiento a dicho devanado en caso que este mismo esté dañado. Posteriormente se realiza una limpieza con trapo industrial y una aspiradora para limpiar el polvo acumulado al momento de quitar las tapas antiderrapantes y las tolvas de fibra de vidrio. En la fig. (3.14) podremos observar.

Se realiza limpieza y sopleteo a los cabezales superior e inferior del estator, así como observar en caso que haya algún efecto corona en cualquiera de los dos cabezales del estator, esto se realiza en caso que haya algún efecto darle mantenimiento para eliminarlo. Se realiza limpieza, mantenimiento y reapriete de tablillas así como interruptores, arrancadores y contactores del centro de control de motores (CCM). En la fig. (3.15) podremos ver el mantenimiento al CCM.

Fig. 3.14 *Se realiza limpieza y sopleteo en los cabezales y devanados del estator con la finalidad de limpiar la suciedad que hay en dicho devanado.*

Fig. 3.15 *Este trabajo se realiza en conjunto con el departamento de operación ya que son los que reciben el CCM después de cada mantenimiento.*

Esta actividad se realiza con la finalidad de limpiar, sopletear el devanado del estator para que posteriormente se revise el acuñado del estator por medio de un martillo chico y de acuerdo al sonido que emite se determina si se lleva el reacuñado o no, todo esto se registra en un formato oficial otorgado por el jefe de departamento eléctrico, este formato ayuda a detectar las cuñas que se encuentran flojas en el estator para así llevar a cabo un reacuñado. Fig. (3.16) limpieza a cabezal inferior.

La limpieza que se llevó a cabo en esta zona es con la finalidad de limpiar el área donde se trabajara en la parte del cabezal inferior donde se revisara el sondeo de las cuñas que no están en buenas condiciones para darle mantenimiento. Para realizar esta actividad se necesitan maniobras para poder meter a una persona con su respectivo martillo para identificar cuáles son las cuñas que están flojas del estator para así realizar un reapriete.

Actividad realizada para mejorar la eficiencia del estator y de la unidad generadora No. 5. Durante el mantenimiento menor, estas actividades en el estator son de gran importancia. El sondeo del acuñado se realiza para verificar cuales son las cuñas que se encuentran flojas y así posteriormente realizar un reapriete, sopleteado, y la limpieza del estator hacen más eficiente el trabajo de dicho estator.

Fig. 3.16 *Se realiza limpieza en el área del cabezal inferior del estator de la unidad 5 para que el personal pueda trabajar.*

Fig. 3.17 *Se realiza la detección de cuñas flojas del estator, se utilizan maniobras para meter al personal a la revisión de dichas cuñas.*

Se realiza el mantenimiento en el anillo de bloqueo así como el cambio de amarres utilizando baquelita como separadores entre los puentes, en cada amarre aplicar calor a la cinta termo contráctil y aplicar barniz aislante. Estas actividades son de gran importancia para la parte del estator del generador ya que por medio de ellas se le da mantenimiento para que el generador sea más eficiente a la hora de generar. En la fig. (3.18) se puede observar el mantenimiento al anillo de bloqueo.

Fig. 3.18 *Se realiza limpieza, reapriete y mantenimiento al anillo de bloqueo.*

Para terminar el mantenimiento en la parte del estator, se concluye con el reapriete de las cuñas, la limpieza general a los cabezales parte superior e inferior, lavado de tolvas de fibra de vidrio, el encintado del anillo del bloqueo y la puesta de las tolvas y tapas antiderrapantes de la unidad No.5 todo con la finalidad de hacer más eficiente a la parte del estator.

3.3 Transformador de potencia

Las actividades que se realizaron en el transformador de potencia en la subestación elevadora Fase A, B, C fueron por parte del personal del departamento eléctrico y por parte de la empresa IEM. La primer actividad en la subestación elevadora fue el traslado de los moto ventiladores para el transformador de la unidad 5 y sus tres fases, (A, B, C). En casa de máquinas se realiza pruebas al transformador de excitación y de servicios propios.

