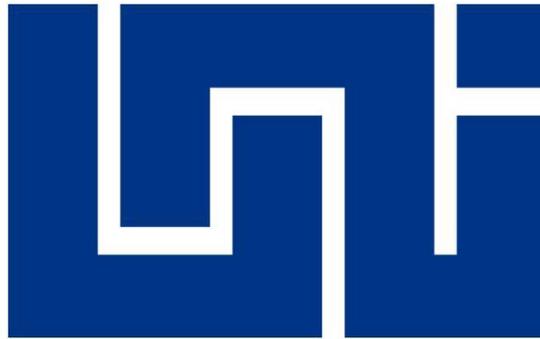


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
RECINTO UNIVERSITARIO SIMÓN BOLÍVAR
FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELÉCTRICA



TITULO:

**❖ MANTENIMIENTO INTEGRAL (L4) A GENERADORES
SINCROS ABB EN PLANTA TIPITAPA POWER.**

Elaborado por:

- ❖ Br. Erick Josué Castillo**
- ❖ Br. Rosa Marina Rocha Cespedes**

Tutor: ING. MAURO PLATA ARAGÓN

Fecha: Managua, Nicaragua Septiembre del 2023

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo a nuestros padres por no perder la esperanza en nosotros y porque siempre estuvieron pendientes de nuestros logros y apoyándonos en los momentos difíciles.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos el presente trabajo de culminación de estudios a Dios, por habernos permitido llegar hasta el final de este proceso educativo y aun en medio de adversidades nos dio la fortaleza y perseverancia para seguir adelante.

Br. Rosa Marina Rocha Cespedes
Br. Erick Josué Castillo

Tabla de contenido

Introducción.....	1
Programa de mantenimiento recomendado.....	1
Principales beneficios.....	2
Beneficios obtenidos a través de:.....	2
Mantenimiento.....	3
Antecedentes.....	5
Justificación.....	6
Formulación de objetivos.....	7
Objetivo general.....	7
Objetivos específicos.....	7
Marco Teórico.....	8
Fundamentos teóricos.....	9
Definición de generador síncrono.....	9
Definición de magnitudes eléctricas del generador síncrono.....	10
Potencia Aparente.....	10
Factor de Potencia.....	10
Potencia Real.....	11
Tensión de salida.....	11
Corriente del estator.....	11
Tensión de campo.....	11
Corriente de campo.....	12
Velocidad.....	12
Principio de funcionamiento.....	13
Funcionamiento en Vacío.....	13
Funcionamiento con Carga.....	14
Aislamiento.....	14
Diseño Metodológico.....	15
Prueba F.P al generador Síncrono en Planta Tipitapa Power.....	15
Teoría de la prueba de FP.....	15
Diagnóstico de devanados utilizando la prueba de FP.....	16
Por su parte, el parámetro Tip-up de FP es sensible a:.....	16
Metodología de prueba realizada para determinar condición de operación.....	16

Prueba F.P antes del mantenimiento	17
Prueba después del mantenimiento	20
Pruebas de aislamiento P.I	23
Valores de prueba de P.I	24
Estator	24
Rotor	25
Armadura de Excitación	25
Campo de Excitación	26
Medición de R.T.D.	26
Medición de Diodos.	27
Proceso de desarme del generador	27
Inspección.	30
Tipos de descargas parciales	35
Las descargas parciales se engloban en 4 grupos principales:	36
Arborescencia eléctrica.....	37
Mediciones mecánicas	38
Proceso de Limpieza.	41
Pruebas Finales al Generador	60
Pruebas Finales Conexión Devanado del Estator	63
Pruebas Finales al Rotor	64
Pruebas Finales Armadura de Excitación	65
Pruebas Finales Campo de Excitación	66
Conclusiones	67
Bibliografía	69

Introducción.

El mantenimiento es un tema que ha recibido un gran auge a lo largo de los años, debido a que todos los equipos que produzcan objetos intangibles (Por ejemplo, la energía eléctrica) o tangibles (Por ejemplo, bombillos eléctricos), desde artículos domésticos hasta maquinas industriales, necesitan un proceso de conservación para que estos continúen con su función, de manera óptima.

Un generador síncrono se define como una máquina rotatoria que es capaz de convertir una energía mecánica en energía eléctrica. Ésta se encuentra compuesta de dos partes: un rotor y un estator. El rotor es la parte móvil del generador, mientras que el estator es la parte fija.

En este tipo de generadores el rotor gira de acuerdo a la energía mecánica que se suministra. Esta energía procede de lo que se llama **impulsor primario** que es el mecanismo que gira por la fuerza mecánica. Por ejemplo, un propulsor en un molino de viento; o una turbina en una planta hidroeléctrica.

La razón principal por la que los motores y generadores fallan es el envejecimiento de los componentes durante su funcionamiento normal. Los fallos implican paradas imprevistas con costes no planificados, los cuales, siempre parecen ocurrir en el peor momento posible. Los fallos en los componentes pueden dar lugar a daños secundarios en partes críticas como el estátor o el rotor. Por eso, es esencial que se tomen medidas para prevenir los fallos siempre que sea posible. Los productos de mantenimiento preventivo estandarizados de ABB se adaptan a la fase del ciclo en la que se encuentre el motor en cada momento, lo que ayuda a maximizar la disponibilidad y fiabilidad basada en el conocimiento único de ABB como fabricante original.

Programa de mantenimiento recomendado.

El programa de mantenimiento recomendado para motores y generadores síncronos de ABB (unidades instaladas en planta Tipitapa Power) consiste en 4 niveles, L1-L4, que tienen lugar a lo largo de la vida de un motor o generador. El tiempo necesario para cada mantenimiento depende de la edad del motor o generador y de las condiciones ambientales.

Las condiciones extremas- como temperaturas ambientales muy altas, humedad, suciedad o cargas elevadas - pueden acortar la vida útil de los componentes significativamente y reducir los intervalos entre mantenimientos o reemplazos.

Por tanto, el mantenimiento es un tema muy amplio que aborda una infinidad de equipos, sin embargo, lo que se pretende abordar a lo largo de este documento es el mantenimiento industrial, siendo definido como: “una actividad dirigida a conservar los equipos e instalaciones en condiciones óptimas de funcionamiento, durante un periodo predeterminado de tiempo y al menor costo”.



Las unidades Wartsila (motor de combustión) que trabajan con combustible fósil, ubicadas en la planta Tipitapa y que son el objeto de estudio de este trabajo monográfico, actualmente genera energía con la misma frecuencia que lo hacía años atrás, y ha venido trabajando como una estación de apoyo (manteniendo la estabilidad energética) para otras centrales de generación que mantienen una producción constante, sin embargo, es de gran importancia siempre esté disponible, dada alguna emergencia, ya que si en algún caso se origina un apagón nacional, esta planta puede ayudar a las demás centrales de generación a restaurar el servicio de energía eléctrica

En dicha planta además del mantenimiento preventivo se utiliza el correctivo, este último permite a las unidades regresar a funcionamiento de forma rápida, en cambio el primero permite alargar la vida útil de los motores y evitar paros o fallos que entorpezcan la generación de energía. El propósito siempre de toda empresa ha sido optimizar los recursos y consigo disminuir costos, es por tal razón que los fabricantes mencionaron utilizar estos tipos de mantenimiento para obtener los mayores beneficios de la maquinaria.

Principales beneficios

- ❖ Disponibilidad y fiabilidad maximizada
- ❖ Minimización del tiempo de inactividad no planificado
- ❖ Aumento de la vida útil del motor/generador
- ❖ Informe completo de mantenimiento

Beneficios obtenidos a través de:

- ❖ Herramientas de mantenimiento a medida:
 - Mejora de la seguridad del personal de servicio
 - Prevención de daños en el motor o generador
 - Reducción del tiempo de indisponibilidad

Las fallas constantes requieren de una atención inmediata al momento de ser vistos, para evitar que la unidad se deteriore y disminuya de esta manera su vida útil, por lo cual se hace un paro a la unidad para un mantenimiento en prontitud y dependiendo de la falla se mantiene la unidad sin uso por un periodo de tiempo, el cual puede ser largo o corto. El número de estas fallas se puede disminuir si se adecua un sistema de mantenimiento propio, ya que si esta situación continúa podría ocasionar terribles pérdidas en la empresa.

En primera instancia para comprender mejor el presente documento el cual esta basado en los fundamentos teóricos-prácticos, los cuales constan de una introducción a los conceptos elementales como el principio de funcionamiento y los tipos de operación a los que puede estar expuesto el generador durante su funcionamiento. Además, que se proporcionara la información respecto a los debidos mantenimientos que se puede aplicar en el generador para que este opere



de manera confiable, así mismo se presentan las pruebas eléctricas, técnicas de limpieza, funciones de protección y las curvas características del generador.

Posteriormente el desarrollo de este documento se enfoca al generador síncrono, de la planta termo eléctrica TIPITAPA POWER, se realiza la descripción de sus partes constructivas, esto con la finalidad de proporcionar información acerca de su funcionamiento y diseño de construcción, luego los materiales de que conforman el aislamiento, la instrumentación y protecciones eléctricas del generador.

Mantenimiento

El fin del mantenimiento es conservar un equipo en buen estado para que esta mantenga su funcionalidad y evitar su degradación rápida. Sin embargo, muchas empresas a nivel nacional no toman en cuenta la importancia del mantenimiento, debido a los costos que puede generar.

El mantenimiento industrial toma como base tres elementos de vital importancia que son a su vez los parámetros en los cuales el mantenimiento y la organización se basan para una buena administración de los recursos, siendo estos descritos de la siguiente manera:

Disponibilidad: Se define como la capacidad de un componente, equipo o instalación para realizar la función para la cual fueron diseñados, en el momento en el cual se requiera su funcionamiento.

Confiabilidad: Se define como la probabilidad de que un componente, equipo o instalación no experimente fallas durante un tiempo determinado, mientras está en servicio.

Mantenibilidad: Se define como la probabilidad de que un componente, equipo o instalación que ha fallado, pueda ser reparado dentro de un periodo de tiempo dado. En la empresa Tipitapa Power utiliza tres tipos de mantenimiento, debido a que sus ejecutivos comentan que es una forma de mantener la maquina en buenas condiciones para que funcione de manera correcta. A continuación, mencionaremos los mantenimientos utilizados:

- ❖ **Mantenimiento correctivo:** corrige los defectos observados en los equipamientos o instalaciones, es la forma más básica de mantenimiento y consiste en localizar averías o defectos y corregirlos o repararlos. Este mantenimiento es el más remoto que existe debido a que fue el único concepto que se manejaba anteriormente hasta la Primera Guerra Mundial.
- ❖ **Mantenimiento preventivo:** Es el destinado a mantener equipos o instalaciones en sus medidas correspondientes, mediante la realización de revisión y reparación que garanticen su buen funcionamiento y fiabilidad. Siendo el principal objetivo evitar las consecuencias de fallos de los equipos.
- ❖ **Mantenimiento predictivo:** El mantenimiento predictivo es el enfoque proactivo de esta función que, basándose en un conjunto de técnicas que se apoyan en la



MANTENIMIENTO INTEGRAL (L4) A GENERADORES SINCRONOS ABB EN PLANTA TIPITAPA POWER.

tecnología, identifica patrones y tendencias en el sistema productivo y cada uno de sus componentes. Sin embargo, el mantenimiento predictivo, dentro de un plan preventivo, puede eliminar la mayoría de los escenarios de mantenimiento de emergencia. El mantenimiento predictivo permite definir el mejor momento para realizar cada trabajo en una instalación, de modo que la frecuencia de manutención sea lo más baja posible y la confiabilidad lo más alta posible, sin costes innecesarios.



