

REPORTE TECNICO DE RESIDENCIA PROFESIONAL

TITULO:

Programa de Mantenimiento Menor a la Unidad Generadora No. 8 Chicoasen

ALUMNO:

Jorge Iván Domínguez Maldonado

No. CONTROL:

15270514

ASESOR INTERNO:

Dr. José del Carmen Vázquez Hernández

ASESOR EXTERNO:

Ing. Rene Esquinca Espinosa

COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD CENTRAL HIDROELECTRICA MANUEL
MORENO TORRES (CHICOASEN)

DEPARTAMENTO ELÉCTRICO

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, 8 de junio del 2019

Índice general

1. Introducción	5
1.1 Antecedentes.....	5
1.2 Estado del arte.....	6
1.3 Justificación	7
1.4 Objetivos	8
1.5 Metodología	9
2.Fundamento teórico.....	11
2.1 Definición de Mantenimiento	11
2.2 Tipos de mantenimiento	12
2.2.1 Mantenimiento correctivo o reactivo	12
2.2.2 Mantenimiento preventivo	13
2.2.3 Mantenimiento predictivo o sintomático	14
2.2.4 Mantenimiento Cero Horas (Overhaul):	15
2.3 Mantenimiento menor	15
2.4 Sistema Kantiano de mantenimiento	16
2.4.1 Niveles de mantenimiento	17
2.5 Instrumentos avanzados específicos técnicos.....	20
2.5.1 Inspección visual, acústica y al tacto de componentes.....	20
2.5.2 Vigilancia de temperaturas	20
2.5.3 Control de corrosión.....	21
2.5.4 Resistencia eléctrica	21
2.5.5 Lubricación, engrase y aceites.....	22
2.5.6 Líquidos penetrantes.....	22
2.6 Generadores síncronos.....	23
2.6.1 Partes y componentes de los generadores síncronos	23
2.6.2 La velocidad de rotación de un generador síncrono.....	29
3.7 Normas que aplican	30

3. Desarrollo.....	35
3.1 Primera parte del mantenimiento.....	38
3.2 Segunda parte del mantenimiento.....	39
3.3 Transformador de potencia	40
3.4 Auxiliares.....	40
3.5 Mantenimiento mecánico	41
3.6 Pruebas realizadas después del mantenimiento	42
3.6.1 Ejecución de las pruebas al generador.....	42
3.6.2 Ejecucion de las pruebas al transformador.....	43
3.7 Etapa final del mantenimiento a la máquina síncrona numero 8.....	45
4. Resultados y conclusiones	46
5. Referencias bibliográficas	47
6. Anexos.....	48
Anexo A	48
Anexo B.....	54

Índice de figuras

Imagen 1 - Elementos de un sistema.	17
Imagen 2 - Niveles y categorías del mantenimiento bajo enfoque sistemático.	17
Imagen 3 - Partes de un generador sincrónico.	23
Imagen 4 - Un rotor de seis polos salientes de una máquina síncrona.	27
Imagen 5 - Esquema de excitación que incluye un excitador piloto.	29
Imagen 6 - Formato 8.1 Equipo crítico del sistema de excitación.	48
Imagen 7 - Formato 8.2 Pruebas al equipo crítico del sistema de excitación.	50
Imagen 8 - Formato 8.3 Variables críticas del sistema de excitación.	51
Imagen 9 - Formato 8.4 Equipo de prueba requerido.	53
Imagen 10 - Formato 8.5 Programación y priorización de pruebas.	53
Imagen 11 - Placa de datos del generador sincrónico.	54
Imagen 12 - Maniobra para el destape del generador.	54
Imagen 13 – Extracción de polos para su mantenimiento.	55
Imagen 14 – Trenzas del generador después de la limpieza.	55
Imagen 15 - Limpieza a interior del rotor.	55
Imagen 16 - Limpieza de la segunda etapa del generador.	56
Imagen 17 - Limpieza de anillos rozantes y cumacera superior.	56
Imagen 18 - Placa de datos del transformador de potencia.	57
Imagen 19 - Transformador de potencia.	57
Imagen 20 - Desconexión de trenzas de las boquillas del transformador de potencia.	58
Imagen 21 - Tablero de auxiliares.	58
Imagen 22 - Extracción de ventilador del AVR.	59
Imagen 23 - Pruebas de aislamiento con ayuda de un óhmetro megger.	59
Imagen 24 - Transformador elevador y reactor utilizados en pruebas.	60
Imagen 25 - Pruebas de descargas a armadura.	60
Imagen 26 - Conexión del equipo de medición de reactancias a las fases.	61
Imagen 27 - Conexión del resonador inductivo a fases de salida del generador.	61

Imagen 28 - Prueba de resonancia inductiva para devanados de cada transformador del banco del generador síncrono No. 8.	62
Imagen 29 - Prueba de rompimiento de aislamiento del aceite de los transformadores.	62
Imagen 30 - Prueba de factor de potencia del aceite de los transformadores.....	63
Imagen 31 - Limpieza de baterías y barras de conexión del banco de CD.....	63
Imagen 32 - Colocación de polos al rotor.....	64
Imagen 33 - Colocación de trenzas de las salidas y neutro del generador síncrono.	64
Imagen 34 - Prueba de impedancia a polos.....	65
Imagen 35 - Colocación de tolvas.....	65
Imagen 36 – Cierre del generador síncrono.....	66

Índice de diagramas de flujo

Diagrama de flujo 1 - Procedimiento del mantenimiento.	10
---	----

Índice de tablas

Tabla 1 - tabla de desarrollo del mantenimiento del generador síncrono.	35
--	----

1. Introducción

La necesidad de la industria de generación eléctrica de asegurar el correcto funcionamiento de los equipos de producción, así como de obtener de ellos la máxima disponibilidad, ha originado una significativa evolución del mantenimiento industrial en las últimas décadas, pasando de métodos puramente estáticos (a la espera de la avería) a métodos dinámicos (seguimiento funcional y control multiparamétrico) con la finalidad de predecir las averías en una etapa incipiente e incluso llegar a determinar la causa del problema y, por tanto, procurar erradicarla.

Según afirma J.P Souris (1992), el instrumento de producción debe responder a un objetivo fundamental: disponibilidad con una calidad de servicio óptima. Las modernas técnicas de verificación del estado de los equipos e instalaciones contribuyen de manera notable al logro de este objetivo, además, mediante la adecuada selección de filosofías y métodos de mantenimiento, una disminución de los costes productivos.

Desde el principio de los tiempos, el hombre siempre ha sentido la necesidad de mantener su equipo, aún las más rudimentarias herramientas o aparatos. Al principio solo se hacía mantenimiento cuando ya era imposible seguir usando el equipo. A eso se le llamaba "mantenimiento de ruptura o reactivo".

1.1 Antecedentes

En mantenimiento, se agrupan una serie de actividades cuya ejecución permite alcanzar mayor grado de confiabilidad en los equipos, máquinas, construcciones civiles, instalaciones, entre otras. También se define mantenimiento como, "conjunto de técnicas que tienen por objeto conseguir una utilización óptima de los activos productivos, manteniéndolos en el estado que requiere una producción eficiente con unos gastos mínimos." La confiabilidad de un sistema complejo, compuesto por una

serie de piezas, puede llegar a ser muy mala a pesar de una no muy mala confiabilidad individual.

Es particularmente cierto cuando es la mano de obra uno de los componentes. En efecto, si no llevamos a cabo una actividad de mejora y de control será muy difícil obtener confiabilidades resultantes elevadas. También es cierto que es a través de esta actividad de mejora donde se puede lograr la diferencia entre un buen y un mal servicio como producto.

1.2 Estado del arte

El hombre ha sentido la necesidad de mantener sus maquinarias y equipos de trabajo en óptimas condiciones. Los mantenimientos se practicaban al momento de la falla, es decir, mientras el equipo estaba en funcionamiento, a este acontecimiento se le llamó mantenimiento reactivo o de ruptura, también conocido como mantenimiento correctivo.

En el siglo XX, un grupo de ingenieros japoneses iniciaron un concepto diferente en mantenimiento, que se apegaban o guiaban de las recomendaciones del fabricante del equipo, las cuales hacían referencia a las limitaciones del equipo, forma y cantidades de trabajo al día, tipo de mantenimiento, forma de operar, maquinarias y materiales a utilizar en el mantenimiento. A esta nueva tendencia se le llamó mantenimiento preventivo. (Ing. Gustavo Cervantes González, 2011, Realizar el plan de mantenimiento preventivo de la maquinaria del departamento de marcos y molduras en la empresa antiguo arte europeo s. a. de c. v).

El año 1970 dio lugar a la globalización del mercado, lo que trajo consigo fuertes competencias entre las compañías por ser cada día más competitivas y escalar niveles más altos en comparación con las demás empresas.

A partir del año 1990 se les da la verdadera importancia a los sistemas de mantenimiento como parte integral del sistema de producción y como apéndice del sistema de calidad total, que muchas empresas utilizan eficazmente.

En el año 2002 el mantenimiento industrial no sólo entrenaba como al inicio departamentos específicos, sino que también, todo el conglomerado de la empresa, desde sus gerentes y administradores hasta la persona que hace la operación más simple.

En los comienzos del siglo XX, los estudios realizados por el científico Frederic W. Taylor cambió de manera pacífica las malas aplicaciones que existían en las empresas antiguas. “A partir de sus observaciones empíricas llegó a diseñar métodos de trabajo donde la persona y la máquina eran una sola entidad, una unidad inspirada por un salario atractivo para operar la máquina de acuerdo con las instrucciones requeridas”. (Diseño e Implantación del Programa de Mantenimiento “BETICO” 1992).