La prueba de resistencia de aislamiento que se le realizo al transformador de excitación y al transformador de servicios propios es para ver la resistencia de aislamiento a los devanados, los valores de resistencia de aislamiento y se comparan con las pruebas del historial, esa prueba nos arroja un índice de polarización que nos indica si el aislamiento esta húmedo o contaminado, se establecen criterios sobre la condición del aislamiento para operar.

Dentro de las actividades en el transformador se realizó el traslado de boquillas y tambos de aceite para realizar el cambio a dichos transformadores de las diferentes fases. Los trabajos que se realizan al transformador se hacen con la finalidad de darle mantenimiento con el propósito de mejorar su eficiencia al momento de. En la imagen (3.19) se muestran las actividades que se realizan en el transformador de la unidad 5.

Fig. 3.19 *Inspección de boquillas dañadas para realizar el cambio así como la revisión del nivel de aceite del transformador.*

Se realiza el retiro de envolventes de la fase A y de la fase C. Se realizan trabajos en la subestación elevadora, con la finalidad de mejorar las condiciones del transformador de potencia No. 5, se le da mantenimiento a las boquillas del transformador así como cambio de las boquillas, también se le realizan las pruebas adecuadas por parte de LAPEM y de IEM. LAPEM realizo la prueba de respuesta a la frecuencia en dicho transformador. En la imagen (3.20) se aprecia la prueba.

Como actividades extras dentro de casa de máquinas por parte de LAPEM, se realizan pruebas de SFRA: Análisis de Respuesta al Barrido de la Frecuencia. Esta prueba eléctrica se realiza con la finalidad de detectar fallas mecánicas, para ver si todos los componentes del transformador están en su sitio correcto, a esta misma se le puede meter de 10Mhertz a 10Hertz para que posteriormente nos arroje los valores a una gráfica que es comparada por años anteriores.

En la subestación elevadora se llevaron actividades por parte de empresas como LAPEM E IEM. Esto con la finalidad de darle mantenimiento a los transformadores de potencia de dicha subestación ya que se requiere que trabajen de manera eficiente, las actividades que se realizaron fueron pruebas a transformador de la FASE B y pruebas a las boquillas nuevas y se realizó inspección interna al transformador para inspeccionar sus conexiones y devanados. Imagen (3.21).

Fig. 3.20 *Prueba realizada por LAPEM, prueba de respuesta a la frecuencia del transformador.*

Fig. 3.21 *Inspección al transformador 5 de la fase B, para identificar fallas en las boquillas y el nivel de aceite por parte del jefe de departamento.*

Se realiza el montaje de los moto ventiladores, ya que los que se encontraban instalados ya estaban dañados y no tenían la misma eficiencia para la ventilación del transformador, por lo que se montaron nuevos ventiladores para hacer el transformador más eficiente. Se realiza el reapriete y la conexión de trenzas del lado de baja del transformador 5 así como le conexión y montaje de los moto ventiladores.

4. Resultados y conclusiones

4.1 Prueba de resistencia de aislamiento

La prueba de resistencia de aislamiento a los devanados, los valores de la resistencia de aislamiento son comparados con los valores del historial, esto hace referencia al índice de polarización nos indica si el aislamiento esta húmedo o contaminado y se establecen criterios sobre la condición del aislamiento a operar. En la tabla (4.1) veremos la prueba que se le realizo al campo del generador.