Antecedentes.

La Planta TIPITAPA POWER es una instalación integrada por un conjunto de 5 alternadores ABB acoplados en paralelo a un sistema eléctrico y que son arrastrados por un conjunto de motores diésel alimentados por combustible fósil líquido

En los motores diésel, el combustible es inyectado en el seno del aire que ha sido comprimido por el movimiento ascendente del pistón. La elevada temperatura del aire provoca la inflamación del combustible que reacciona generando unos gases de combustión. La expansión de los gases empuja al pistón en su carrera ascendente generando trabajo

Tipitapa Power Company (TPC) es una planta de motores diesel ubicada en la población de Tipitapa, a unos 20 km al Noroeste de Managua, Nicaragua. La planta de 50 MW consiste en cinco motores reciprocantes marca Wartsila de 10 MW cada uno. Tipitapa recientemente renovó sus contratos de suministro (PPAs) con las distribuidoras Disnorte-Dissur por el 100% de su capacidad instalada.

Las unidades de generación iniciaron operaciones en el año de 1999 y a lo largo de su tiempo en servicio, se han realizado las actividades de mantenimiento recomendadas por el fabricante, como parte de estas actividades se programan cada dos años trabajos de “Overhaul” al motor y las de mantenimiento a las unidades generadora. Adicionalmente se ejecutan mediciones de factor de potencia “Tip Up” con el objetivo de establecer la condición de operación de la máquina antes y después de cada mantenimiento.

La situación de la empresa es discutible pero manejable, sin embargo se debe siempre buscar una manera de conservar el motor de forma apropiada, ya que si se da una actividad de mantenimiento preestablecido a un motor y además de esto se agrega que en la unidad siguiente se presente un fallo repentino al momento de su uso, esto afectaría seriamente la producción de energía, debido a que ambas unidades estarían dañadas y la empresa tendría la obligación de repararlas afectando monetariamente a la compañía.

Adicionalmente en el informe se realiza la evaluación de los resultados basado en las recomendaciones de las normas internacionales y experiencia del personal de mantenimiento de planta al realizar la comparación de los resultados obtenidos en el año 2021 con respecto a los resultados obtenidos en abril 2023 en una de sus unidades generadoras.

En TIPITAPA POWER, se decidieron por el gigante ABB y a su socio WARTSILA en el diseño y construcción de la planta, ya que ambos tienen un largo historial de éxito en cuanto al diseño y construcción de plantas para todas las aplicaciones de generación eléctrica. ABB dispone de los recursos, la experiencia y los productos necesarios para apoyar a operadores y constructores de plantas, desde la fase de



proyecto inicial hasta el diseño y la instalación, para conseguir muchos años de funcionamiento fiable y eficiente.

ABB y Wartsila son líderes del mercado en generadores alimentados por turbinas de vapor y gas, motores diésel y gas y turbinas eólicas. Cuenta con una gran experiencia en aplicaciones gracias a los miles de proyectos e instalaciones completados en todo el mundo, en Honduras con el grupo de inversión LUFUSSA y sus plantas termo eléctricas PAVANA II Y PAVANA III, en Panamá con la barcaza ESTRELLA DEL MAR y en Nicaragua con la planta TIPITAPA POWER COMPANY, en las cuales se desarrollan los mantenimientos descritos en este trabajo monográfico.

Justificación.

El desarrollo de este trabajo monográfico tiene como fin analizar y desarrollar a fondo el plan de mantenimiento L4, existente en la empresa, para con esto saber la ejecución de manera adecuada o no. Si se detectan fallas o anomalías en los planes, posterior al análisis se debe brindar recomendaciones sustanciales que puedan alargar la vida útil de los motores.

Como logramos observar en el fragmento anterior, nos damos cuenta de que el mantenimiento viene siendo un tema que ha venido evolucionando con el tiempo hasta convertirse en un proceso importante para mantener en óptimas condiciones y funcionalidad las maquinarias de las empresas de gran importancia a nivel nacional.

Las empresas precisan ser competitivas para mantenerse o sobrevivir en el mercado al cual pertenecen, para ello debe de buscar la mayor disponibilidad operacional de sus equipos y su permanente mejora.

Esto obliga a transformar constantemente sus planes de mantenimientos debido al crecimiento exponencial de la tecnología, que ayuda a aumentar el nivel de utilización de los equipos al máximo posible, alargando su vida útil. Invertir en la automatización de equipos y procesos asegura el grado de disponibilidad.

Todo el mantenimiento siempre debe de tener en cuenta el respeto a las leyes de trabajo y la seguridad de los trabajadores, ya que son estos de los que depende de que se haga un mantenimiento de calidad.

Los generadores diésel requieren un mantenimiento regular que garantice su funcionamiento correctamente y en el momento preciso, prestando especial atención a su motor y generador, que deberá mantener su fiabilidad y prestaciones cuando así sea requerido.



MANTENIMIENTO INTEGRAL (L4) A GENERADORES SINCRONOS ABB EN PLANTA TIPITAPA POWER.

Los generadores diésel en planta TIPITAPA POWER, pueden tener modos de funcionamiento variables, ya que pueden estar operando en continuo durante horas, semanas, o simplemente de manera puntual según lo requiera el Despacho Nacional de Carga (C.N.D.C.)

Una planta de energía basada en motores es relativamente compleja y requiere de personal de explotación con la adecuada capacitación para operar y realizar el mantenimiento requerido y la operatividad de esta.

Los preparativos para el mantenimiento preventivo eficaz, la planificación se debe realizar con mucha antelación, ya que los recursos y las piezas necesarias para el mantenimiento deben estar disponibles en el sitio a tiempo para el mantenimiento.

Para un trabajo fluido y efectivo es importante conocer las condiciones del sitio antes del mantenimiento para preparar planes detallados para cualquier levantamiento o retirada del rotor. Si no se dispone de suficiente información sobre el lugar y las condiciones de operación, se recomienda encarecidamente que ABB haga una encuesta sobre el lugar antes del mantenimiento.

Formulación de objetivos

Objetivo general.

Realizar el mantenimiento integral (L4) a unidades generadoras ABB en planta Tipitapa Power

Objetivos específicos.

Realizar pruebas de medición de resistencia de aislamiento en los devanados al generador ABB de 10MW de planta Tipitapa (antes y después de su mantenimiento).

Realizar pruebas de Factor de Potencia en los devanados del generador ABB de 10mw de planta Tipitapa (antes y después de su mantenimiento).

Realizar mantenimiento al generador ABB de 10mw de planta Tipitapa (lavado a presión con solvente dieléctrico a los devanados del generador, TP y TC de medición, cambio de aceite y sellos en el alojamiento de los cojinetes, cambio de cojinetes, medición del Air-Gap entre el estator y rotor del generador).

Realizar pruebas de descargas parciales en los devanados del generador.



Marco Teórico.

En los últimos años, la producción de energía eléctrica se presenta en una de las necesidades más grandes a satisfacer y de manera especial en los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP). En un SEP, el generador síncrono es la parte principal en las centrales de generación de energía eléctrica. Por lo tanto, es necesario tener conocimiento de sus principios básicos, funcionamiento, mantenimiento y operación.

La presente investigación tiene como propósito implementar un manual de operación y mantenimiento eléctrico de un generador síncrono enfocado a mantener el generador en óptimas condiciones para la prevención de fallas que generan pérdidas en la producción de electricidad. Hoy en día se han generado diversos planes para la prevención de daños en centrales de generación, manteniendo el control y evaluaciones periódicas del generador.

El mantenimiento puede actuar como un mecanismo regulador del proceso productivo, donde la planificación es el primordial factor que puede influir en la organización y cumplimiento de las exigencias. Actualmente, un mejor estudio en los procesos de gestión de mantenimiento y en el tiempo de vida útil de un equipo, permite planificar o estructurar de mejor manera los mantenimientos programados en las industrias.

Con la elaboración del presente manual de operación y mantenimiento eléctrico del generador síncrono se pretende describir: sus partes constructivas, aislamiento, instrumentación, protecciones, operación, pruebas estandarizadas, limpieza e inspecciones visuales, mismas que son importantes porque forman parte de un conjunto de actividades que se realizan durante un mantenimiento planificado para establecer una evaluación periódica del generador. De esta manera, se garantiza la confiabilidad durante su ciclo de vida y por ende su disponibilidad.



Como primer paso para la elaboración de este proyecto de titulación, se basó en la metodología investigativa, la cual permite desarrollar conocimientos previos para cumplir con los objetivos propuestos.

Luego se aplicó la metodología cuantitativa, la cual permitió la recopilación de información necesaria para comprender los detalles constructivos, funcionamiento, instrumentación, aislamiento, pruebas, limpieza e inspecciones visuales del generador síncrono. La recopilación de información se adquirió de catálogos, manuales del fabricante, artículos científicos, libros, y normativas (IEEE). Además, se realizó una investigación en campo para la obtención de datos.

Después se consolidó la información procedente del área de mantenimiento eléctrico y operación, con la información recopilada. Además, se obtuvo la colaboración del personal que labora en el área de mantenimiento eléctrico y operación de la Central ya que gracias a su experiencia adquirida al frente de sus labores aportaron con conocimientos indispensables para el desarrollo del actual proyecto. Por último, en base a todas las investigaciones realizadas se obtuvo una gran cantidad de información relevante, con la cual se realizó un manual de operación y mantenimiento eléctrico del generador síncrono, respetando las normativas técnicas vigentes.

Fundamentos teóricos

Definición de generador síncrono

Un generador síncrono se define como una máquina rotatoria que es capaz de convertir una energía mecánica en energía eléctrica. Ésta se encuentra compuesta de dos partes: un rotor y un estator. El rotor es la parte móvil del generador, mientras que el estator es la parte fija.

En este tipo de generadores el rotor gira de acuerdo a la energía mecánica que se suministra. Esta energía procede de un lo que se llama *impulsor primario* que es el mecanismo que gira por la fuerza mecánica. Por ejemplo, un propulsor en un molino de viento; o una turbina en una planta hidroeléctrica.

Las máquinas síncronas se pueden clasificar en dos tipos de acuerdo al tipo de arreglo rotor – estator que se emplee.

Armadura giratoria. El inducido se encuentra en el rotor, y el campo magnético en el estator.

Campo giratorio. El inducido se encuentra en el estator, y el campo magnético en el rotor.



Definición de magnitudes eléctricas del generador síncrono. Potencia Aparente.

La capacidad del generador está definida en unidades de MVA², aunque comúnmente se habla del generador en términos de potencia real, casi siempre en MW³; sin embargo, la potencia aparente es la magnitud real que indica la capacidad de los generadores, ya que enmarca la relación completa entre la tensión y corriente del generador y no solo una versión simplificada de la misma que es la potencia activa, en un sistema de alimentación trifásico, el MVA viene dado por la siguiente expresión:

$$MVA = \sqrt{3} * (\text{Corriente de línea [kA]}) * (\text{Voltaje de línea [kV]})$$

Factor de Potencia.