1.3 Justificación

El Diseño e Implantación del Programa de mantenimiento menor, aplicado al generador síncrono número 8 de la central hidroeléctrica Manuel Moreno Torres Chicoasen, cumple al estudio de implementación del programa, y por ende maximizar la producción y prolongar la vida útil del equipo para poder cumplir con el proceso de producción de energía establecida.

Se busca incorporar nueva tecnología y equipo para el mantenimiento, que permita mejorar la productividad y reducción de costos de generación de energía, así, suplir de servicios indispensables para la continuidad operacional del generador síncrono.

1.4 Objetivos

Desarrollar el mantenimiento menor del generador síncrono de la unidad numero 8 de la central hidroeléctrica Chicoasén.

Objetivos específicos:

i) Verificar temperaturas en diferentes puntos de la máquina, así como de vibraciones y ruidos anómalos.

En términos generales este proceso se lleva a cabo con apoyo de una cámara termográfica para el análisis de puntos calientes. Por otra parte, para las vibraciones se elaborará un sondeo a las cuñas de las bobinas del estator para verificar el estado de estas.

ii) Utilizar determinados productos desengrasantes y volátiles para la limpieza de los devanados, se revisará el estado de estos y del puente de diodos.

En este aspecto se busca realizar la limpieza general con apoyo de productos desengrasantes y volátiles. Se hará un análisis general al generador para corroborar que la contaminación como el polvo y aceite sea nula.

iii) Verificar el funcionamiento del estator, rotor y el AVR (Automatic voltaje regulator).

En resumen, el estator, rotor y el AVR se deben de verificar apropiadamente. Durante este periodo se realizará limpieza y ajustes en estos, con el propósito de mejorar su eficiencia y disminuir las pérdidas.

1.5 Metodología

De acuerdo a los datos es de tipo aplicada dado que su principal objetivo se basa en resolver problemas prácticos, con un margen de generalización limitado, ya que existen muchas máquinas síncronas, pero limito mi investigación a la máquina síncrona No. 8, este generador es de la marca ALSTOM con el numero de serie G00743-6, y el modelo del generador es VG 300-180 con una potencia aparente de 300000 KVA y un factor de potencia de 0.95.

Esta máquina para llegar a su velocidad de sincronismo a los 180 rpm como resultado del numero de polos, este cuenta con 40 polos los cuales son excitados con 250 vcd. Esto se hará en chicoasen el cual beneficiará a la continuidad del servicio eléctrico y abastecer la necesidad de energía de las poblaciones cercanas.

Los tipos de datos es cuantitativo ya que Existe un continuo de valores posibles de la variable, que no se restringe a valores enteros. Los valores se “miden” en vez de contarse ya que las mediciones que se harán nos darán a conocer si la máquina síncrona esta en optimas condiciones o si necesita un ajuste o cambio de piezas.

Para un análisis correcto se usará el óhmetro megger para ver que es aislamiento de las bobinas de los polos y del estator se encuentren bien evitando posibles daños de la máquina.

También se manipulará un martillo para realizar el sondeo que consta de golpear las cuñas del estator para supervisar que estas no estén flojas y evitar que las bobinas pierdan aislamiento.

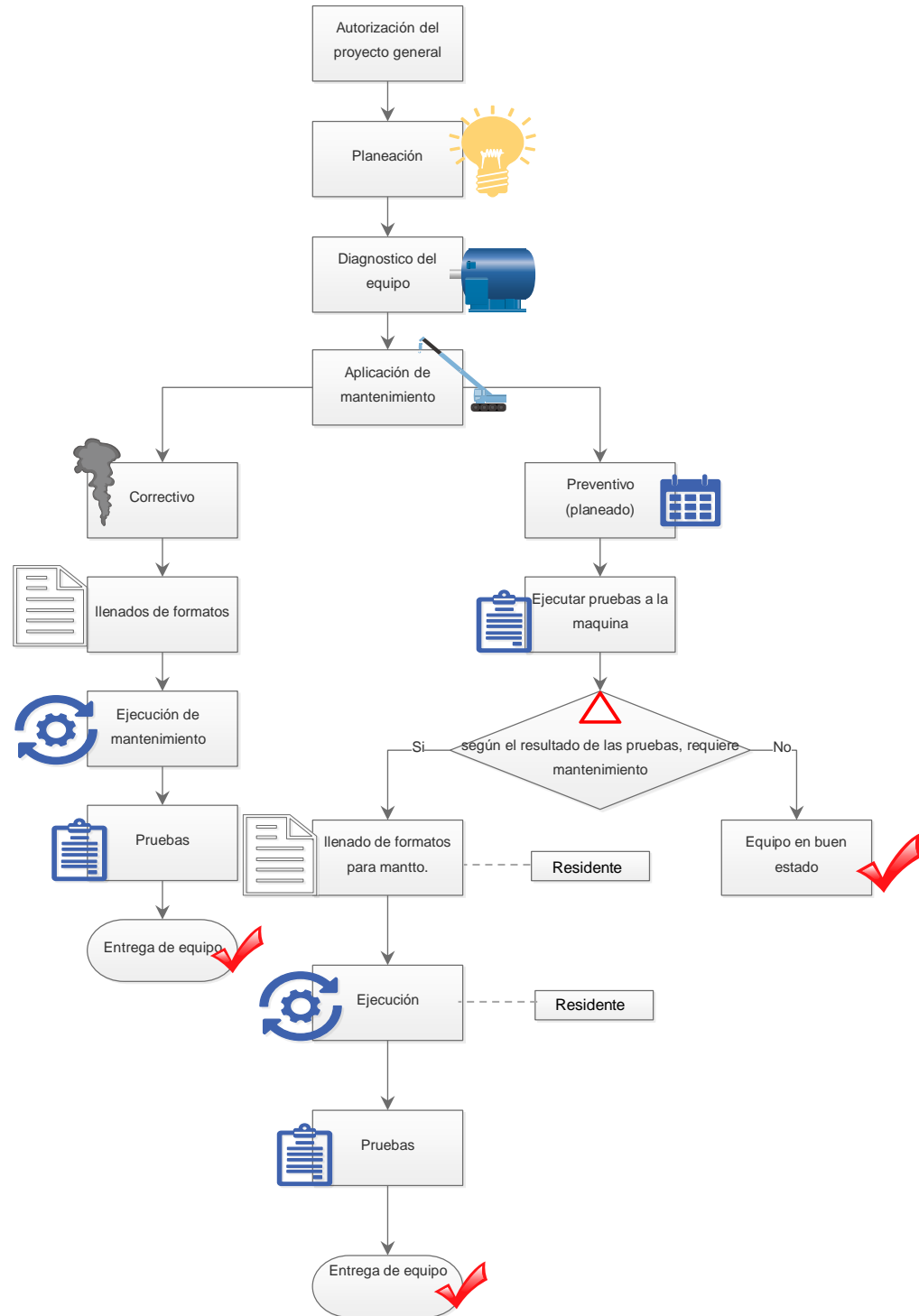


Diagrama de flujo 1 - Procedimiento del mantenimiento.

Los formatos previamente mencionados en el diagrama de flujo se encuentran en el anexo A en la pagina 48.

2. Fundamento teórico

2.1 Definición de Mantenimiento

El mantenimiento se define como las técnicas destinadas a mantener los equipos funcionando el mayor tiempo posible con una alta eficiencia y la mas alta disponibilidad posible.

Los responsables del mantenimiento deben entender y tener presente que realizan un trabajo que está al servicio. Es conveniente que los responsables del mantenimiento conozcan los problemas que se derivan de las averías para hacer que su trabajo sea lo más eficaz posible. La eficacia debe entenderse desde el punto de vista de la incidencia que las averías pueden tener, con un límite marcado por su costo. Lo que se gaste en mantenimiento debe relacionarse con el problema que se pretende resolver.

El responsable del mantenimiento no debe pensar a priori que una instalación está mal diseñada por falta de redundancias, O mal ejecutada por falta de calidad en los materiales. Es necesario en primer lugar preguntarse por el peso que estuvo en esos temas la evaluación sobre qué sucedería después al utilizarla. Ahora bien, Si se quería tener una instalación segura y fiable y todos sus elementos son críticos para que no falle, y además la probabilidad individual de la avería es alta, es indudable que estamos ante una mala decisión inicial.

Es importante:

Tener claro cuáles son las características del servicio a prestar, entendidas desde lado del utilizador.

Tener claro las posibilidades sobre la instalación:

-Fiabilidad de sus componentes

- Redundancias
- Fiabilidad del conjunto
- Facilidad de acceso a los elementos
- Facilidad de manejo de la instalación
- Abastecimiento de los suministros necesarios
- Abastecimientos alternativos
- Previsión de tiempos de inoperatividad por revisión
- Facilidad de repuestos
- Conocimiento del personal
- Costos de mantenimiento y de personal

2.2 Tipos de mantenimiento

2.2.1 Mantenimiento correctivo o reactivo

El mantenimiento correctivo o reactivo básicamente se basa en la corrección de una falla la cual previamente se ha dado. Este mantenimiento es poco eficaz y se debe a que cuando hay una falla y esta llega a ser grande, puede dañar otras partes de las máquinas o equipos dependiendo del lado de la falla y si ese cuenta con protecciones en caso de este tipo de fallas.

En el libro mantenimiento industrial práctico (2013) citado por Eugenio Vilardell propone el siguiente significado de mantenimiento correctivo:

“Se trata simplemente de corregir una incidencia una vez que se ha producido. Es decir, arreglar lo que se ha roto. La principal ventaja es que no se pierde tiempo en planificarla, porque simplemente no se sabe cuándo va a ocurrir. El principal inconveniente está originado por

la misma causa, es decir que, al no poderse predecir, sus consecuencias pueden ser mas o menos graves, en función del momento en el que se produzca el fallo (p.141).”