DEPTO. DE MANTTO. ELECTRICO	**C.H. MALPASO**			FECHA	**30-10-2017**
EQUIPO	**GENERADOR**	MARCA	**ASEA**	No. SERIE	**6575241**
VOLTAJE	**15KV** KVA		**218-225000**	FREC **60 HZ**	RPM **128.57**
CONEXION					
TIEMPO DE OPERACIÓN				CLASE DE AISLAMIENTO	**F**

PARTE PROBADA	**CAMPO**														
VOLTAJE PRUEBA	500 VCD														
CONEXIÓN DE PRUEBA	LINEA GUARDA TIERRA			LINEA GUARDA TIERRA			LINEA GUARDA TIERRA			LINEA GUARDA TIERRA			LINEA GUARDA TIERRA		
	LECT.	K	M	LECT.	K	M	LECT.	K	M	LECT.	K	M	LECT.	K	M
15 SEG	**21.2**		**MΩ**												
30 SEG	**21.2**		**MΩ**												
45 SEG	**20.4**		**MΩ**												
1 MIN	**20.3**		**MΩ**												
2 MIN	**18.6**		**MΩ**												
3 MIN	**19.5**		**MΩ**												
4 MIN	**18.7**		**MΩ**												
5 MIN	**17.7**		**MΩ**												
6 MIN	**17.7**		**MΩ**												
7 MIN	**17.8**		**MΩ**												
8 MIN	**17.5**		**MΩ**												
9 MIN	**17.5**		**MΩ**												
10 MIN	**16.9**		**MΩ**												
RELAC 3/1															
RELACION 10/1	**0.8**														

Tabla. 4.1 *Formato de prueba de resistencia de aislamiento al generador.*

4.2 Prueba de entrehierro

Se realiza la medición de pruebas de entrehierro es importante en una maquina rotatoria y más si es un generador porque se puede diagnosticar posibles fallas en el rotor como las vibraciones. En la unidad No. 5 se hizo la medición de entrehierro desde los polos hasta el laminado del estator, el entrehierro ideal es de 22mm desde el polo al laminado del estator.

Por los años de uso hacen que se deforme geométricamente 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 este un poco más inclinado por el desbalance. En la tabla (4.2) podremos observar los valores que obtuvimos en la prueba.

MEDICION DE ENTREHIERRO

inferior

POLO #	ENTREHIERRO IDEAL (mm)	ENTREHIERRO REAL (mm)	
1	22	18.5	
2	22	18.9	
3	22	19.9	
4	22	19.6	
5	22	19.4	
6	22	19.5	
7	22	20.2	
8	22	19.9	
9	22	20.7	
10	22	21	
11	22	21	
12	22	21.8	
13	22	21.8	
14	22	21.9	
15	22	21.6	
16	22	21.3	
17	22	21.4	
18	22	20.9	
19	22	20.1	

20	22	20.3	
21	22	20.1	
22	22	20.5	
23	22	20.2	
24	22	20.5	
25	22	19.8	
26	22	19.4	
27	22	19.9	
28	22	18.9	
29	22	19.3	
30	22	19.9	
31	22	20	
32	22	20.7	
33	22	20.2	
34	22	19.9	
35	22	20.7	
36	22	20.7	
37	22	20.1	
38	22	19.8	
39	22	20.7	
40	22	20.7	
41	22	20.8	
42	22	20.9	
43	22	19.5	
44	22	19.5	
45	22	19.5	
46	22	19.5	
47	22	19.7	
48	22	19.6	
49	22	19.6	
50	22	19.7	

51	22	19.7	
52	22	19.8	
53	22	19.1	
54	22	18.9	
55	22	18.9	
56	22	18.3	

DEPTO. MANTTO. ELECTRICO

CFE GENERACION I
CENTRAL HIDROELECTRICA MALPASO
DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO ELECTRICO

MEDICION DE ENTREHIERRO

SUPERIOR

POLO #	ENTREHIERRO IDEAL (mm)	ENTREHIERRO REAL (mm)	
1	22	19.2	
2	22	19.7	
3	22	20.9	
4	22	19.9	
5	22	20.2	
6	22	20.7	
7	22	20.9	
8	22	20.6	
9	22	20.3	
10	22	20.8	
11	22	20.3	
12	22	20.8	
13	22	21.2	
14	22	21.4	
15	22	19.9	
16	22	19.8	
17	22	20.2	
18	22	19.6	