El factor de potencia describe el ángulo existente entre la tensión en los terminales del generador y la corriente que fluye a través de dichos terminales.

En el funcionamiento de los generadores, por definición, el ángulo entre la corriente y la tensión se considera positivo cuando la corriente se retrasa con respecto a la tensión, y se define como negativo cuando la corriente adelanta a la tensión. Por lo tanto, el factor de potencia se utiliza para describir como el generador está operando en el rango de factor de potencia "retrasado" o "adelantado".

Un factor de potencia positivo indica que el generador está entregando MVAR⁴, un factor de potencia negativo indica que el generador está absorbiendo MVAR del sistema, el factor de potencia de la unidad se refiere a un factor de potencia de 1. Entregar es sinónimo de sobreexcitado o que el generador tiene un efecto capacitivo sobre la red a la que se encuentra conectado, así mismo, absorber es sinónimo de subexcitado o que el generador está consumiendo reactivos de la red generando un efecto inductivo.



Potencia Real.

La potencia activa nominal (MW) del generador es parte de la potencia aparente y su cálculo es a través del factor de potencia nominal. La potencia activa se determina a través del control mecánico de la fuerza que se inyecta sobre la turbina por distintos medios dependiendo de la Central o tipo de turbina, por lo tanto, se puede controlar la potencia activa que se obtiene del generador.

Tensión de salida.

La tensión nominal de un generador trifásico se define como la tensión terminal de línea a línea en la que el generador está diseñado para funcionar de manera continua. La tensión nominal de los generadores grandes normalmente está en el rango de 13.800–27.000 V. Los generadores diseñados según las normas IEEE deben operar a un 5% por encima o por debajo de la tensión nominal a un MVA nominal, de manera continua.

Corriente del estator

La capacidad de corriente del estator en grandes generadores depende en gran medida del tipo de máquina. En generadores enfriados por aire indirectamente la capacidad térmica del devanado del estator define la corriente nominal del estator.

Tensión de campo.

El incremento de la tensión de campo aumenta la corriente de campo en proporción a la resistencia del devanado del rotor. La tensión de campo se monitorea, pero no se usa generalmente para alarmas o disparos, se usa para calcular la resistencia del devanado del rotor y, posteriormente, el promedio del devanado del rotor y la temperatura del punto caliente [2].



Corriente de campo

La capacidad del devanado del rotor generalmente está determinada por la corriente de campo a la potencia aparente nominal, el factor de potencia nominal y la tensión nominal del terminal. El aumento de la corriente de campo cumple funciones como:

1. Aumentar o disminuir los MVAR que el generador exporta al sistema.
2. Aumentar la corriente de armadura (estator) si el generador ya está en la región de sobreexcitación.
3. Aumentar o disminuir el diferencial de potencial en los terminales del generador [2].

Velocidad

El generador síncrono puede generar potencia a cualquier velocidad que produzca el corte relativo entre líneas de campo magnético del inductor; sin embargo, para conectarse en sincronismo con un sistema de transmisión y consumo, es necesario estar a una velocidad de giro definida. Esta velocidad es llamada síncrona, es única según el sistema y está relacionada con la frecuencia del sistema, los generadores en su diseño deben considerar la frecuencia del sistema al que se van a conectar para que su velocidad de giro y un aspecto constructivo como es el número de polos del generador sean los adecuados, la siguiente expresión representa la relación entre velocidad de giro y número de polos de un generador síncrono.

$$Velocidad\ sincrona\ [rpm] = 120 * \frac{Frecuencia\ del\ sistema\ [Hz]}{Numero\ de\ polos}$$



Principio de funcionamiento.

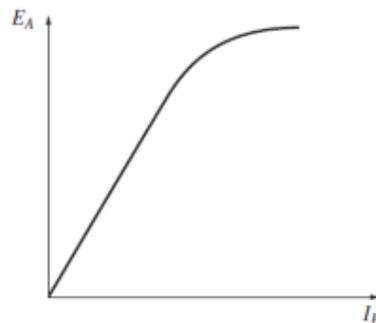
El principio de funcionamiento del generador síncrono se basa en la Ley de inducción de Faraday, la cual describe en forma cuantitativa la inducción de voltajes en un conductor que atraviesa un campo magnético variable en el tiempo. La conversión electromagnética de energía se lleva a cabo cuando el cambio de flujo se asocia con el movimiento mecánico. En las máquinas rotatorias, los voltajes se generan en devanados o grupos de bobinas al hacerlos girar (mecánicamente) a través de un campo magnético. Lo que se consigue con esto, es hacer variar en forma cíclica el flujo que enlaza una bobina dada y se genera un voltaje variable en el tiempo [3].

El generador síncrono está constituido por dos devanados independientes, el devanado del inducido o armadura donde se induce la tensión alterna y el devanado del rotor o campo que se excita mediante la inyección de corriente continua proveniente del sistema de excitación, creando el campo magnético requerido.

El campo magnético producido por el rotor debido a la rotación mecánica del conjunto rodete y rotor se convierte en campo magnético rotatorio que gira en el entrehierro del generador con la frecuencia angular de las corrientes de armadura [3]. Este campo magnético rotatorio induce un conjunto de tensiones trifásicas en los terminales de los devanados del estator.

Funcionamiento en Vacío.

Se considera que el generador está operando en vacío cuando no tiene carga, es decir, no existe caída de tensión, por lo tanto, la tensión que se medirá en los terminales del generador es la *fmm* inducida que varía de la misma forma que el flujo frente a la corriente de excitación. Cabe destacar que cuando el generador no está conectado a carga, la corriente del inducido es cero.



Curva característica en vacío

Funcionamiento con Carga

Durante la operación de estado estable, la corriente del estator produce un componente del flujo y pasa a través del mismo circuito magnético que el flujo producido por el devanado del campo del rotor. Este es un camino de flujo efectivo, y se puede esperar un valor relativamente alto de reactancia, en el rango de 1.5 a 2.1 por unidad [2]. La reactancia síncrona por unidad es aproximadamente igual a la recíproca de la relación de cortocircuito.

El flujo producido por el estator actúa junto con el flujo producido por el rotor para crear el flujo total "útil" (es decir, que une ambos devanados), denominado flujo resultante. La forma en que el flujo producido por el estator afecta al flujo producido por el rotor se denomina "reacción de inducido" del generador.

Aislamiento.

Es un material aislante o una combinación adecuada de materiales aislantes en asociación con los conductores y las partes estructurales del generador [10], de estos aislantes depende el funcionamiento y duración del mismo, motivo por el cual es importante realizar inspecciones visuales, limpieza y pruebas eléctricas de manera periódica a las partes más importantes como son los devanados del rotor y estator, ya que estos están sujetos al envejecimiento térmico o efectos de la expansión diferencial⁵ [11].



Diseño Metodológico.

La norma UNE-EN 13306:2018, establece que el mantenimiento es la combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión, durante el ciclo de vida de un elemento, destinada a conservarlo o devolverlo a un estado en el cual pueda desarrollar la función requerida.

En este caso se estableció un generador síncrono de planta TIPITAPA POWER de manera específica para el desarrollo de este trabajo monográfico, desde principio a fin se darán detalles que conlleva a la realización del mantenimiento L4, el cual está estipulado según normas técnicas dictaminadas por el fabricante.

Prueba F.P al generador Síncrono en Planta Tipitapa Power

La prueba de Factor de Potencia se realiza a las unidades de generación de planta TIPITAPA POWER antes y después de su mantenimiento (L4) y con ello obtenemos un valor de medida de las pérdidas dieléctricas de un sistema de aislamiento, relacionadas con la condición del mismo. Por tratarse de una evaluación del sistema completo, entrega una valoración de todos los materiales presentes. Su comportamiento puede verse influido por distintos factores.

El sistema de aislamiento de una máquina de media y alta tensión puede modelarse como un arreglo capacitivo, donde un terminal se conecta al devanado de la máquina, y el otro a la carcasa (tierra o masa). El material dieléctrico del capacitor lo constituye los aislantes sólidos, compuesto por: el barniz, la resina, los aislantes base, los aislantes flexibles y las cintas. El modelo permite entender lo que sucede en el devanado (interior y superficial exterior) durante la prueba en corriente alterna.

Teoría de la prueba de FP

Cuando el aislamiento se somete a una tensión en CA, circula por éste una corriente IT de magnitud muy pequeña, la cual se divide en dos componentes, que son: i) una corriente capacitiva (IC), relacionada con el dieléctrico presente y la geometría del devanado, y, ii) una corriente resistiva (IR), debido a la conductancia transversal, que es la causa fundamental de las pérdidas dieléctricas. Ambas componentes de corriente, capacitiva y resistiva, permanecen durante el tiempo que dure la prueba. En este artículo se usa el modelo paralelo para revisar la prueba de Factor de Potencia (FP).

Al aplicar la tensión en CA, la corriente que circula entre el devanado y la carcasa no está completamente en cuadratura respecto de la tensión. Esto es, forma un ángulo entre las corrientes IC e IT, y un ángulo Θ entre las corrientes IR e IT. Estos ángulos aparecen a causa de las pérdidas de polarización y conducción en el aislamiento. A frecuencia industrial (50 o 60Hz), el parámetro definido como Factor de Potencia corresponde al cálculo del Idealmente, en un aislamiento sin pérdidas, la componente de corriente IR debería ser cero, así el FP ideal sería cero, es decir: (material sin pérdidas dieléctricas). Sin embargo, un $FP=0$ no es factible de alcanzar en sistemas aislantes reales. Una de las características de esta prueba, es que se



debe realizarse a distintas tensiones, registrando el valor del FP para cada uno. Según el valor de la tensión línea-línea de la máquina (V_n), se sugiere realizar las pruebas desde $0,2 V_n$ hasta $1,0 V_n$, con incrementos de $0,2 V_n$. Esta forma de realizar la prueba, permite establecer el concepto de “Tip-up de Factor de Potencia”, el cual es un parámetro adicional de diagnóstico. El Tip-up es la variación del FP en cualquier incremento de $0,2 V_n$, es decir, entre dos escalones consecutivos de tensión. Es de esperar que el valor del FP sea influenciado por la actividad de descargas parciales, por lo que su valor tiende a crecer, con el aumento de la tensión.

Diagnóstico de devanados utilizando la prueba de FP.

Con la prueba de FP es posible detectar los siguientes procesos deterioro y contaminación, que incrementarán las pérdidas dieléctricas en el sistema de aislamiento:

1. Contaminación del sistema de aislamiento, incluyendo humedad.
2. Deterioro químico.
3. Daños por sobrecalentamiento.
4. Carbonización.

Por su parte, el parámetro Tip-up de FP es sensible a:

1. Inclusiones gaseosas en el sistema de aislamiento.
2. Daños por descargas parciales.
3. Calidad del proceso de impregnación en sistemas tipo resina.
4. Delaminación, como resultado del estrés térmico.

Se recomienda usar el análisis de tendencia de los parámetros (en el tiempo), lo que ayudará a la detección de problemas en el sistema de aislamiento.