2.2.2 Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo se trata de prever fallas en diferentes puntos de una máquina o en procesos de una producción conociendo el desgaste y vida útil de los equipos y piezas. En el caso de algunas máquinas estos puntos críticos pueden ser en el desgaste de algunas piezas, así como en las chumaceras de algunas máquinas como motores los cuales en los rodamientos debe de cambiar el aceite antes de que expire para así evitar gastos mayores en otro tipo de mantenimiento.

En el caso de generadores convencionales la mayoría utiliza escobillas, a diferencia de los generadores que funcionan con un puente de diodos giratorio, las escobillas son un problema al tratarse de mantenimiento, ya que, al tratarse de prever alguna falla, estos carbones llamadas escobillas se deben cambiar llegando a un tamaño determinado el cual se considera peligroso para su funcionamiento y esta máquina pueda seguir siendo eficaz por mucho mas tiempo hasta su próxima revisión.

En el libro mantenimiento industrial practico (2013) citado por Eugenio Vilardell propone la siguiente ventaja al usar el mantenimiento preventivo:

“La principal ventaja de este tipo de mantenimiento es que se puede planificar con antelación la intervención, para preparar los recursos necesarios, como el personal y los materiales necesarios, además de incidir mínimamente en la producción, porque al tener prevista la

parada, se adaptarán los plazos de fabricación, evitando incumplir un plazo de entrega al cliente a causa de un imprevisto (p.142).”

2.2.3 Mantenimiento predictivo o sintomático

El mantenimiento preventivo trata de predecir una avería teniendo en cuenta el funcionamiento de la máquina. Para saber cómo predecir una falla se tiene en cuenta mediciones de, por ejemplo, calidad de aceite, aumento de vibraciones en elementos que se encuentran en movimiento, aumento de temperaturas inusuales, etc. En el caso de este tipo de situaciones en el que se detecte anomalías en el funcionamiento de cualquier máquina, se puede adelantar a la avería con el suficiente tiempo para planificar la intervención, y sin sustituir piezas en buen estado, puesto que habremos notado su degradación.

Este sistema de mantenimiento tiene sus ventajas destacables, ya que al prever fallos y averías no se desperdiciarán recursos. También, las herramientas que se utilizan para realizar estas actividades de diagnóstico son cada vez más accesibles, de modo que es posible implementarlo más en múltiples situaciones.

En el libro mantenimiento industrial práctico (2013) citado por Eugenio Vilardell menciona acerca de la termografía y su uso en el mantenimiento predictivo:

“La termografía se trata de utilizar cámaras que captan una imagen infrarroja de una zona, convirtiéndola en una imagen visible, en la que cada temperatura está representada por un color, de modo que es muy fácil y rápido comprobar si algún punto tiene una temperatura anormal. Este sistema se está implantando muy rápidamente gracias

a la reducción de costes de los equipos, lo que está permitiendo que se extienda a otros campos, como la edificación o la sanidad.”

2.2.4 Mantenimiento Cero Horas (Overhaul):

Mantenimiento Cero Horas (Overhaul) Es el conjunto de tareas cuyo objetivo es revisar los equipos a intervalos programados bien antes de que aparezca ningún fallo, bien cuando la fiabilidad del equipo ha disminuido apreciablemente de manera que resulta arriesgado hacer previsiones sobre su capacidad productiva.

Dicha revisión consiste en dejar el equipo a Cero horas de funcionamiento, es decir, como si el equipo fuera nuevo. En estas revisiones se sustituyen o se reparan todos los elementos sometidos a desgaste. se pretende asegurar, con gran probabilidad un tiempo de buen funcionamiento fijado de antemano.

2.3 Mantenimiento menor

En primer lugar, hace referencia a trabajos de rehabilitación, sustitución de partes y accesorios internos que requieren trabajos dentro del transformador, que normalmente se llevan a cabo en sitio y que no requieren el desensamble la parte activa (núcleo y devanados). Este mantenimiento menor tiene como máximo 30 días para finalizar.

En cuanto a la planeación se lleva a cabo antes de empezar el mantenimiento, en este proceso se diagnosticará las necesidades de la maquina y identificará mediante pruebas al equipo que esté funcionando correctamente. Este proceso se muestra en el diagrama de flujo 1 en la pagina 10.

2.4 Sistema Kantiano de mantenimiento

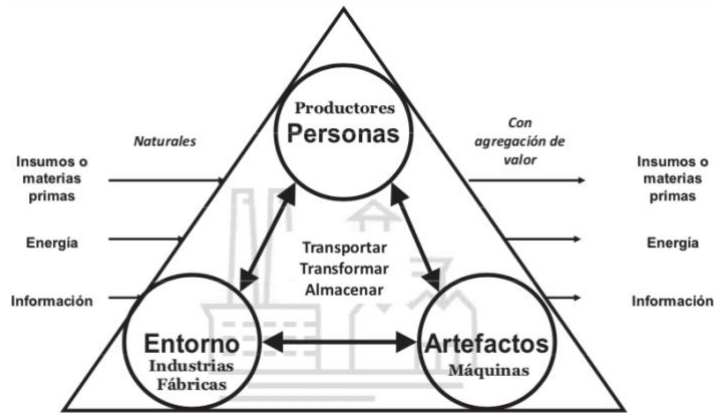
En el libro mantenimiento planeación, ejecución y control (2009) citado por Alberto Mora Gutiérrez menciona acerca del concepto del sistema de mantenimiento kantiano:

“El enfoque sistémico kantiano plantea la posibilidad de estudiar y entender todo fenómeno, dado que define que un sistema está compuesto básicamente por tres elementos: personas, artefactos y entorno (p.45).”

En todo sistema de procesos es fundamental la participación de personas, ya que gracias a ellas hacen que el sistema exista, y son los que le dan el carácter real.

El mantenimiento es un sistema mental que se construye gracias al intelecto del ser humano en sistema kantiano, los artefactos en el caso particular del mantenimiento, son lo que constituye al conjunto de máquinas, componentes, sistemas de producción herramientas, utensilios, líneas de fabricación, documentos como ordenes de trabajo o historia de los equipos, aparatos, materias primas, insumos, repuestos, etc., los cuales son elementos reales que se requieren para un mantenimiento.

En un sistema kantiano es el entorno el que le da el carácter mental (o intelectual) y corresponde a todos aquellos sitios en donde la naturaleza del sistema se desenvuelve, y que se sitúan las máquinas que hacen posible la producción de bienes reales y de servicio.



Fuente: El autor.

Imagen 1 - Elementos de un sistema.

2.4.1 Niveles de mantenimiento

Se plantean cuatro niveles o categorías al jerarquizar los diferentes tópicos que maneja el mantenimiento.



Imagen 2 - Niveles y categorías del mantenimiento bajo enfoque sistemático.

Nivel 1 – Instrumental (funciones y acciones)

En el libro mantenimiento planeación, ejecución y control (2009) citado por Alberto Mora Gutiérrez en el cual explica acerca del nivel 1 que habla acerca del nivel instrumental:

“El nivel instrumental abarca todos los elementos reales requeridos para que exista mantenimiento en las empresas; procura el manejo sistémico de toda la información construida, solicitada en un sistema de mantenimiento en lo referente a las relaciones entre personas, recursos productivos y máquinas. A este grupo pertenecen a todos los registros, documentos, historia, información, codificación, entre otros; en general todo lo que identifica a los equipos, a los recursos de AOD y de mantenimiento; la administración de la información y su tratamiento estadístico; la estructura organizacional de los tres elementos descritos de un sistema de mantenimiento (p.57).”

El nivel instrumental abarca todos los elementos necesarios para la existencia de gestión y operación de mantenimiento, en los cuales se incluye: información, máquinas, herramientas, repuestos, utensilios, materias primas e insumos propios de mantenimiento, las técnicas, los registros históricos de fallas y reparaciones, inversiones, inventarios, refacciones, modificadores, trabajadores, entre otros.

Nivel 2 – Operacional (acciones mentales)

En el libro mantenimiento planeación, ejecución y control (2009) citado por Alberto Mora Gutiérrez en el cual explica acerca del nivel 2 que habla acerca del nivel operacional:

“El nivel operacional comprende todas las posibles acciones por realizar en el mantenimiento de equipos por parte del oferente, a partir

de las necesidades y los deseos de los demandantes. Las acciones correctivas, preventivas, predictivas y modificativas (p.57).”

En este nivel se basa en pensar y razonar la manera y el orden en el que se harán los procesos del mantenimiento, teniendo un orden efectivo y seguro para el personal, y para que esto salga bien además se basa en modificaciones, ya que el ingenio para concluir el mantenimiento se basa en la necesidad y el tipo de acción.

Nivel 3 – Táctico (conjunto de acciones reales)

En el libro mantenimiento planeación, ejecución y control (2009) citado por Alberto Mora Gutiérrez en el cual explica acerca del nivel 3 que habla acerca del nivel táctico:

“El nivel táctico contempla el conjunto de acciones de mantenimiento que se aplican a un caso específico (un equipo o conjunto de ellos); es el grupo de tareas de mantenimiento que se realizan para alcanzar un fin al seguir las normas y reglas establecidas para ello. En este nivel aparecen el TPM, el RCM, el TPM y el RCM combinados, PMO, reactiva, proactiva, clase mundial, RCM Scorecard, entre otros (p.57).”