19	22	18.5	
20	22	19.2	
21	22	19.0	
22	22	19.3	
23	22	18.9	
24	22	19.6	
25	22	18.8	
26	22	18.6	
27	22	19.2	
28	22	18.5	
29	22	18.7	
30	22	19.2	
31	22	19.4	
32	22	20.7	
33	22	19.8	
34	22	20.2	
35	22	20.7	
36	22	20.8	
37	22	20.8	
38	22	21.2	
39	22	21.6	
40	22	21.7	
41	22	21.8	
42	22	21.6	
43	22	20.3	
44	22	20.8	
45	22	20.8	
46	22	20.7	
47	22	19.9	
48	22	19.9	
49	22	19.7	

50	22	19.5	
51	22	19.6	
52	22	19.3	
53	22	19.5	
54	22	19.3	
55	22	19.2	
56	22	18.9	

Tabla 4.2 *Resultados de la prueba de entrehierro realizadas por parte del departamento eléctrico.*

4.3 Prueba de caída de tensión a polos magnéticos

El esfuerzo mecánico de los devanados de rotor produce fallas entre espiras (cortocircuitos) que pueden provocar un desequilibrio magnético en los generadores y motores. Esto causa mayores vibraciones del eje y, como resultado, un mayor esfuerzo y daños de los cojinetes. Similar al análisis de respuesta en barrido de frecuencia (SFRA), la prueba de caída de polos se realiza en devanados unipolares con la máquina parada.

Se inyecta una corriente de CA en los anillos de deslizamiento para energizar los devanados de polos. Midiendo la caída de tensión de cada polo entre los conectores del devanado de polos, se puede determinar la impedancia. Una comparación de los resultados de medición de cada polo o con mediciones anteriores identifica posibles fallas entre espiras del devanado de polos.

PRUEBA DE CAIDA DE TENSION POLOS DE UNIDAD 5

VOLTAJE DE PRUEBA: **440 VCA** CORRIENTE DE PRUEBA:

POLO #	VOLT.	POLO #	VOLT.	POLO #	VOLT.
1	8.12	21	8.01	41	7.73
2	7.37	22	7.79	42	7.93
3	7.55	23	7.79	43	7.48
4	7.76	24	7.83	44	7.20
5	7.23	25	7.73	45	7.69
6	7.09	26	7.56	46	7.98
7	7.53	27	7.55	47	8.43
8	7.75	28	7.73	48	8.75
9	8.31	29	8.40	49	8.39
10	8.23	30	8.39	50	8.71
11	7.87	31	8.24	51	8.70
12	7.91	32	8.04	52	8.30
13	8.35	33	7.70	53	8.23
14	7.97	34	7.47	54	8.15
15	6.88	35	7.67	55	8.25
16	7.18	36	7.99	56	8.48

17	**7.99**	37	**7.83**		
18	**7.90**	38	**7.65**		
19	**7.31**	39	**7.65**		
20	**7.99**	40	**7.35**		

Tabla. 4.3 *Formato de prueba de caída de tensión por espiras.*

4.4 Conclusión

El mantenimiento menor es esencial para la unidad ya que por medio de el podemos hacer que la unidad generadora sea más eficiente y tenga menos fallas, con las actividades que se realizan durante dicho mantenimiento la unidad debe quedar parada y disponible para generar en caso que sea pedida por el CENACE (Centro Nacional de Control de Energía).

Durante el mantenimiento se realizaron distintas pruebas a los diferentes equipos y partes del generador tal es el caso de la prueba de resistencia de aislamiento, relación de transformación al transformador de servicios propios y al transformador de excitación, obteniendo los valores fueron comparados con el historial de pruebas de dicha unidad y los resultados nos dieron valores similares los cuales son aptos para los equipos.