El FP debe ser comparable al medirse por fase en una máquina. Si el aislamiento permanece en condiciones estables, las pruebas periódicas deben producir resultados similares. Los resultados medidos para máquinas similares también deberían producir resultados similares. El FP y el Tip-up de FP varían según el tipo y antigüedad de la máquina. El FP también se ve afectado por la temperatura del aislamiento (se deben realizar pruebas periódicas a temperaturas similares). El Tip-up de FP también se ve afectado por las condiciones atmosféricas durante la prueba. Registre la temperatura ambiente y la humedad relativa.

Metodología de prueba realizada para determinar condición de operación.

La medición de factor de potencia, realizada acorde al procedimiento recomendado en las normativas ANSI/IEEE Std 286-2000: “IEEE Recommended Practice for Measurement of Power Factor Tip-Up of Electric Machinery Stator Coil Insulation” y ANSI/NETA MTS 2015: “STANDARD FOR MAINTENANCE TESTING SPECIFICATIONS for Electrical Power Distribution Equipment and Systems” con la finalidad de establecer la condición técnica de operación. Para llevar a cabo los ensayos se utilizaron los siguientes equipos de medición, los cuales están calibrados y con su certificado vigente a la fecha de ejecución de las pruebas.

Medidor de factor de potencia y capacitancia, marca MEGGER, modelo DELTA 4000

- I. Inductor resonante, marca Megger, modelo 670600-1



Prueba F.P antes del mantenimiento.



GENERATOR TIP UP TEST



CUSTOMER _____ DATE 10/14/2019 PAGE 1
 ADDRESS _____ AMBIENT TEMP. 30 °C JOB # _____
 SUBSTATION ICPOWER TIPITAPA POWER HUMIDITY 64 % ASSET ID _____
 POSITION GENERADOR UNIDAD I ANTES DE MANTENIMIENTO TEST STATUS _____
 EQUIPMENT LOCATION _____

GENERATOR NAMEPLATE DATA:

GENERATOR MFR. _____ MODEL NO. HSG 1250RR12 S/N 4560377
 KVA 14450 KW _____ VOLTS (KV) 13.8 AMPS 605 PHASE 3 FREQUENCY 60 RPM 1250
 GENERATOR CONTROL MFR. _____ MODEL NO. _____ S/N _____
 GOVERNOR MFR. _____ YEAR MANUF. 1998 TYPE
 VOLTAGE REG. MFR. _____ FRAME TYPE _____ Other _____

GROUNDED TIP UP TEST

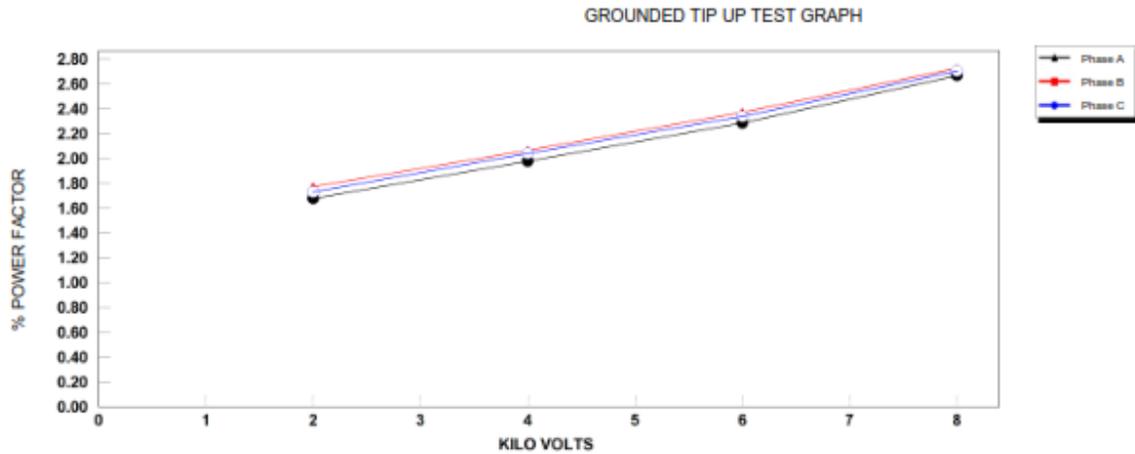
	TEST ID	CIRCUIT DESCRIPTION	kV %	TEST kV	CAPACITANCE C (PF)	P.F. %		DIRECT		PF (%) TIP UP
						MEAS.	mA	Watts		
TERMINAL 1	1	T1 GND T2, T3	25	2	132,667	1.68	99.99	3.354	0.00	
	2	T1 GND T2, T3	50	4	133,235	1.98	200.77	15.875	0.30	
	3	T1 GND T2, T3	75	6	134,065	2.29	303.39	41.644	0.61	
	4	T1 GND T2, T3	100	8	134,790	2.67	406.56	86.754	0.99	
TERMINAL 2	5	T2 GND T1, T3	25	2	132,886	1.77	100.10	3.546	0.00	
	6	T2 GND T1, T3	50	4	133,423	2.07	201.14	16.616	0.29	
	7	T2 GND T1, T3	75	6	134,220	2.37	303.33	43.119	0.60	
	8	T2 GND T1, T3	100	8	134,895	2.73	407.43	89.028	0.96	
TERMINAL 3	9	T3 GND T1, T2	25	2	132,615	1.73	99.43	3.424	0.00	
	10	T3 GND T1, T2	50	4	133,189	2.04	200.80	16.384	0.31	
	11	T3 GND T1, T2	75	6	133,999	2.34	303.45	42.611	0.61	
	12	T3 GND T1, T2	100	8	134,692	2.70	406.38	87.918	0.97	

Medición de factor de potencia, realizada acorde al procedimiento recomendado en las normativas ANSI/IEEE Std 286-2000: "IEEE Recommended Practice for Measurement of Power Factor Tip-Up of Electric Machinery Stator Coil Insulation" y ANSI/NETA MTS 2015: "STANDARD FOR MAINTENANCE TESTING SPECIFICATIONS for Electrical Power Distribution Equipment and Systems" con la finalidad de establecer la condición técnica de operación.



Br. Rosa Marina Rocha Cespedes
 Br. Erick Josué Castillo

MANTENIMIENTO INTEGRAL (L4) A GENERADORES SINCRONOS ABB EN PLANTA TIPITAPA POWER.



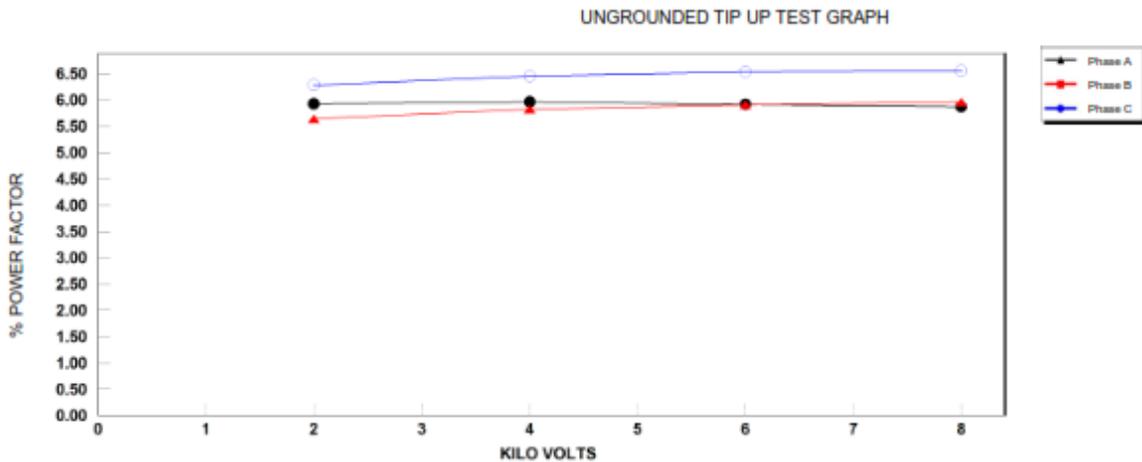
UNGROUNDED TIP UP TEST

	TEST ID	CIRCUIT DESCRIPTION	KV %	TEST KV	CAPACITANCE C (PF)	P.F. %		DIRECT		PF (%) TIP UP
						MEASURED	mA	Watts		
TERMINAL 1	13	T1 MES T2 GND T3	25	2	1,574.98	5.93	1.19	0.141	0.00	
	14	T1 MES T2 GND T3	50	4	1,576.02	5.96	2.38	0.569	0.04	
	15	T1 MES T2 GND T3	75	6	1,575.91	5.92	3.57	1.267	-0.01	
	16	T1 MES T2 GND T3	100	8	1,574.04	5.87	4.76	2.234	-0.06	
TERMINAL 2	17	T2 MES T1 GND T3	25	2	1,490.73	5.64	1.13	0.128	0.00	
	18	T2 MES T1 GND T3	50	4	1,490.82	5.83	2.26	0.527	0.18	
	19	T2 MES T1 GND T3	75	6	1,490.11	5.91	3.38	1.197	0.27	
	20	T2 MES T1 GND T3	100	8	1,489.59	5.96	4.50	2.149	0.32	
TERMINAL 3	21	T3 MES T1 GND T2	25	2	1,465.85	6.29	1.10	0.137	0.00	
	22	T3 MES T1 GND T2	50	4	1,466.32	6.46	2.22	0.573	0.17	
	23	T3 MES T1 GND T2	75	6	1,466.78	6.54	3.33	1.306	0.25	
	24	T3 MES T1 GND T2	100	8	1,467	6.56	4.44	2.331	0.27	

Medición de factor de potencia, realizada acorde al procedimiento recomendado en las normativas ANSI/IEEE Std 286-2000: “IEEE Recommended Practice for Measurement of Power Factor Tip-Up of Electric Machinery Stator Coil Insulation” y ANSI/NETA MTS 2015: “STANDARD FOR MAINTENANCE TESTING SPECIFICATIONS for Electrical Power Distribution Equipment and Systems” con la finalidad de establecer la condición técnica de operación.



MANTENIMIENTO INTEGRAL (L4) A GENERADORES SINCRONOS ABB EN PLANTA TIPITAPA POWER.