En el nivel 3 nos habla de seguir las reglas y los pasos a seguir ya establecidos por manuales, los cuales se mencionan en el citado, además de ser efectivo y comprobado de múltiples formas, ya que estas son realizadas por múltiples personas a lo largo de la industria.

Nivel 4 – Estratégico (conjunto de funciones y acciones mentales)

En el libro mantenimiento planeación, ejecución y control (2009) citado por Alberto Mora Gutiérrez en el cual explica acerca del nivel 4 que habla acerca del nivel estratégico:

“El campo estratégico está compuesto por las metodologías que se desarrollan para evaluar el grado de éxito alcanzado con las tácticas desarrolladas; esto implica establecer índices, rendimientos e indicadores que permiten medir el caso particular con otros de diferentes industrias locales, nacionales o internacionales. Es la guía que permite alcanzar el estado de éxito propuesto y deseado. Se alcanza mediante el LCC, el CMD, los costos, la terotecnología, etcétera (p.58).”

2.5 Instrumentos avanzados específicos técnicos

2.5.1 Inspección visual, acústica y al tacto de componentes

La vigilancia permanente de máquinas durante la operación o el mantenimiento juega un rol importante en los instrumentos avanzados, para detectar fallas o condiciones fuera del estándar. La presencia visual de desgastes, situaciones anormales y ruidos indica que se está ante un generador de falla, que puede evitarse si se emprenden las acciones correspondientes.

2.5.2 Vigilancia de temperaturas

La utilización de aparatos térmicos para el control y la vigilancia de variables de condición en las máquinas es una herramienta avanzada, muy útil en la detección de fallas potenciales y situaciones fuera de estándar.

Entre dichos aparatos están: termómetros, termistores, pinturas, polvos térmicos, termostatos, cámaras de rayos infrarrojos, además de sensores de temperatura, de contacto, sensores basados en dilatación o expansión de líquidos, sensores bimetalicos en expansión, termopares, termocuplas, termorresistencias, testigos de color, bolas (pellets), sensores sin contacto, pirómetros ópticos y de radiación, cámaras infrarrojas, etc.

Algunas de las fallas que se pueden evidenciar con el control de temperatura son: daños en rodamientos, defectos en sistemas de refrigeración, sistemas de generación de calor o manejo energético, depósitos y sedimentos de materiales no deseados, daños en aislamientos, condiciones no estándar en sistemas eléctricos, etc.

2.5.3 Control de corrosión

Mediante instrumentos eléctricos, mecánicos o productos químicos se pueden evaluar el estado y la velocidad de corrosión o desgaste en los elementos, sistemas o máquinas. Entre las diferentes pruebas se señalan algunas, como probetas, ultrasonido, láser de pulsos, entre otras.

2.5.4 Resistencia eléctrica

La presencia de una grieta en un sistema de medición y prueba eléctrica aumenta la resistencia medida entre dos probetas en contacto con el material que se estudia, en cuanto a la presencia de fisuras

2.5.5 Lubricación, engrase y aceites

La reducción de la fricción y del desgaste en las máquinas, la eliminación del calor y el arrastre de impurezas son algunos de los beneficios que tiene un adecuado manejo y operación logística de lubricantes, aceites y grasas en la función de mantenimiento y operación en las empresas. La tribología es una ciencia que apoya el desarrollo de planes preventivos sobre las formas de evitar la fricción y el desgaste.

Entre los aditivos que se les agregan para mejorar sus propiedades físicas, mecánicas, químicas, etc., sobresalen: antidesgaste, detergentes, inhibidores de corrosión, antiespumantes, emulsificadores, inhibidores de corrosión, separadores de emulsiones para mejorar el punto de goteo, para presiones extremas, para condiciones exigentes y específicas, etc.

Algunos de los parámetros ambientales que se deben tener en cuenta en los lubricantes, son: temperaturas de trabajo, presiones a que son sometidos, velocidades de funcionamiento y el medio ambiente donde se encuentran en operación.

2.5.6 Líquidos penetrantes

Los líquidos penetrantes y de tintas líquidas son usados para detectar en los elementos grietas, superficies escalonadas o fisuras provocadas por desgaste, fatiga,

mantenimientos y reparaciones inadecuadas, corrosión, agentes atmosféricos, entre otros.

Eventualmente, la detección de fugas o grietas en las máquinas, al utilizar como medio de contraste líquidos jabonosos, se puede considerar como una prueba sencilla de líquidos penetrantes. Es una técnica bien difundida, económica y efectiva, que permite observar a simple vista fisuras hasta de $0,25 \mu\text{m}$; otras más finas se detectan con instrumentos más especializados.

2.6 Generadores síncronos

2.6.1 Partes y componentes de los generadores síncronos

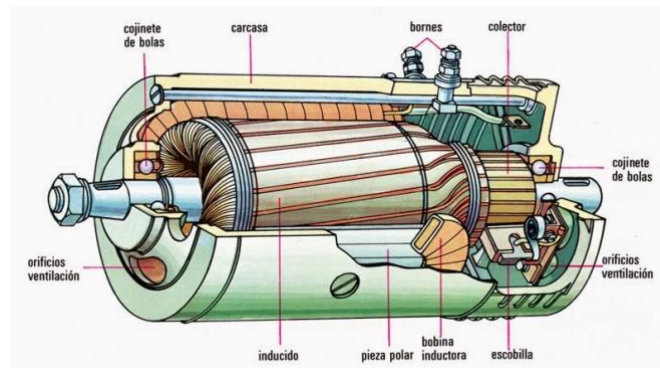


Imagen 3 - Partes de un generador síncrono.

1) Rotor:

El rotor, o parte rotativa, de una máquina síncrona es bastante diferente al de una máquina asíncrona. Contiene un devanado de corriente continua, denominado devanado de campo y un devanado en cortocircuito, que impide el funcionamiento de la máquina a una velocidad distinta a la de sincronismo, denominado devanado amortiguador. Además, contiene un circuito magnético formado por apilamiento de

chapas magnéticas de menor espesor que las del estator. El resto de las características del rotor están relacionadas con el objetivo de obtener un campo entre el rotor y el estator de carácter senoidal y dependen del tipo de máquina síncrona:

2) Máquina de polos salientes:

El rotor presenta expansiones polares que dan lugar a un entrehierro variable.

3) Máquina de rotor liso:

El devanado de campo está distribuido en varias bobinas situadas en diferentes ángulos.

Partes de un generador síncrono Éstos se hallan formados por varios elementos, sin embargo, las partes principales son: el estator, la carcasa, la base, el rotor, la caja de conexiones, las tapas y los cojinetes. No obstante, un motor puede funcionar solo con el estator y el rotor.

a) Carcasa:

La carcasa es la parte que protege y cubre al estator y al rotor, el material empleado para su fabricación depende del tipo de motor, de su diseño y su aplicación. Así pues, la carcasa puede ser:

- a) Totalmente cerrada
- b) Abierta
- c) A prueba de goteo
- d) A prueba de explosiones
- e) De tipo sumergible

Base:

La base es el elemento en donde se soporta toda la fuerza mecánica de operación del motor, puede ser de dos tipos:

- a) Base frontal

b) Base lateral

Caja de conexiones:

Por lo general, en la mayoría de los casos los motores eléctricos cuentan con caja de conexiones. La caja de conexiones es un elemento que protege a los conductores que alimentan al motor, resguardándolos de la operación mecánica del mismo, y contra cualquier elemento que pudiera dañarlos.

Tapas:

Son los elementos que van a sostener en la gran mayoría de los casos a los cojinetes o rodamientos que soportan la acción del rotor.

Cojinetes:

También conocidos como rodamientos, contribuyen a la óptima operación de las partes giratorias del motor. Se utilizan para sostener y fijar ejes mecánicos, y para reducir la fricción, lo que contribuye a lograr que se consuma menos potencia. Los cojinetes pueden dividirse en dos clases generales:

1.- Cojinetes de deslizamiento: Operan la base al principio de la película de aceite, esto es, que existe una delgada capa de lubricante entre la barra del eje y la superficie de apoyo.

2.- Cojinetes de rodamiento: Se utilizan con preferencia en vez de los cojinetes de deslizamiento por varias razones:

- Tienen un menor coeficiente de fricción, especialmente en el arranque.
- Son compactos en su diseño
- Tienen una alta precisión de operación.
- No se desgastan tanto como los cojinetes de tipo deslizante.
- Se reemplazan fácilmente debido a sus tamaños estándares.

Estator:

El estator es el elemento que opera como base, permitiendo que desde ese punto se lleve a cabo la rotación del motor. El estator no se mueve mecánicamente, pero si magnéticamente. Existen dos tipos de estatores

- a) Estator de polos salientes.
- b) Estator ranurado.

En el libro Máquinas eléctricas (2012) citado por Stephen J. Chapman en el cual explica acerca del funcionamiento del generador síncrono:

“En un generador síncrono se produce un campo magnético en el rotor ya sea mediante el diseño de éste como un imán permanente o mediante la aplicación de una corriente de cd a su devanado para crear un electroimán. En seguida, el rotor del generador gira mediante un motor primario, y produce un campo magnético giratorio dentro de la máquina. Este campo magnético giratorio induce un conjunto de voltajes trifásicos dentro de los devanados del estator del generador (p.147).”

En el rotor de un generador síncrono es técnicamente un electroimán grande el cual es utilizado para inducir al devanado del estator. En el caso de el rotor puede ser del tipo de polos salientes o no salientes. El rotor este sujeto a campos magnéticos variables, por el cual para reducir las perdidas por corrientes parasitas, se construyen con laminas delgadas.