Se realizó también pruebas de campo y conjunto al generador la cual también resulto de manera exitosa ya que los valores coinciden con el historial, el generador se encuentra en buen estado. Todas las actividades que se realizaron se hicieron de manera correcta, la unidad generadora se hizo más eficiente en su funcionamiento, quedo parada y disponible para generar. Cabe mencionar que la licencia se entregó en tiempo y forma al Centro Nacional de Control y Energía.

Durante el mantenimiento se realizaron distintas pruebas las cuales comparamos con los resultados del historial y encontramos valores similares y otros aproximados, con estas referencias apreciamos que por parte de la prueba de resistencia de aislamiento el generador se encuentra en buenas condiciones y el factor humedad no afecta, por otra parte en la prueba de caída de tensión a polos magnéticos nos dice que las espiras de los polos se encuentran en buen estado.

Referencias bibliográficas

[1] Alejando Rogelio Avelino Pérez Espinoza, Mantenimiento eléctrico en centrales generadoras, primera edición, Ingeniería, capacitación y comercialización. Enero 2016

[2] Alejandro Rogelio Avelino Pérez Espinoza, Maquinas eléctricas, primera edición, ingeniería, capacitación y comercialización. Marzo 2015

[3] Beatriz Vázquez Blömer, formación de centrales hidroeléctricas, ediciones paraninfo S.A. 1994

[4] José Aguilar Idáñez, Formación de Empresas Eléctricas, Ediciones paraninfo S.A. 1993

[5] José Francisco Sanz Osorio, Energía Hidroeléctrica, Editorial Prensas, creado en el año 2008.

[6] Ramiro Ortiz Flores, Pequeñas centrales hidroeléctricas, Ediciones de la U, primera edición 2011.

[7] Santiago García Garrido, Operación y Mantenimiento a generadores, editorial DIAZ DE SANTOS, edición 2011.

[8] Francisco Jurado Melguizo, Generación y transporte de energía eléctrica, editorial Research Singpost, año 2007.

[9] Ángeles Medina Quesada: Jesús de la Casa. Francisco Jurado Melguizo, editorial @becedario, año 2010.

[10] R. Guirado - R. Asensi - F. Jurado - J. Carpio, tecnología eléctrica, editorial McGraw-Hill, año 2006.

Anexo A: Materiales Empleados

Durante el mantenimiento se requieren una serie de materiales, los cuales son de gran importancia para la reparación y sustitución de algunos de ellos, esto se hace con la finalidad de reparar o sustituir materiales que ya se encuentran en mal estado. Los materiales se adquieren por medio de formatos (SEDIR compras locales de $0.00 a $70,000) (SOLPED compras de $70,000 en adelante) entre otros.

En este mantenimiento se realizaron compras de tornillería de distintas medidas, así como también se ocuparon distintas herramientas para realizar las distintas actividades que se realizaron en el mantenimiento así como: desarmadores (cruz y plano), pinzas (eléctrica, de corte, de punta y de presión), llaves allen, fibras scotch, solvente dieléctrico, trapo industrial, cinta (aislante, galvanizada, tape, fibra de vidrio y termo contráctil), peladoras de cable.

También se utilizó tornillería de 1/2 pul. ¼ pul. 3/8 pulgadas, aceite para transformadores, juego de dados de diferentes medida, barniz aislante, brochas de diferentes medidas, resina, catalizador, pizarra, aspiradoras, simple Green, papel nomex, nilón, focos de 127v, 220v, soquet normal y soquet mogul, extensiones eléctricas, soga, silicón, formón, entre otros materiales.

Anexo B: Equipo de prueba

Se utilizaron distintos equipos para realizar las pruebas, tal es el caso de los amperímetros marca Fluke para la medición de voltajes y resistencias. Equipo Megger Mit/520 para realizar pruebas de resistencia de aislamiento, prueba de conjunto. Equipo Hipotronic para realizar las pruebas de medición de aceite. Equipo Idax para la medición de factor de humedad y el equipo Kelman para analizador de gases.