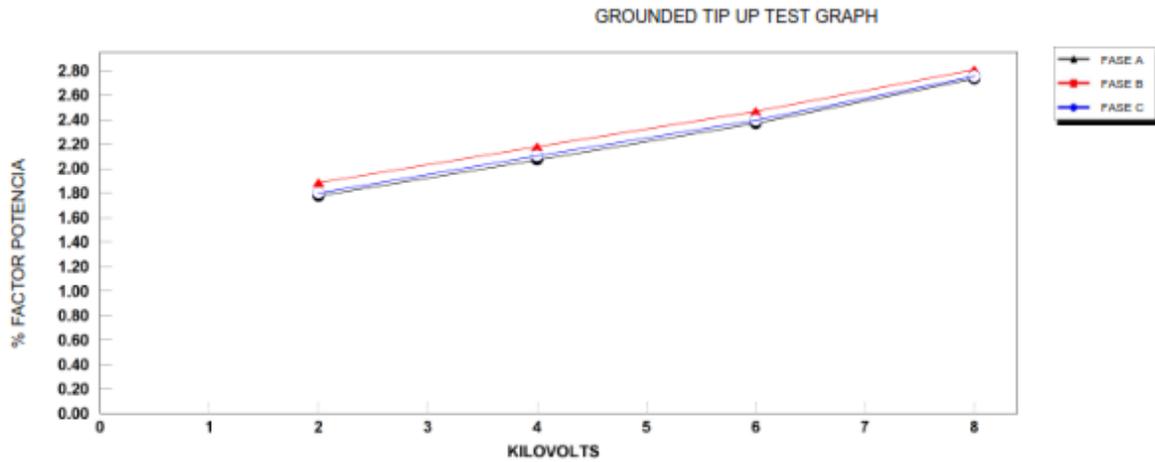
MULTIPLE QUICK TESTS

TEST NO	INSULATION TESTED	TEST MODE	SUPPRESS.	TEST KV	Test Freq	L(H) CAP.(pF)	POWER FACTOR %			DIRECT		%VDF	IR
							MEAS.	@ 20°C	CORR.	mA	Watts		
1		GST-GND	Freq Variation	0.20	60	387,381.0 pF	1.26			29.4196	0.0748	0.03	
2		GST-GND	Freq Variation	2.01	60	390,126.8 pF	1.67			294.9747	9.8746	0.10	
3		GST-GND	Freq Variation	4.00	60	391,850.8 pF	1.99			591.3590	47.0638	0.19	
4		GST-GND	Freq Variation	5.98	60	393,581.6 pF	2.31			888.2685	122.7843	0.29	
5		GST-GND	Freq Variation	7.98	60	395,819.1 pF	2.71			1,190.593	257.1043	0.47	
6			Freq Variation										

Medición de factor de potencia, realizada acorde al procedimiento recomendado en las normativas ANSI/IEEE Std 286-2000: “IEEE Recommended Practice for Measurement of Power Factor Tip-Up of Electric Machinery Stator Coil Insulation” y ANSI/NETA MTS 2015: “STANDARD FOR MAINTENANCE TESTING SPECIFICATIONS for Electrical Power Distribution Equipment and Systems” con la finalidad de establecer la condición técnica de operación.



MANTENIMIENTO INTEGRAL (L4) A GENERADORES SINCRONOS ABB EN PLANTA TIPITAPA POWER.



PRUEBA NO ATERORIZADA DE TIP UP

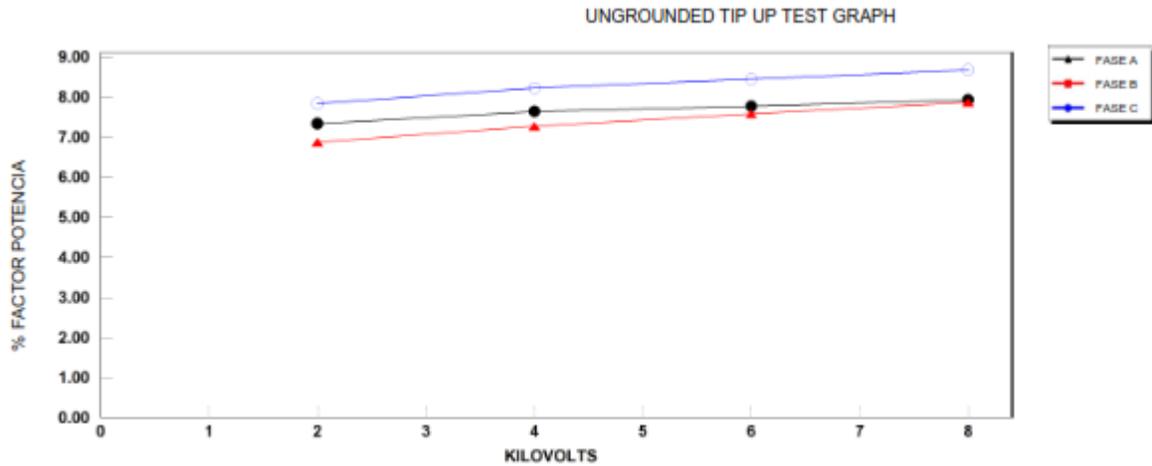
	ID DE PRUEBA	DESCRIPCIÓN CIRCUITO	KV %	KV PRUEBA	CAPACITANCIA C (PF)	P.F. %	Direct		FP (%)
						MEDIDO	mA	Watts	
TERMINAL 1	13	T1 MES T2 GND T3	25	2	1,672.84	7.33	1.27	0.186	0.00
	14	T1 MES T2 GND T3	50	4	1,675.84	7.64	2.53	0.773	0.31
	15	T1 MES T2 GND T3	75	6	1,676.91	7.77	3.81	1.775	0.44
	16	T1 MES T2 GND T3	100	8	1,674.17	7.92	5.07	3.211	0.59
TERMINAL 2	17	T2 MES T1 GND T3	25	2	1,587.23	6.87	1.20	0.164	0.00
	18	T2 MES T1 GND T3	50	4	1,589.88	7.27	2.40	0.698	0.40
	19	T2 MES T1 GND T3	75	6	1,591.19	7.58	3.61	1.640	0.71
	20	T2 MES T1 GND T3	100	8	1,592.24	7.87	4.82	3.041	1.00
TERMINAL 3	21	T3 MES T1 GND T2	25	2	1,564.5	7.83	1.18	0.186	0.00
	22	T3 MES T1 GND T2	50	4	1,566.39	8.22	2.37	0.780	0.39
	23	T3 MES T1 GND T2	75	6	1,567.68	8.44	3.56	1.802	0.61
	24	T3 MES T1 GND T2	100	8	1,569.09	8.67	4.76	3.312	0.84

UNGROUNDING TIP UP TEST GRAPH

Medición de factor de potencia, realizada acorde al procedimiento recomendado en las normativas ANSI/IEEE Std 286-2000: "IEEE Recommended Practice for Measurement of Power Factor Tip-Up of Electric Machinery Stator Coil Insulation" y ANSI/NETA MTS 2015: "STANDARD FOR MAINTENANCE TESTING SPECIFICATIONS for Electrical Power Distribution Equipment and Systems" con la finalidad de establecer la condición técnica de operación.



MANTENIMIENTO INTEGRAL (L4) A GENERADORES SINCRONOS ABB EN PLANTA TIPITAPA POWER.



PRUEBAS RÁPIDAS

PRUEBA No.	AISLAMIENTO PROBADO	MODO TEST	SUPRIMIR.	kV Prueba	Frec. Prueba	L(H) CAP.(pF)	FACTOR DE POTENCIA %			Direct		%VDF	IR	
							Medido	@ 20°C	Corr.	mA	Watts			
1		GST-GND	Freq Variation	0.20	50	388,300.8	pF	1.33			24.4512	0.0653	0.02	
2		GST-GND	Freq Variation	2.00	60	390,593.9	pF	1.72			294.4858	10.1188	0.10	
3		GST-GND	Freq Variation	3.98	60	392,272.3	pF	2.02			589.3811	47.4996	0.18	
4		GST-GND	Freq Variation	6.00	60	393,993.1	pF	2.33			891.5701	124.4978	0.29	
5		GST-GND	Freq Variation	8.00	60	396,195.0	pF	2.71			1,194.803	258.9729	0.47	
6			Freq Variation											

El factor de potencia del aislamiento fase-tierra en las pruebas después del mantenimiento presenta un leve incremento en comparación con el valor antes del mantenimiento, pero este no excede los límites recomendados para una operación normal.

El comportamiento de “Tip-Up” presenta en las tres fases un comportamiento estable en los valores de factor de potencia con respecto a cada escalón de voltaje. Al evaluar lo anterior con respecto a los criterios de la norma ANSI/IEEE Std 286-2000 se determina un comportamiento aceptable.

Los valores del factor de potencia del aislamiento fase-fase después del mantenimiento aumentaron un 2% para las tres fases en comparación con el valor inicial, pero los valores se encuentran dentro de los límites recomendados para una operación normal.



En el caso del comportamiento de “Tip Up” se observa que existe un incremento en la diferencia entre los valores de factor de potencia con respecto a cada escalón de voltaje para todas las fases. Sin embargo, al evaluar lo anterior con respecto a los criterios de la norma ANSI/IEEE Std 286-2000 se determina un comportamiento aceptable.

Después de evaluar los resultados obtenidos en las pruebas anteriormente realizados según lo establecido en las normas ANSI/IEEE Std 286-2000 y ANSI/NETA MTS 2015, definimos lo siguiente

Las actividades de mantenimiento desarrolladas en el generador mejoraron la condición del aislamiento sólido, en primera instancia, obteniéndose una reducción de los valores del Factor de potencia. Los valores de Tip Up de 2021 vs 2023 muestran un ligero incremento, sin embargo, aún permanecen dentro de los límites aceptables para determinar una condición normal de operación.

Pruebas de aislamiento P.I

En lo que respecta a las pruebas de motores eléctricos, **el índice de polarización (PI)** es una medida de cuánto mejora (o se degrada) la resistencia del sistema de aislamiento con el paso del tiempo en una maquina eléctrica (motor o generador). Aunque la prueba PI se ha considerado la prueba principal para evaluar el estado del aislamiento de un motor, su proceso se ha quedado obsoleto en comparación con métodos de prueba más recientes que proporcionan una evaluación diagnóstica más completa del estado general de una maquina eléctrica. Las pruebas PI consisten en aplicar una tensión continua (normalmente de 500 V a 5.000 V) al bobinado del generador para medir la eficacia del sistema GWI (sistemas de aislamiento de la pared de tierra) para almacenar una carga eléctrica.

Dado que el sistema GWI forma una capacitancia natural entre los devanados del motor y el bastidor del motor, la tensión continúa aplicada se almacenará como una carga eléctrica igual que cualquier condensador. A medida que el condensador se carga por completo, la corriente disminuirá hasta que sólo quede la corriente de fuga final, que determina la cantidad de resistencia que el aislamiento ofrece a tierra. En los sistemas de aislamientos nuevos y limpios, la corriente de polarización disminuye logarítmicamente con el tiempo a medida que se almacenan los electrones. El índice de polarización (PI) es la relación del valor de la resistencia de aislamiento a tierra (IRG) tomada a intervalos de 1 y 10 minutos.

PI = 10 minutos IRG/1 minuto IRG

Si el aislamiento de la pared de tierra (GWI) comienza a degradarse, experimenta un cambio químico que hace que el material dieléctrico se vuelva más resistivo y menos capacitivo, disminuyendo la constante dieléctrica y reduciendo la capacidad del sistema de aislamiento para almacenar una carga eléctrica. Esto hace que la corriente de polarización se vuelva más lineal a medida que se acerca al rango en el que predomina la corriente de fuga.

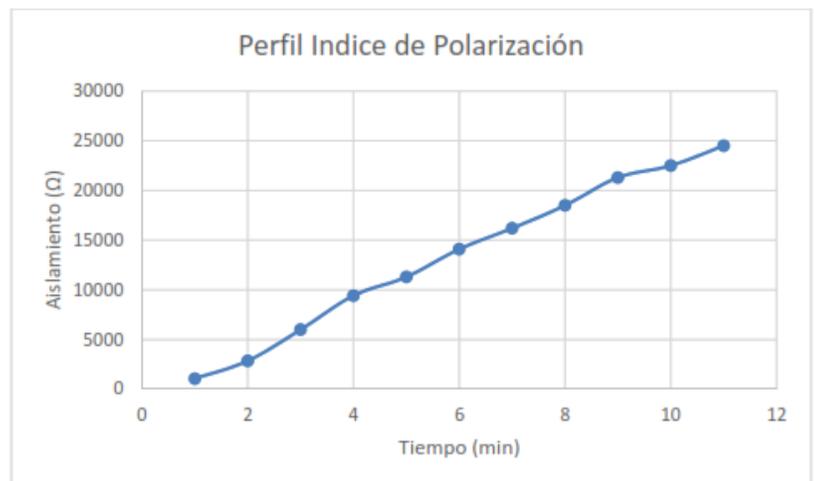


Valores de prueba de P.I Datos de placa del generador.