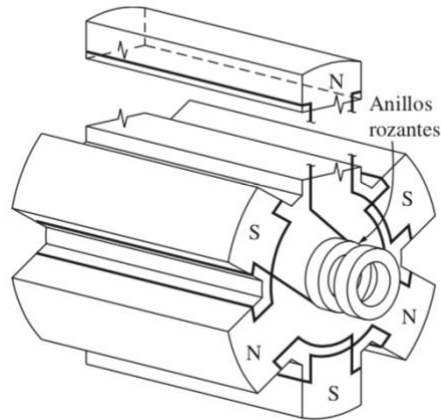


Imagen 4 - Un rotor de seis polos salientes de una máquina síncrona.

En el libro Máquinas eléctricas (2012) citado por Stephen J. Chapman en el cual explica acerca de los anillos rozantes y las escobillas:

“Los anillos rozantes son anillos de metal que circundan por completo al eje de una máquina, pero se encuentran aislados de él. Un extremo del devanado del rotor de cd está unido a cada uno de los dos anillos rozantes del eje de la máquina síncrona y una escobilla estacionaria se desliza sobre cada anillo rozante. Una “escobilla” es un bloque de un compuesto de carbón parecido al grafito que conduce electricidad libremente, pero tiene una fricción muy baja, por lo que no desgasta al anillo rozante.

Si el extremo positivo de una fuente de voltaje de cd se conecta a una escobilla y el extremo negativo se conecta a la otra, entonces se aplicará el mismo voltaje de cd al devanado de campo en todo

momento, sin importar la posición angular o velocidad del rotor (p.149).”

Para los anillos rozantes y las escobillas causan problemas al momento de los mantenimientos debido a que estos deben ser monitoreados, ya que, el desgaste de ambos hace que aumente el coste de mantenimiento y la frecuencia en la que se hace.

En el libro Máquinas eléctricas (2012) citado por Stephen J. Chapman en el cual explica acerca de la excitación de la máquina eléctrica:

“Para que la excitación de un generador sea completamente independiente de cualquier fuente de potencia externa, a menudo se incluye un pequeño excitador piloto en el sistema. Un excitador piloto es un pequeño generador de ca con imanes permanentes montados en el eje del rotor y un devanado trifásico en el estator. Produce la potencia para el circuito de campo del excitador, que a su vez controla el circuito de campo de la máquina principal. Si se incluye un excitador piloto en el eje del generador, no se requiere de potencia eléctrica externa para accionar el generador (p.150).”

En el caso de muchas empresas generadoras de energía suelen utilizar baterías para suministrar cd a las bobinas por un muy corto tiempo, dando lugar a que este se autoexcite con ayuda de el puente de diodos que se encuentra a la salida del voltaje trifásico que los generadores síncronos usan. El devanado se distribuye y encuerda de manera que reduzca el contenido de armónicos en las corrientes y voltajes de salida.

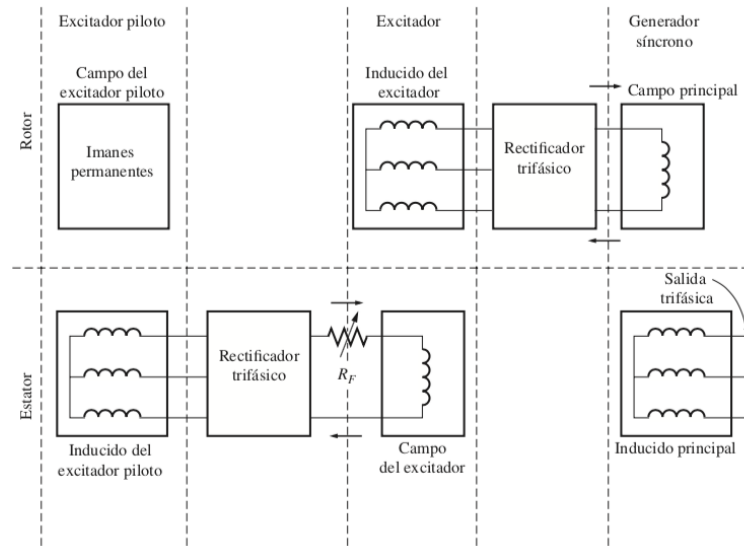


Imagen 5 - Esquema de excitación que incluye un excitador piloto.

2.6.2 La velocidad de rotación de un generador síncrono

En el libro Máquinas eléctricas (2012) citado por Stephen J. Chapman en el cual explica acerca de los generadores síncronos:

“Los generadores síncronos son por definición síncronos, lo que quiere decir que la frecuencia eléctrica se produce y entrelaza o sincroniza con la tasa mecánica de rotación del generador. El rotor de un generador síncrono consta de un electroimán al que se le suministra corriente directa. El campo magnético del rotor apunta en la dirección en que gira el rotor (p151).”

La tasa de rotación de los campos magnéticos en la máquina está relacionada con la frecuencia eléctrica del estator por medio de la ecuación:

$$f_e = \frac{n_m P}{120}$$

Donde

f_e = frecuencia eléctrica en Hz

n_m = velocidad mecánica del campo magnético en r/min (igual a la velocidad del rotor de una máquina síncrona)

P = número de polos

El rotor gira a la misma velocidad que el campo magnético, esta ecuación relaciona la velocidad de rotación del rotor con la frecuencia eléctrica resultante. La potencia eléctrica se genera a 60 Hz, por lo que el generador debe girar a una velocidad fija que dependerá del número de polos de la máquina. Por ejemplo, para generar una potencia de 60 Hz en una máquina de dos polos, el rotor debe girar a 3 600 r/min.

3.7 Normas que aplican

NOM-008-SCFI-2002; Sistema General de Unidades de Medida.

NMX-J-075/1-ANCE-1994; Aparatos Eléctricos – Máquinas Rotatorias – Parte 1: Motores de Inducción de Corriente Alterna del Tipo de Rotor en Cortocircuito, en Potencias desde 0.062 a 373 kW – Especificaciones.

NMX-J-109-ANCE-2010; Transformadores de Corriente – Especificaciones y Métodos de Prueba.

NMX-J-168-ANCE- 1980; Transformadores de Potencia

30

Jidm96@hotmail.com

Carretera Panamericana Km. 1080, C.P. 29050, Apartado Postal: 599,

Tel. 9611965175

NMX-J-169-ANCE- 2004; Transformadores y Autotransformadores de Distribución y Potencia - Métodos de Prueba.

NMX-J-351-ANCE-2008; Transformadores de Distribución y Potencia Tipo Seco - Especificaciones.

NMX-J-438-ANCE-2003; Conductores - Cables con Aislamiento de Policloruro de Vinilo, 75 °C y 90 °C Para Alambrado de Tableros – Especificaciones.

NMX-J-501-ANCE-2005; Sistemas de Control de Centrales Generadoras - Sistemas de Excitación Estáticos Controlados por Tiristores para Generador Síncrono - Especificaciones y Métodos de Prueba.

IEC 60034-1-2010; Rotating Electrical Machines - Part 1: Rating and Performance.

IEC 60034-2-2- 2010; Rotating Electrical Machines- Part 2 -2: Specific Methods for Determining Separate Losses of Large Machines From Test – supplement to IEC 60034-2-1.

IEC 60034-3-2007; Rotating Electrical Machines - Part 3: Specific Requirements for Synchronous Generators driven by Steam Turbines or Combustion Gas Turbines.

IEC 60034-6-1991; Rotating Electrical Machines - Part 6: Methods of Cooling (IC Code.)

IEC 60034-15-2009; Rotating Electrical Machines – Part 15: Impulse Voltage Withstand Levels of Form – Wound Stator Coils for Rotating a.c. Machines.

IEC 60034-18-1-2010; Rotating Electrical Machines - Part 18-1: Functional Evaluation of Insulation Systems-General Guidelines.

IEC 60085- 2007; Electrical Insulation – Thermal Evaluation and Designation.

IEC 60851-1996; Methods of test for winding wires - Part 1: General

CFE 017PH-12-2014; Equipo para el Sistema de Agua de Enfriamiento para Centrales Hidroeléctricas.

CFE D8500-01-2015; Selección y Aplicación de Recubrimientos Anticorrosivos.

CFE D8500-02- 2012; Recubrimientos Anticorrosivos.

CFE D8500-03-2015; Recubrimientos Anticorrosivos y Pinturas para Centrales Termoeléctricas y Eólicas

CFE D8500-22- 2012; Recubrimientos Anticorrosivos y Pinturas para Centrales Hidroeléctricas.

CFE DY700-08 -10-1999; Soldadura y sus Aspectos Generales.

CFE DY700-16 -2-2000; Soldadura y sus Aplicaciones.

CFE E0000-25-2015; Cables Monoconductores con Aislamiento y Cubierta Termofijos sin contenido de Halógenos (LS0H) para instalaciones hasta 600 V, 90°C

CFE E0000-26- 2015; Cables Control y Multiconductores de Energía para Baja Tensión con Aislamiento y Cubiertas Termofijas de Baja Emisión de Humos y sin Contenido de Halógenos (LS0H) 90°C.

CFE G0000-52-1993; Detectores de Temperatura por Resistencia (R TD).

CFE H1000-39-1997; Guía para la Prevención y Extinción de Incendios en Centrales de Generación Hidroeléctrica

CFE L0000-15-2012; Colores Normalizados.

CFE L1000-11-2015; Empaque, Embalaje, Embarque, Transporte, Descarga, Recepción y Almacenamiento de Bienes Muebles Adquiridos por CFE

CFE L1000-32-2015; Manuales, Procedimientos e Instructivos Técnicos.