Anexo C: Organigrama de la empresa

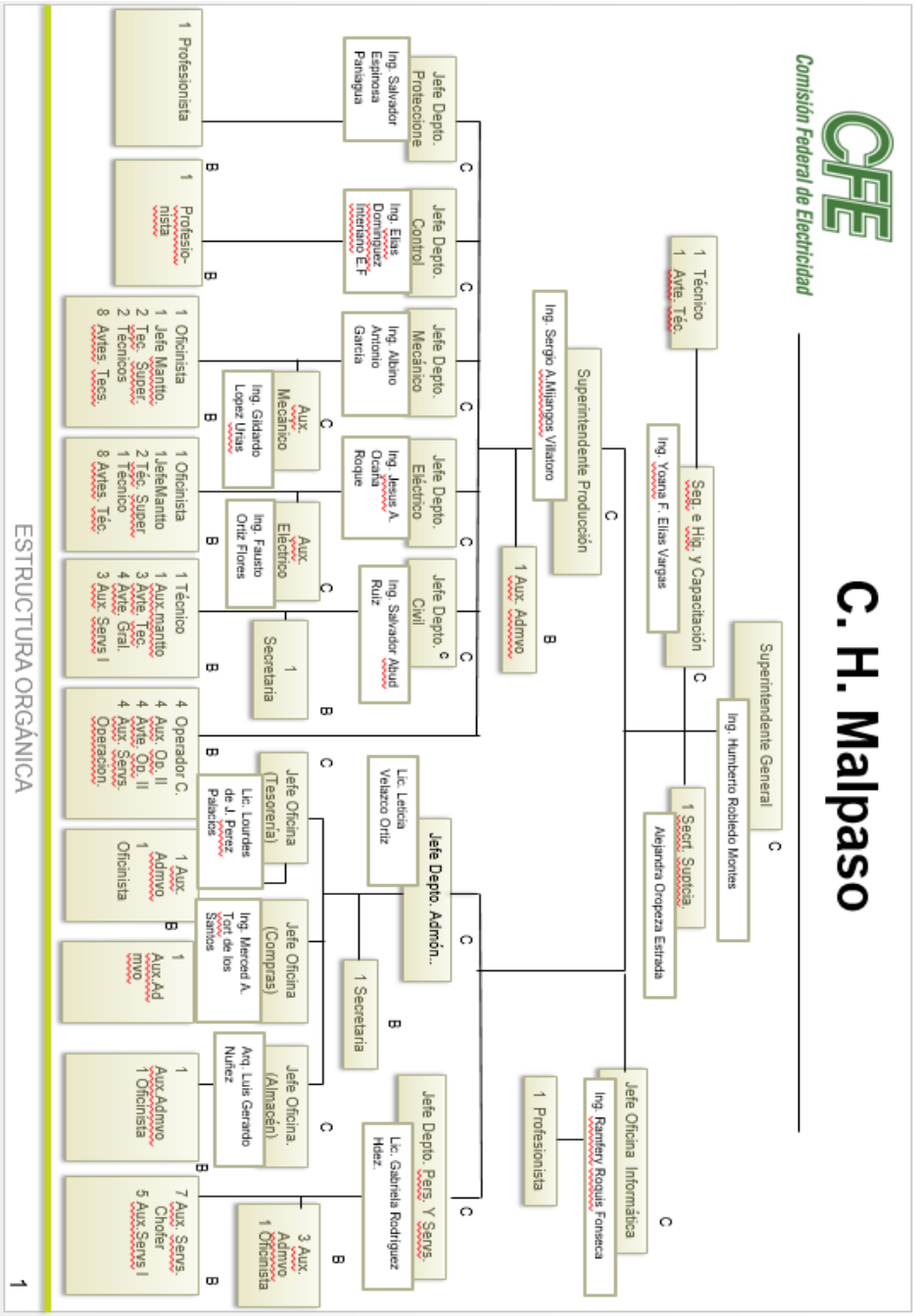

Fig. *Organigrama de la central hidroeléctrica Malpaso.*