- ABB
- TYPE: HSG1250RR12
- SERIAL:4560377
- KVA: 14450
- V: 13800
- A: 605
- RPM: 600
- PF: 0,8
- Hz: 60
- S1

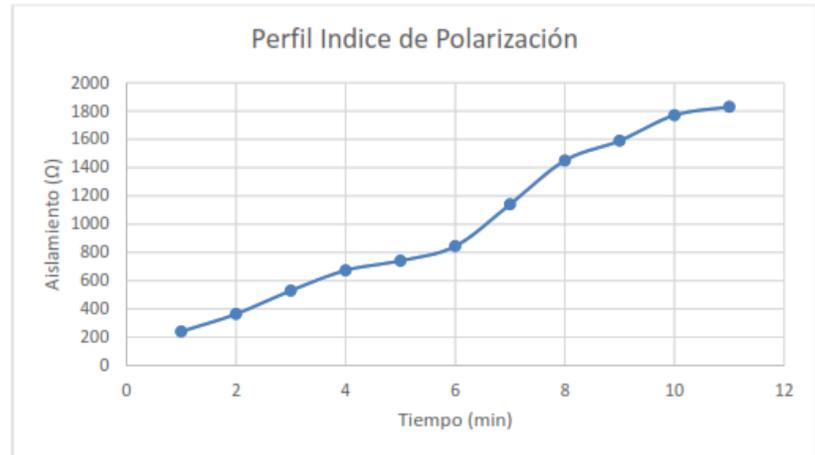
Estator

Medición de Aislamiento	
Estator Principal Inicial	
Tiempo	Aislamiento (MΩ)
30 s	1070
1 min	2860
2 min	6000
3 min	9420
4 min	11300
5 min	14100
6 min	16200
7 min	18500
8 min	21300
9 min	22500
10 min	24500
IP	8,57
Voltaje	10 Kv
Temperatura	32



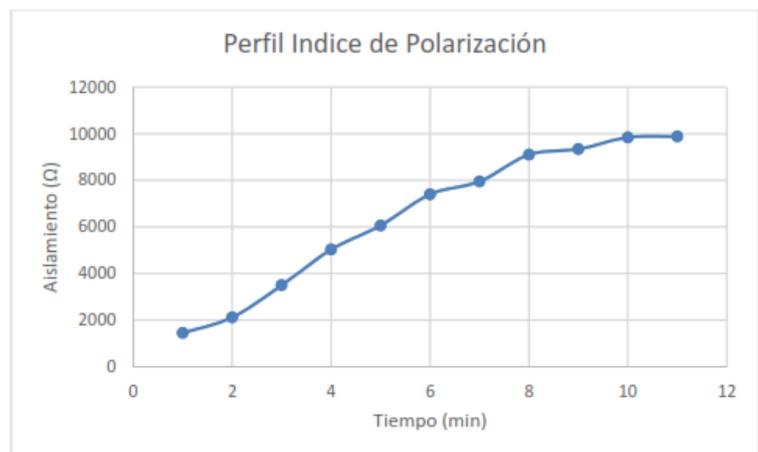
Rotor

Medición de Aislamiento Rotor Principal Inicial	
Tiempo	Aislamiento (MΩ)
30 s	240
1 min	364
2 min	529
3 min	673
4 min	741
5 min	844
6 min	1140
7 min	1450
8 min	1590
9 min	1770
10 min	1830
IP	5,03
Voltaje	500
Temperatura	32



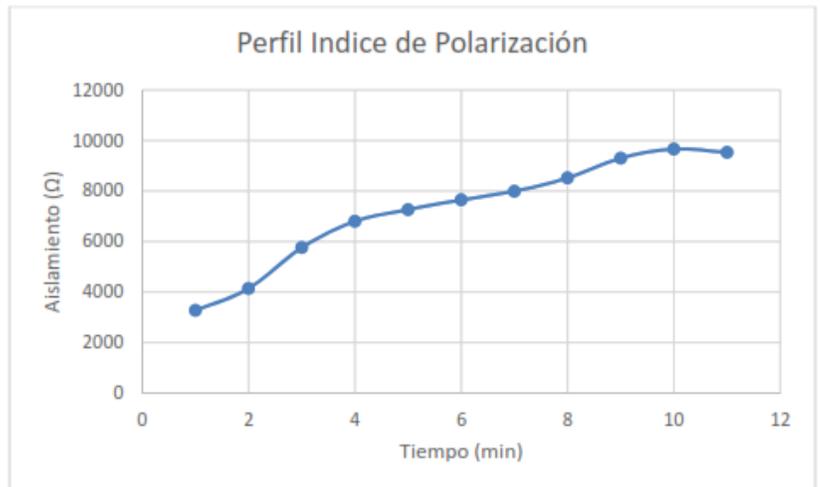
Armadura de Excitación

Medición de Aislamiento Armadura Excitación Inicial	
Tiempo	Aislamiento (MΩ)
30 s	1450
1 min	2120
2 min	3500
3 min	5030
4 min	6060
5 min	7400
6 min	7950
7 min	9100
8 min	9340
9 min	9840
10 min	9880
IP	4,66
Voltaje	500 VDC
Temperatura	32



Campo de Excitación.

Medición de Aislamiento	
Armatura Excitación Inicial	
Tiempo	Aislamiento (MΩ)
30 s	3270
1 min	4140
2 min	5760
3 min	6800
4 min	7260
5 min	7650
6 min	7990
7 min	8520
8 min	9300
9 min	9660
10 min	9530
IP	2,30
Voltaje	500 VDC
Temperatura	32



Medición de R.T.D.

Temperatura	Medición de RTD's del Bobinado (Ω)	Descripción
39°C	115,10	Bobinado Fase U
	114,80	Bobinado Fase V
	115,30	Bobinado Fase W
	115,20	Bobinado Fase U
	115,30	Bobinado Fase V
	115,20	Bobinado Fase W
39°C	115,60	Cojinete NDE
	116,20	Cojinete DE
Fecha: 19/05/2015		Realiza: Ronald S.

Medición de Diodos.

Medición de Diodos	Descripción	Estado
0,369	Rectificador Positivo	OK
0,380	Rectificador Negativo	OK
0,396	Rectificador Positivo	OK
0,390	Rectificador Negativo	OK
0,413	Rectificador Positivo	OK
0,380	Rectificador Negativo	OK
Temp: 38°C	Realiza: Ronald S.	20/05/2015

Proceso de desarme del generador

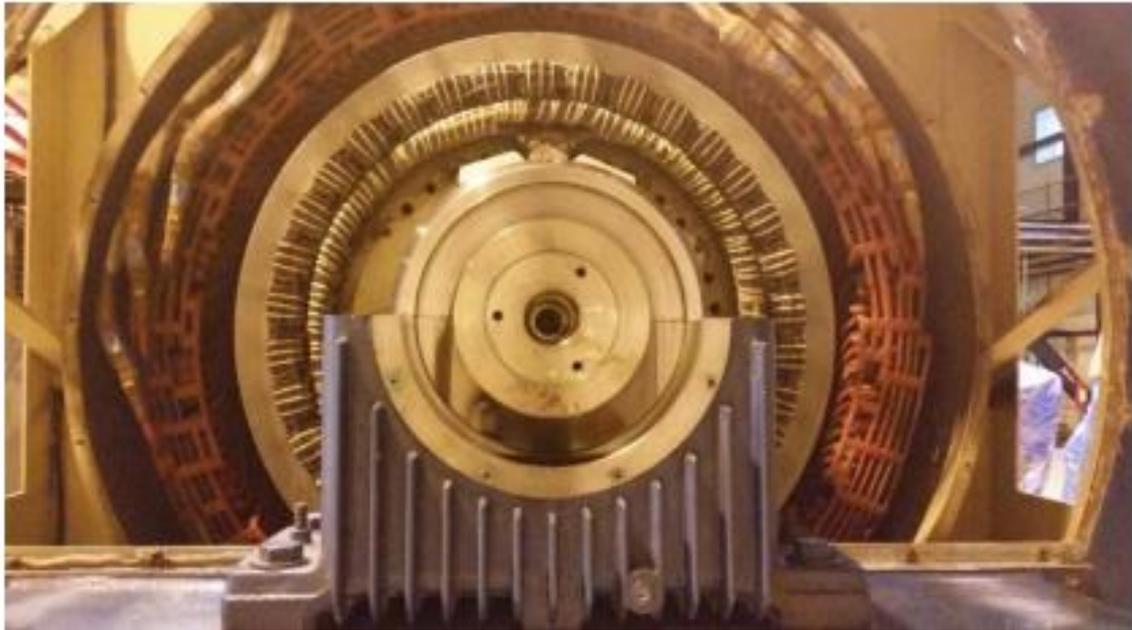
Como parte del mantenimiento realizado (L4) en planta, se procedió al desmontaje por completo del generador, eso conlleva el desacoplamiento de las partes mecánicas de nuestra unidad generadora (motor de combustión y generador) a través de una volante de inercia, la cual es capaz de transmitir nuestra fuerza mecánica para poder generar potencia eléctrica.

Posteriormente se inició el desmontaje por completo de la carcasa de nuestro generador, con ello se realizaron limpieza de los devanados del estator y del inducido y al mismo tiempo los check list como parte del estado mecánico de los cojinetes del mismo, así como también el estado físicos de las salidas de las borneras de alta tensión, los T.P y los T.C que a continuación en las siguiente ilustraciones se detallan:



Desmontaje de tapas y cobertores

MANTENIMIENTO INTEGRAL (L4) A GENERADORES SINCRONOS ABB EN PLANTA TIPITAPA POWER.



Desmontaje de casquillos y pedestales.



Proceso de desarme del generador



MANTENIMIENTO INTEGRAL (L4) A GENERADORES SINCRONOS ABB EN PLANTA TIPITAPA POWER.



Proceso de desarme del generador



Desarme completo del generador



Inspección.

En este proceso, es necesario realizar la inspección visual exhaustiva y de manera detallada de nuestro generador en todos los aspectos posibles, para determinar el estado mecánico de nuestro devanado, con ello ver afectaciones por descargas parciales a lo interno de los embobinados.



Inspección de los Devanados



Inspección de los Devanados



Inspección del Rotor



Contaminación del Estator



Afectación en ranuras por descargas parciales.



Afectación en Fingerplate por descargas parciales.



Afectación en Fingerplate por descargas parciales.



Afectación en Fingerplate por descargas parciales.



Afectación en Fingerplate por descargas parciales.



Recuperación de parte dañada con la aplicación de material aislante especial en devanados y el Fingerplate



Aplicación de cinta para protección mecánica de los devanados

Se identificaron anomalías por descarga parciales en diferentes ranuras, así como grave afectación en salida de ranura bajo el silicón, en 18 bobinas producto de la actividad de descarga parcial contra el Fingerplate y afectación media en 8 bobinas adicionales, para un total de 26 bobinas dañadas, esta afectación compromete la integridad de la máquina por lo cual se procedió a la correcta reparación de los mismos, tal y como se mostró anteriormente.