CFE VE100-29-2016; Transformadores de Potencial Inductivos para Sistemas con Tensiones Nominales de 13.8 kV a 400 kV.

CFE W4101-16-2004; Sistema de Excitación Estático para Generadores Síncronos de Centrales Eléctricas.

CFE W4200-12-2011; Generadores para Centrales Hidroeléctricas.

CFE W4210-23-2016; Fabricación de Barras y Bobinas para Estator de Generadores Eléctricos con Tensiones de 6.0 kV y Mayores.

CFE W4610-19-2016; Sistema para que Unidades Hidroeléctricas con Turbinas a Reacción, Operen como Condensador Síncrono.

CFE W8300-28-2015; Turbina Hidráulica Tipo Bulbo.

CFE XXA00-19-2015; Sistema de Protección Contra Incendio en Centrales Hidroeléctricas.

NOM-008-SCFI-2002; Sistema General de Unidades de Medida.

NMX-J-123/1-ANCE-1999; Productos Eléctricos – Transformadores – Aceites Minerales Aislantes para Transformadores – Parte 1 Especificaciones.

NOM-133-ECOL-2000; Protección ambiental – Bifenilos Policlorados (BPC'S) – Especificaciones de Manejo.

NRF-001-2001; Empaque, Embalaje, Embarque, Transporte, Descarga, Recepción y Almacenamiento de Bienes Muebles Adquiridos por CFE.

CFE D8500-01-2004; Guía para la Selección y Aplicación de Recubrimientos Anticorrosivos.

CFE D8500-02-2004; Recubrimientos Anticorrosivos.

CFE K0000-06-2004; Transformadores de Potencia de 10 MVA y Mayores.

CFE K0000-13-2004; Transformadores de Potencia para Subestaciones de Distribución.

CFE K0000-20-2004; Evaluación de Pérdidas de Transformadores de Potencia y Cálculo de Penalizaciones.

CFE Y1000-03-2004; Reactores de Potencia.

3. Desarrollo

De acuerdo al establecimiento de los objetivos planteados en este escrito, justifico el desarrollo del programa de mantenimiento menor a la máquina síncrona de la central hidroeléctrica Manuel Moreno Torres, Chicoasen Chiapas; la tabla 3.1 presenta las evidencias de cada una de las actividades realizadas y su clasificación.

Tabla de las actividades realizadas durante el periodo de mantenimiento. Imágenes en el anexo B, imagen 11 a la 37 de acuerdo al orden del proceso de mantenimiento:

Tabla 1 - tabla de desarrollo del mantenimiento del generador síncrono.

Área de mantenimiento	Componentes	Actividades	Frecuencia	
Mecánicas	Carcasa	Desmontaje del generador.	3 años	
	Rotor	Desmontaje de tolvas de los polos.	3 años	
	Sistema completo ¹	Corrección de cuerdas de la tornillería del generador.	3 años	
	Chumacera superior		Limpieza de colectores.	3 años
			Cambio de cojinetes	3 años
	Turbina	Mantenimiento a caracol de la turbina.	3 años	
Carcasa	Montaje del generador	3 años		
Eléctricas	Reja de conexiones	Desconexión y conexión de trenzas.	3 años	
	Exterior del generador síncrono	Mantenimiento a equipos auxiliares.	3 años	
	Generador	Limpieza de trenzas de conexión.	3 años	
	Rotor	Limpieza a polos del generador.	3 años	

¹ Sistema completo: se refiere a todo el sistema del generador

		Limpieza de Omegas de conexión de polos.	3 años
	Exterior del generador síncrono	Limpieza de tableros.	3 años
	Generador	Limpieza de primera y segunda etapa del generador.	3 años
	Rotor	Realización de pintado de polos.	3 años
		Realización de pintado de barras de conexión en serie de los polos.	3 años

Nota: El tiempo de planeación fueron tomados de los archivos de CFE de los programas de mantenimiento.

El plan de mantenimiento incluye todo el generador síncrono para prevenir futuras fallas, la contaminación de la máquina y además mantener la continuidad de generación de energía eléctrica.

En la primera etapa del mantenimiento se realizaron pruebas de verificación, con el fin de saber si se encuentran dentro de los parámetros establecidos por el fabricante, de no ser correspondientes, elaborarse un informe al responsable del departamento para autorizar el mantenimiento de la máquina en cuestión. Debido a que los parámetros se encontraban fuera del rango del fabricante, se procedió a hacer el informe y así obtener la hoja de liberación autorizada por el superintendente. Una vez autorizado, se procede a ingresar a la “primera etapa del generador”.

Entonces, procedimos al desmontaje del generador:

Se separaron las tolvas de los polos, y procedimos a realizar las siguientes pruebas:

- a) prueba de impedancia.
- b) prueba de salida de voltaje a polos.

Limpieza con dielectrol:

- a) devanados del estator

- b) polos del rotor
- c) anillos rozantes
- b) chumacera superior

Se realizó sondeo:

- a) cuñas de las bobinas del estator.

Cambio de carbones del generador síncrono que alimenta los polos con voltaje en CD.

CFE llama “segunda etapa” a la parte inferior del rotor, que es en donde se encuentra la chumacera de carga. Ahí se le dará limpieza ya que cuenta con mucha contaminación, con solvente dieléctrico y dielectrol. Se realizará reapriete de tornillos y de limpieza de las resistencias de el generador síncrono.

Como parte extra de el mantenimiento, se le dará mantenimiento a el banco de transformadores, las cuales ayudan a transportar la energía hasta la subestación de transmisión. Se les dará limpieza a las trenzas de conexión de baja y alta tensión de el transformador, así, como también se revisará el estado de el aceite de el transformador.

Se aplicarán ajustes en el AVR, así como cambio de algunas barras del tablero y algunos ajustes en los cables y el mantenimiento que se le hará al ventilador de enfriamiento de este.

Se realizará como extra del mantenimiento, unas pruebas al generador, después de terminar con el mantenimiento para verificar que los datos anteriores al inicio del mantenimiento hallan mejorado, dando como resultado si el mantenimiento se realizo correctamente y si necesita algún tipo de mantenimiento en un lugar especifico tanto del generador y del banco de transformadores. Las pruebas serán realizadas por LAPEM (Laboratorio de Pruebas Equipos y Materiales) los cuales con ayuda de un

resonador y transformadores de potencia calcularan voltajes, corrientes y capacitancia que por consiguiente se obtiene la reactancia.

Se procederá a cerrarse el generador y el transformador de no necesitar un ajuste de estos de acuerdo a las pruebas realizadas por la empresa LAPEM con su equipo de medición.

Se aplicará mantenimiento menor a la máquina síncrona No. 8, en este mantenimiento se contará con normas establecidas las cuales nos ayudaran a tener un punto de referencia en los límites y aplicaciones de estas.

3.1 Primera parte del mantenimiento

El generador síncrono al cual se le proporcionará mantenimiento es la máquina No. 8, cuenta con 40 polos con una excitación a los polos de 250 VCD.

Se inició el mantenimiento menor levantando una tapa de la parte superior del generador con el objetivo de tener acceso a él, para el mantenimiento. Se procedió a quitarle los candados a los polos y se le aplicó una prueba de impedancia a estos, con el objetivo de asegurarse de que el aislante se encuentre en óptimas condiciones.

Después se realizó la desconexión de los conductores trenzados con sus respectivos tornillos, los cuales conectan con la salida y el neutro del generador a la barra principal hacia el banco de transformadores de potencia. Se ejecutó limpieza a los trenzados, utilizando fibra Scotch y alcohol isopropílico, así eliminando la mayor parte de los contaminantes.

Asimismo, se extrajeron en total 8 polos con ayuda de la grúa de casa de máquinas (4 polos y sus paralelos), y con ayuda del dispositivo especial se logra poner de posición vertical a horizontal, con el fin de acomodarlo para su mantenimiento y respectivas

pruebas. El siguiente paso fue acomodar los polos sobre polines de madera para evitar daños en los polos o el piso de casa de máquinas. Al final fueron 8 polos extraídos y listos para el mantenimiento y el análisis con equipo de pruebas para si poder saber si están en optimas condiciones para su operación.

3.2 Segunda parte del mantenimiento

En la segunda etapa, en primera instancia se pintan las barras de las conexiones de los polos con pintura impregnante basa 35, con los que se conectan en serie y se excita el rotor. Se limpian las conexiones omegas y los tornillos con dielectrol (solvente muy efectivo).

Después de haber pintado las barras de las conexiones de los polos, se limpia la parte interior del rotor, que consta de paredes, techo, piso y de rendijas; las cuales fueron asistidas con el mayor cuidado para que no quedaran sucios, con residuos de grasa o polvo. Obteniendo así una buena limpieza y quedando sin contaminantes con apoyo del dielectrol.

Posteriormente a los polos recibieron mantenimiento (pintura y limpieza) se les coloco de nuevo el dispositivo para trasladarlos y mantenerlos estables mientras se transporta con la grúa. Se levantaron los polos y se pusieron en forma vertical para llevarlos a su lugar. De igual forma se bajó el polo con ayuda de la grúa y el maestro encargado de posicionarlo ayudo con las indicaciones para la colocación de los polos.

En cuanto al polo, se le quito el seguro que mantenía estable el polo en el dispositivo. Después de que se le quito la pieza del dispositivo se procedió a introducir el polo hasta que llego a su lugar correspondiente. A continuación, se desambla para liberar el dispositivo desde abajo del rotor y así poder sacarlo. Se extrae el dispositivo y hasta colocar los 8 polos en el rotor.

Con el apoyo de una aspiradora, se le aplicó limpieza a la parte inferior del rotor en la segunda etapa, debido a que estaban llenos de polvo y de otros tipos de contaminantes. El resultado de la limpieza se aprobó, debido a que la suciedad y los contaminantes se redujeron en un mayor porcentaje y el cambio era notorio. Se le aplicó limpieza a los anillos rozantes y toda la parte superior de la flecha en donde se encuentra la chumacera superior utilizando dielectrol. Se retiraron las tapas de los buses de salida del generador al transformador de potencia, para tener acceso y se aplicó limpieza a toda la barra del bus del generador.

Podemos concluir que se les aplicó limpieza a los buses de las salidas del generador, por dentro (es en donde se encuentra la barra), y por fuera; estas se encontraban sucias y necesitaban una limpieza. Se realizó la limpieza de la parte inferior y de la parte superior del bus.

3.3 Transformador de potencia

Se optó por desconectar las trenzas de conexión delta del banco de transformadores de potencia, en el cual se encuentran las fases a, b y c. Posteriormente se le aplicó un reapriete de tornillos a las conexiones de las barras a, b y c. Se procedió a abrir las boquillas X1 y X2 de los transformadores. Se aplicó limpieza a todas las trenzas del banco de transformadores de el generador síncrono no. 8.

3.4 Auxiliares

La primera tarea se desarrolló con el conteo y registro de los auxiliares de los dispositivos del generador síncrono No. 8. Este conteo empleado en el proceso como consecuencia nos ayuda a tener un registro de los modelos utilizados en relevadores,

guarda motores e interruptores termomagnéticos; de este modo, en caso de avería del equipo su cambio sea rápido.

Por otra parte, se ejecuto el desmontaje del ventilador del AVR con el objetivo de darle mantenimiento. Como consecuencia a este motor se le aplicara limpieza en los devanados y los polos, asimismo se les aplicara pintura dieléctrica a los devanados del estator. De este modo se realizará la sustitución de conductores de algunas zonas de control; finalmente se limpiarán los tableros de posible contaminación.

De igual manera se realizo mantenimiento al banco de baterías del modulo de control debido a que las terminales se encontraban con marcas de corrosión. Estas se limpiaron con agua destilada y dielectrol (con apoyo de trapos de algodón y fibra scotch). Durante este proceso se realiza la desconexión de barras (serie y paralelo), y las baterías se apilan para su futura recolocación.

3.5 Mantenimiento mecánico

Durante este periodo se instalaron luminarias de forma provisional en el caracol de la turbina, con el objetivo de iluminar esa área y así el departamento mecánico pueda trabajar, de este modo dar mantenimiento y realizar pruebas con el fin de determinar si hay fugas y repararlas. En particular las turbinas de la central Chicoasen son de tipo Francis (el generador se encuentra instalado en posición vertical).

Por otra parte, se ejecutan pruebas con el fin de supervisar las posibles fugas, posteriormente se realiza el parchado de estas con apoyo de soldadura y un esmeril, para evitar perdidas de presión y dirección en su funcionamiento. Por ultimo, de ser necesario cambiar las piezas para su correcta operación.

3.6 Pruebas realizadas después del mantenimiento

Se traslado el resonador a casa de máquinas en el camión, para realizar pruebas eléctricas al generador después de haber terminado el trabajo de mantenimiento, para comprobar el estado del generador, habiéndose logrado el objetivo planteado por CFE a través de LAPEM (Laboratorio de pruebas equipos y materiales) que se encarga de realizar las pruebas finales del mantenimiento.

3.6.1 Ejecución de las pruebas al generador

Se desmonta la rejilla que aísla las barras de las fases A, B y C. Se procede a aterrizar cada una de las fases antes de realizar las pruebas al generador y comprobar si el mantenimiento mejoro la eficiencia con respecto del funcionamiento antes del mantenimiento.

Por otra parte, con apoyo del megger se realiza pruebas al generador (para verificar su impedancia en las fases y ver el resultado de corrientes de fuga), para identificar la impedancia en las bobinas; y además obtener el valor de los aislamientos.

Asimismo, se realiza la prueba de resonancia, utilizando el transformador elevador y un reactor (igual que el transformador eleva la potencia, con la diferencia que este tiene mas potencia de suministro de corriente a las barras de las bobinas del generador). El transformador eleva el voltaje de 220 VCA a 3000/6000 VCA y el reactor de 3000/6000 VCA a 8000/35000 VCA.

No obstante, se energizan las fases simulando el funcionamiento de las bobinas del estator, a través de las pruebas de descarga de armadura. Con esta prueba se determina la calidad del aislamiento y se conoce la corriente de fuga que existe en la máquina; y se analiza cuanta corriente se induce a la armadura por medio de la

inductancia. Para realizar las practicas antes mencionadas el reactor se conecta en paralelo para obtener el voltaje de 9.8 KV; de esta manera funcionan los devanados para simular el funcionamiento y poder medir los parámetros tales como la calidad del aislamiento, la reactancia y las corrientes de fuga.

Se utilizo un equipo para medir la reactancia por medio de la inductancia, y con ayuda de una inductancia de referencia se obtiene la reactancia con un calculo simple, y estos datos se procesan en la computadora del encargado de las pruebas. Este equipo se conecta a cada una de las fases y así se calcula su reactancia. Se conecta el resonador inductivo para realizar las pruebas, para esta prueba se inyectan 10 Kv a cada fase (se registran los resultados obtenidos y se grafican los datos).

Para concluir se realizan las conexiones correspondientes, se coloca el cable de potencia en una fase y se aterrizan las otras fases. Con la manivela se controla el numero de vueltas para aumentar el nivel de corriente de acuerdo a la relación de transformación proporcional al numero de vueltas que se le aplique (como en el caso anterior).

3.6.2 Ejecucion de las pruebas al transformador

En primer lugar, se vacía el aceite de las patas de elefante de los transformadores de potencia para realizar pruebas y tener acceso a las fases de salida. Esto se realiza con cada uno de los tres transformadores.

Durante este periodo se conecta el equipo (M4100 instrument) para hacer pruebas de reactancia al transformador de potencia en cada fase. De igual forma se inician las pruebas en la pata de elefante, en cuanto a la primera fase de alta tensión se realizan pruebas en el bobinado de alta tensión. Además, se realizan pruebas a las fases de la salida del generador al transformador. Para la conexion de la bobina, se conecta a

tierra y a la fase (y se inicia la inyección de voltaje). A continuación, para la siguiente prueba se utiliza un capacitor con un conexionado en serie, (midiendo las reactancias teniendo una capacitancia de referencia) similar a lo antes mencionado en el generador.

Se registran los resultados de las pruebas en las computadoras, contando con la certeza y la confiabilidad de los equipos. Las pruebas realizadas son las siguientes:

- Reactancia de excitación
- Factor de potencia de devanados
- Corriente de excitación
- Relación de transformación
- Aislamiento de boquillas
- Factor de potencia del aceite
- Rigidez dieléctrica del aceite

Por otra parte, en la prueba de rigidez se utiliza un equipo el cual mide el rompimiento de su rigidez dieléctrica del aceite, elevando el voltaje hasta lograr que el aceite se convierta en un conductor. De esta manera la prueba se ejecuta 5 veces y se obtiene una media para analizar la calidad del aceite (la prueba se realiza en el bote y en la pata de elefante).

En esta prueba se utiliza un contenedor metálico el cual en su interior se coloca una muestra de aceite y la función del aceite es de funcionar como aislante y dividir las placas metálicas, esto con el fin de convertirlo en un capacitor, ver como funciona y calcular el factor de potencia.

3.7 Etapa final del mantenimiento a la máquina síncrona numero 8

En primer lugar, para la pata de elefante del transformador, se le realiza limpieza en su interior con apoyo del dielectrol. No obstante, se le aplica mantenimiento a un motor de aceite que se encarga de inyectar aceite al generador síncrono No. 8. Posteriormente se limpian las resistencias del generador ubicadas en la segunda etapa (su función es eliminar toda humedad mediante calor y así mantener un ambiente inerte).

Por otra parte, se procede a colocar las trenzas que previamente se mencionaron, estas se colocan en las barras del neutro y de las fases de la máquina síncrona. Asimismo, se atornilla con apoyo de las llaves hexagonales para finalizar las conexiones del generador. Se colocan las trenzas de neutro y fases del generador (se finaliza para cerrar y energizar).

Se procede con la colocación de las omegas a los polos con las llaves y tornillos hexagonales, para poder ponerlos en posición. Posteriormente se realizan pruebas de impedancia a los polos energizando los anillos, este se realiza con el fin de medir la impedancia con el apoyo de una lámpara de 200 W para introducir una carga de referencia.

En resumen, las tolvas se montan sobre los polos y prepara para finalizar el cierre del generador. Se cierra el generador con apoyo de la grúa y se procede a sellar el generador con las tapas superiores.

Para concluir se toman fotos por medio de una cámara termografica. Se analiza el calentamiento de las zonas como los anillos, el extractor de polvo de escobillas, transformadores de servicios propios y excitación.

4. Resultados y conclusiones

Se logra los objetivos planteados al programa de mantenimiento menor del generador síncrono de la unidad N° 8, dando como resultado en la maquina la verificación de los objetivos específicos:

Como primer objetivo se prevé el cuidado de la temperatura en diferentes puntos de la máquina, así como la detección de vibraciones y ruidos anómalos mediante un sondeo, gracias a las pruebas se hizo el reapriete de cuñas, así como la extracción y pintado de polos.

También se recomienda limpiar con productos desengrasantes y volátiles, a los devanados, el puente de diodos; como extra, el rotor y la chumacera combinada.