Dadas las anomalías encontradas en nuestro generador debemos recordar lo siguiente:

Tipos de descargas parciales

Una descarga parcial (DP) es un fenómeno de rotura eléctrica que está localizado en un medio aislante, entre dos conductores que se encuentran a diferente potencial. Las descargas parciales ocurren debido a la existencia de un campo eléctrico elevado no uniforme y tienen como efecto el deterioro a lo largo del tiempo del sistema de aislamiento, es decir reduce su vida útil (ruptura de la rigidez dieléctrica).

La descarga parcial se produce por el estrés dieléctrico causado por la presencia de un voltaje alto y no homogéneo en los materiales de aislamiento. Las principales causas por las que aparece la DP son:

- Distribución no homogénea del campo eléctrico.
- Presencia de burbujas en aislamiento sólidos y líquidos.



Efectos puntuales que localizan el estrés dieléctrico en el aislamiento.
Presencia de humedad, grietas o arborescencias de agua.
Presencia de contaminantes en la superficie de aislamiento.
Tensión que excede la rigidez dieléctrica de los materiales aislantes.

La gran ventaja que nos ofrece la prueba de DP es que permite analizar y diagnosticar el equipo durante la operación normal del mismo, ya que una caída de la intensidad de las DP se produce justo antes del fallo. Una vez detectado el problema se programaría la parada para realizar la acción correctiva.

Las descargas parciales se engloban en 4 grupos principales:

Interna

Las descargas internas son normalmente debidas a cavidades dentro del aislamiento eléctrico. Las cavidades son puntos débiles dentro del aislante y son producidas normalmente por una mala fabricación o debidas al envejecimiento del material. El campo eléctrico existente dentro de una cavidad es igual o superior al campo eléctrico que rodea al aislamiento. Esto es porque el gas tiene una rigidez dieléctrica inferior que el aislamiento que lo rodea y como resultado, las cavidades son puntos débiles dentro del aislamiento, donde se inicia la actividad de la DP.

Debemos tener en cuenta que la humedad y el contaminante ambiental pueden formar capas sobre el aislante. Esta capa no deseada es una ruta a la corriente de fuga sobre la superficie del aislador. Esta corriente producirá calor en la superficie y generará evaporación que causará interrupción física en la capa contaminante. Se generan grandes diferencias de potencial sobre las lagunas en la capa de contaminantes y pequeñas chispas pueden cerrar esas brechas. El calor de las chispas provoca la carbonización del aislamiento y conduce a la formación de pistas de carbono permanentes en la superficie. Bajo tales condiciones, este proceso se desarrollará con el tiempo y eventualmente llevará a una descarga disruptiva y una falla completa del aislamiento.

Superficial

Debemos tener en cuenta que la humedad y el contaminante ambiental pueden formar capas sobre el aislante. Esta capa no deseada es una ruta a la corriente de fuga sobre la superficie del aislador. Esta corriente producirá calor en la superficie y generará evaporación que causará interrupción física en la capa contaminante. Se generan grandes diferencias de potencial sobre las lagunas en la capa de contaminantes y pequeñas chispas pueden cerrar esas brechas. El calor de las chispas provoca la carbonización del aislamiento y conduce a la formación de pistas de carbono permanentes en la superficie. Bajo tales condiciones, este proceso se desarrollará con el tiempo y eventualmente llevará a una descarga disruptiva y una falla completa del aislamiento.



Corona

La corona es un tipo de descarga que ocurre alrededor de puntos de conducción agudos a alta tensión cuando el gradiente de tensión, excede un valor crítico. El efecto corona se produce por la ionización del medio que rodea un conductor, también puede ocurrir en un punto marcado al potencial de tierra, además puede ser visible en forma de luz, típicamente un brillo púrpura, ya que la corona generalmente consta de micro arcos. El efecto Corona es un proceso de baja energía, pero, durante un período de tiempo prolongado, puede degradar sustancialmente el aislamiento, causando fallas debido a la ruptura dieléctrica. Es decir que la presencia de efecto corona puede reducir la confiabilidad de un sistema de aislamiento. Además, debemos destacar que los efectos de corona son acumulativos y permanentes, y la falla puede ocurrir sin previo aviso.

El efecto corona puede generar:

1. Luz
2. Radiación ultravioleta
3. Sonido (silbido, crujido causado por la expansión de gases visibles)
4. Ozono
5. Nítrico y otros ácidos
6. Sales (a veces vistas como depósitos de polvo blanco)
7. Erosión mecánica de superficies por bombardeo iónico
8. Calentamiento (generalmente ligero y especialmente en material aislante)
9. Depósitos de carbono, creando un potencial camino de arco

En el caso de la aparamenta eléctrica, si el equipo incluido no está bien ventilado, la ionización puede reducir la resistencia dieléctrica del aire y la distancia de aislamiento más corta eventualmente causará un arco eléctrico de alta energía de fase a fase o de fase a tierra. La acumulación de ácido nítrico dentro de un espacio cerrado como el tablero de distribución con aislamiento de aire creará marcas de carbono en los materiales aislantes. El bombardeo de iones también destruye algunos materiales sólidos de aislamiento, convirtiéndolos eventualmente en polvo.

Arborescencia eléctrica

La arborescencia eléctrica se origina a partir de un punto defectuoso como un pequeño vacío de gas, un borde de electrodo agudo o una partícula metálica; en donde el campo eléctrico es alto. Esta descarga parcial puede generar ozono y luz ultravioleta y con el tiempo reaccionar con el material dieléctrico circundante y causar la descomposición generando así un nuevo vacío. Este punto débil puede crecer y crecer con el tiempo formando un árbol dentro del aislamiento. Este árbol puede crecer hasta el punto que causa una rotura completa.



Mediciones mecánicas

En este tipo de trabajo se realizaron las inspecciones y mediciones mecánicas en los muñones y bearings, así como en los sellos y asientos de los mismos (eje), y para ello todas las mediciones fueron realizadas con micrómetros debidamente calibrados. Para las tareas mecánicas en el proceso de mecanizado, se precisan instrumentos a fin de realizar mediciones y comparaciones de magnitudes. Existe una gran variedad de instrumentos, ya que toda tarea mecánica lleva consigo la necesidad de tomar medidas de las piezas y trabajos que se están realizando, con precisión y exactitud, para obtener correctos resultados de las medidas y cálculos.

Esta operación que a primera vista puede resultar muy simple es, en la práctica, más delicada cuanto más precisa deba ser la medida que se quiere realizar. La precisión de una medida dependerá del error que se comete al realizarla. Para todo lo relativo al cálculo de errores se recomienda utilización de instrumentos de medición, y son un elemento imprescindible para el desarrollo productivo en los procesos de mecanizado de piezas metálicas.



Medición de los Bearings del generador

MANTENIMIENTO INTEGRAL (L4) A GENERADORES SINCRONOS ABB EN PLANTA TIPITAPA POWER.



Medición de los Muñones del generador

A continuación, se muestran los ajustes mecánicos entre casquillo y muñón, tanto para DE como para NDE

TIPITAPA G1 BEARING FIT						
DE	SHAFT			HOUSING		
	1	2	3	1	2	3
A	299,70	299,70	299,70	300,042		300,059
B	299,70	299,70	299,70	300,010		300,042
C1	299,71	299,71	299,71	300,011		300,017
C2	299,71	299,71	299,71	300,011		300,017
D	299,71	299,71	299,71	300,013		300,013
AVERAGE	299,706			300,024		
CLEARANCE	0,317					
NDE	SHAFT			HOUSING		
	1	2	3	1	2	3
A	299,73	299,73	299,73	300,010		300,029
B	299,73	299,73	299,73	299,999		299,989
C1	299,72	299,72	299,72	299,987		299,995
C2	299,72	299,72	299,72	299,990		299,989
D	299,72	299,72	299,72	300,000		299,986
AVERAGE	299,724			299,997		
CLEARANCE	0,273					



MANTENIMIENTO INTEGRAL (L4) A GENERADORES SINCRONOS ABB EN PLANTA TIPITAPA POWER.

A continuación, se muestran los ajustes mecánicos entre sellos y asientos del eje, tanto para DE como para NDE.

TIPITAPA G1 OIL SEAL FIT						
DE INTERNO	SHAFT			SEAL		
	1	2	3	1	2	3
A	314,85			315,354		
B	314,85			315,356		
C1	314,86			315,109		
C2	314,86			315,111		
D	314,86			315,250		
AVERAGE	314,856			315,236		
CLEARANCE	0,380					
DE EXTERNO	SHAFT			SEAL		
	1	2	3	1	2	3
A	314,84			315,172		
B	314,84			315,269		
C1	314,84			315,480		
C2	314,84			315,352		
D	314,84			315,336		
AVERAGE	314,840			315,322		
CLEARANCE	0,482					
NDE	SHAFT			SEAL		
	1	2	3	1	2	3
A	314,87			315,622		
B	314,87			315,373		
C1	314,86			315,400		
C2	314,86			315,039		
D	314,87			315,319		
AVERAGE	314,866			315,351		
CLEARANCE	0,485					



Proceso de Limpieza.

Limpieza del Estator

Este proceso consistió en la eliminación de la totalidad de la contaminación existente en el bobinado. Iniciando con la extracción del silicón existente en los cabezales, bajo el cual se detectó una cantidad muy importante de contaminación, así como afectación por descarga parcial; posteriormente se realizó la limpieza completa de los ductos de ventilación, cabezales, núcleo, carcasa, etc.