Lo que respecta al funcionamiento de todas las partes del generador síncrono, con apoyo de LAPEM, se le hicieron pruebas para observar el funcionamiento después del mantenimiento y que este este funcionando de manera correcta y eficiente.

Se puede concluir, que el mantenimiento preventivo, da como resultado, un buen funcionamiento de la máquina, así como darles el mantenimiento menor a las partes básicas de la máquina síncrona para aumentar su vida útil y mantener la confiabilidad en el proceso de generación.

Cabe destacar que es importante aplicarle pruebas al equipo en el tiempo planificado con el objetivo de verificar el buen funcionamiento y cumplir con la potencia solicitada por el sector poblacional e industrial en la republica mexicana.

5. Referencias bibliográficas

- 1.- Alberto Mora Gutiérrez. (2009). Mantenimiento, planeación, ejecución y control. Primera edición. Alfaomega.
- 2.- Eugenio Nieto Vilardell. (2013). Mantenimiento industrial practico. Primera edición. Fidestec ediciones.
- 3.- Pascual J. Rodrigo. (2010). Manual del ingeniero de mantenimiento. Segunda edición, Beaucher.
- 4.- Stephen J. Chapman. (2012). Máquinas eléctricas. Quinta edición. Mac Graw Hill.
- 5.- Aquilino Domínguez Delgado. (2013). Maquina sincrona. Obtenido de <http://cccc.blogspot.es/1401504330/maquina-sincrona/>. Consultado el 31 de julio de 2019.

6. Anexos

Anexo A

Tipo de control _____
Central _____ Unidad _____
Fecha de realización _____ Horas de operación acumuladas _____

EQUIPO CRÍTICO DEL SISTEMA DE EXCITACIÓN

Equipo	Disponibilidad	Seguridad	Costo de mantenimiento

Imagen 6 - Formato 8.1 Equipo critico del sistema de excitación.

Tipo de control _____	
Central _____	Unidad _____
Fecha de realización _____	Horas de operación acumuladas _____

PRUEBAS AL EQUIPO CRÍTICO DEL SISTEMA DE EXCITACIÓN

Equipo	Pruebas	Intervalo	En línea	Fuera de línea

Imagen 7 - Formato 8.2 Pruebas al equipo crítico del sistema de excitación.



Tipo de control _____

Central _____ Unidad _____

Fecha de realización _____ Horas de operación acumuladas _____

VARIABLES CRÍTICAS DEL SISTEMA DE EXCITACIÓN

Variable	Vigilancia	Intervalo
<p>NOTA: Derivado del análisis de los parámetros operativos recomendados, se establece como alcance y finalidad del procedimiento de mantenimiento predictivo, la periodicidad de realizar un mantenimiento mayor a este sistema (excitación) y evitar sea atendido en mantenimiento rutinarios que no lo ameriten.</p>		

Imagen 8 - Formato 8.3 Variables críticas del sistema de excitación.





Imagen 9 - Formato 8.4 Equipo de prueba requerido.

Tipo de control _____

Central _____ Unidad _____

Fecha de realización _____ Horas de operación acumuladas _____

PROGRAMACIÓN Y PRIORIZACIÓN DE PRUEBAS

Clave	Prueba	En línea	Fuera de línea	Condición del equipo

FORMATO 8.5 - Programación y priorización de pruebas

Imagen 10 - Formato 8.5 Programación y priorización de pruebas.



Anexo B



Imagen 11 - Placa de datos del generador sincrónico.



Imagen 12 - Maniobra para el destape del generador.



Imagen 13 – Extracción de polos para su mantenimiento.



Imagen 14 – Trenzas del generador después de la limpieza.



Imagen 15 - Limpieza a interior del rotor.



Imagen 16 - Limpieza de la segunda etapa del generador.

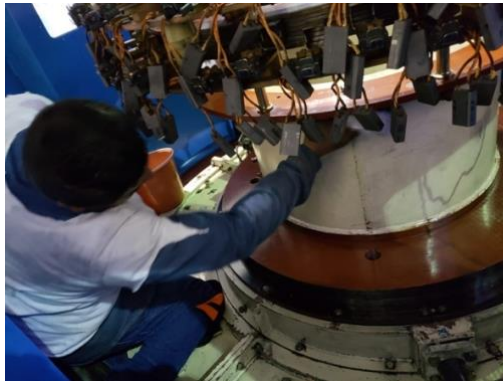


Imagen 17 - Limpieza de anillos rozantes y cumacera superior.

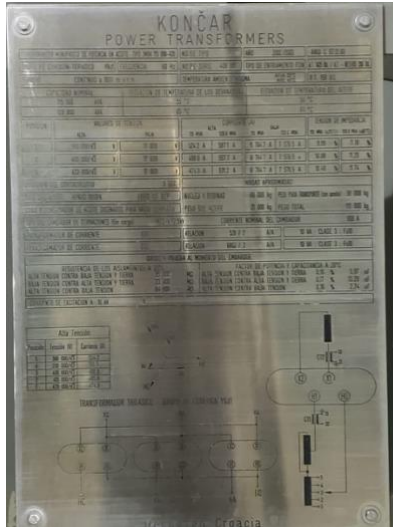


Imagen 18 - Placa de datos del transformador de potencia.

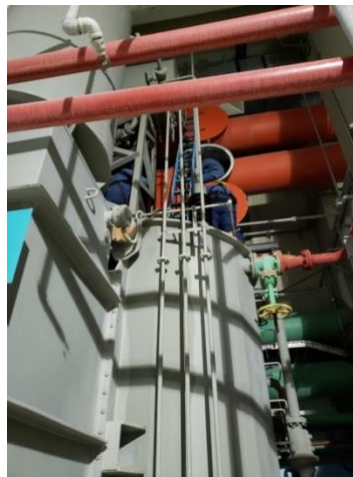


Imagen 19 - Transformador de potencia.



Imagen 20 - Desconexión de trenzas de las boquillas del transformador de potencia.



Imagen 21 - Tablero de auxiliares.



Imagen 22 - Extracción de ventilador del AVR.



Imagen 23 - Pruebas de aislamiento con ayuda de un óhmetro megger.



Imagen 24 - Transformador elevador y reactor utilizados en pruebas.



Imagen 25 - Pruebas de descargas a armadura.



Imagen 26 - Conexión del equipo de medición de reactancias a las fases.

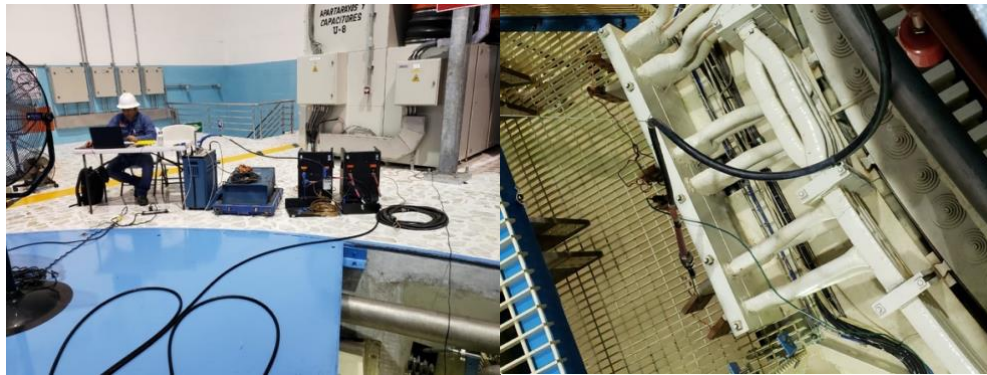


Imagen 27 - Conexión del resonador inductivo a fases de salida del generador.



Imagen 28 - Prueba de resonancia inductiva para devanados de cada transformador del banco del generador síncrono no. 8.



Imagen 29 - Prueba de rompimiento de aislamiento del aceite de los transformadores.



Imagen 30 - Prueba de factor de potencia del aceite de los transformadores.



Imagen 31 - Limpieza de baterías y barras de conexión del banco de CD.



Imagen 32 - Colocación de polos al rotor.



Imagen 33 - Colocación de trenzas de las salidas y neutro del generador síncrono.

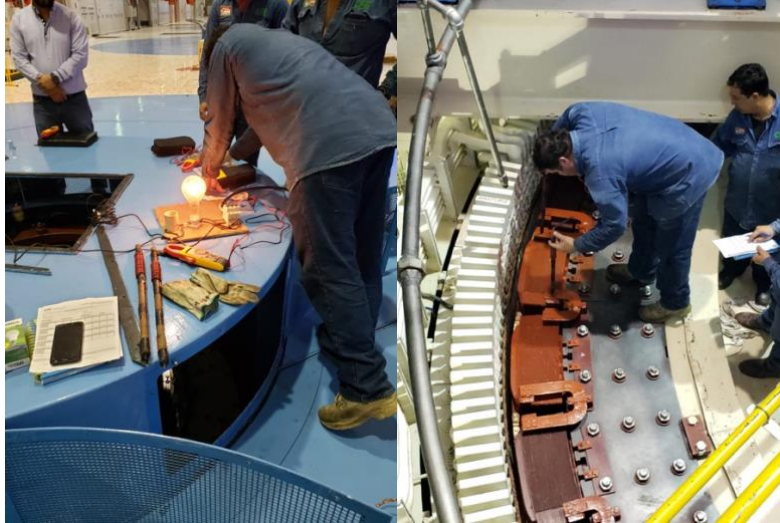


Imagen 34 - Prueba de impedancia a polos.



Imagen 35 - Colocación de tolvas.



Imagen 36 – Cierre del generador síncrono.



Imagen 37 - Caracol de la turbina del generador síncrono No. 8.