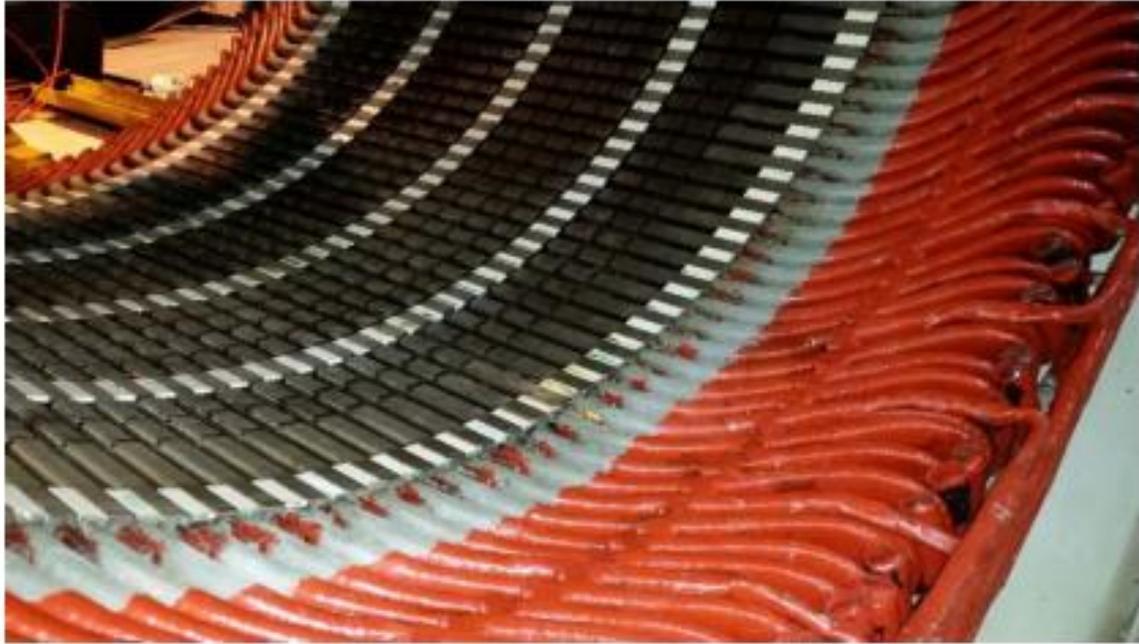
Proceso de eliminación del silicón existente en en cabezales del estator



Proceso de eliminación de contaminación del estator



Proceso de limpieza y lavado a presión del estator con solvente dieléctrico



Limpieza finalizada del estador

Rotor



Proceso de Limpieza a presión del rotor del generador



Proceso de Limpieza del Rotor

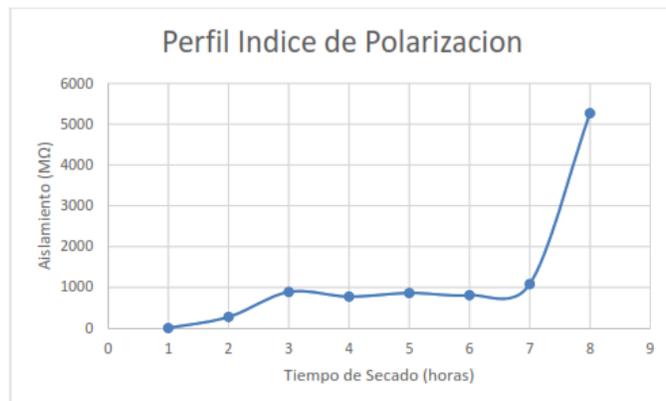


Limpieza del Rotor Finalizada



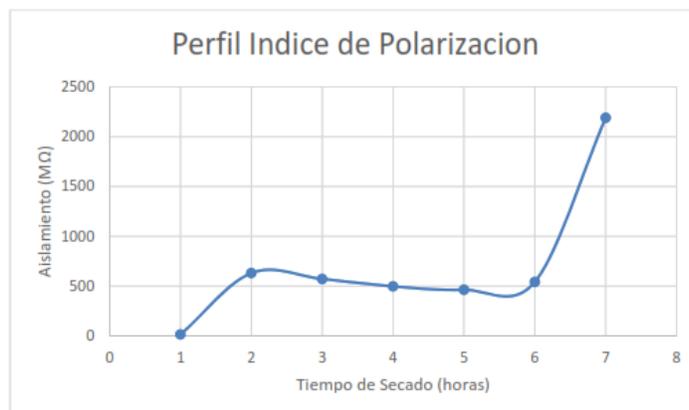
Secado del Estator

Medición de Aislamiento a 1 min Estator Principal	
Tiempo de secado	Aislamiento (MΩ)
0	0,73
16 h	274
21 h	886
39 h	772
45 h	861
63 h	808
65 h	1080
69 h	5270
Voltaje	5000 VDC



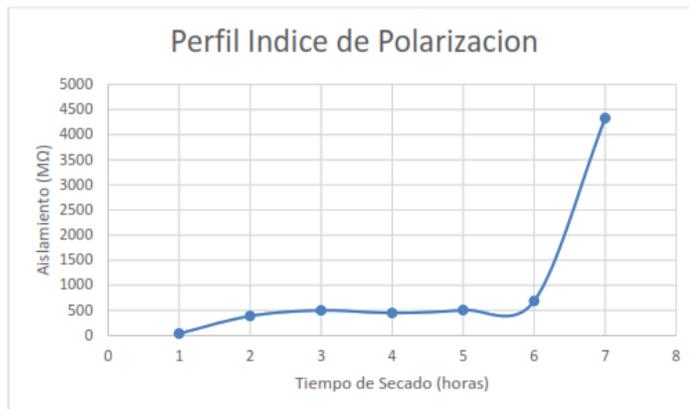
Secado del Rotor

Medición de Aislamiento a 1 min Rotor Principal	
Tiempo de secado	Aislamiento (MΩ)
0	14,9
16 h	631
21 h	572
39 h	497
45 h	463
63 h	542
69 h	2190
Voltaje	500 VDC



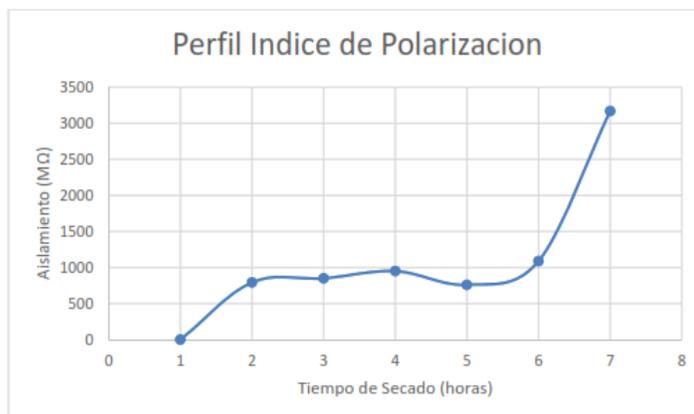
Secado armadura de Excitación.

Armadura Excitación	
Tiempo de secado	Aislamiento (MΩ)
0	37,8
16 h	387
21 h	500
39 h	448
45 h	507
63 h	687
69 h	4330
Voltaje	500 VDC



Secado de Campo de Excitación.

Medición de Aislamiento a 1 min Campo de Excitación	
Tiempo de secado	Aislamiento (MΩ)
0	0,15
12 h	793
18 h	850
23 h	950
36 h	760
41 h	1090
60 h	3170
Voltaje	500 VDC



A continuación, se muestra el detalle relacionado a la aplicación de las pinturas semiconductoras en ductos de ventilación, ranuras y salina de ranura, así como la pintura gradiente en cabezal. Se realizaron también las correcciones de los puntos con afectación de descarga parciales encontrados. Con esta regeneración en la protección del sistema anti-corona, se busca alargar la vida útil de la máquina, y desacelerar la afectación por descargas parciales.



Aplicación de pintura semiconductora en el estator del generador

Los recubrimientos de pintura semiconductor en bobinas de generadores de media tensión sirven para la atenuación de esfuerzos eléctricos. Estos recubrimientos juegan un papel importante en el sistema de aislamiento ya que previenen la aparición de descargas parciales que pudieran presentarse en las bobinas, específicamente en donde se encuentran intersticios de aire entre ésta y el núcleo del estator y a la salida de las bobinas de la ranura.

Cuando las máquinas rotatorias de media tensión son operadas, por los niveles de tensión que se manejan, se genera un campo eléctrico considerablemente alto entre los conductores energizados y los componentes que están a tierra, así como entre conductores a diferentes potenciales. El campo eléctrico es no uniforme en la mayoría de las partes energizadas de la máquina, por lo que, si este campo es lo suficientemente alto, (superior - 3000 V / mm) puede llegar a producir la ionización del aire, es decir una descarga parcial en cavidades o en la superficie de las

bobinas. Con el tiempo estas descargas carbonizan a los materiales aislantes produciendo cortos circuitos dentro de la máquina.

Cuando se aplica tensión entre el conductor y la cinta conductora, la discontinuidad en el final de la cinta puede resultar en un alto esfuerzo eléctrico a lo largo de la superficie del aislamiento. Es en esta zona donde se coloca la cinta semiconductora que sirve para controlar el campo eléctrico al final de la cinta conductora. La cinta conductora ayuda a que no existan separaciones entre la bobina y la ranura del estator a diferentes potenciales, eliminando las posibles bolsas de aire que puedan producir descargas. La pintura o cinta conductora se utiliza solo en la sección de la bobina dentro de la ranura para que su superficie se encuentre al mismo potencial que el núcleo del estator. Este material es típicamente un aglutinante en la forma de una cinta o pintura con grafito.

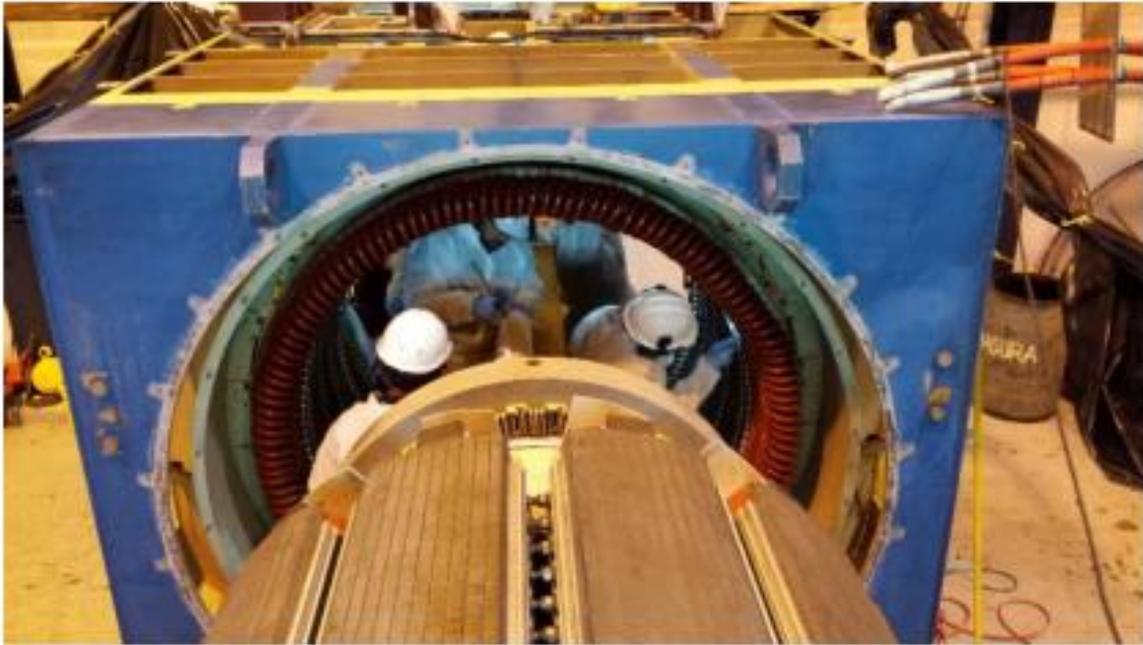


Aplicación de pintura semiconductora en el estator del generador

El recubrimiento semiconductivo se diseña dependiendo del nivel de tensión que le será aplicado, encontrándolo en forma de una cinta o pintura, según convenga mejor su aplicación. Sin este material, los campos eléctricos en el final del brazo de la bobina degradarían los aislantes, ocasionando averías al motor, es por eso que se necesita un recubrimiento semiconductivo adecuado al nivel de tensión. La función del recubrimiento semiconductivo es reducir al máximo el gradiente de campo eléctrico en la zona antes mencionada de la bobina.

En resumen, en las máquinas de media tensión se utilizan dos tipos de recubrimientos para poder reducir o atenuar la intensidad de campo eléctrico.

1. Recubrimiento conductor
2. Recubrimiento Semiconductivo



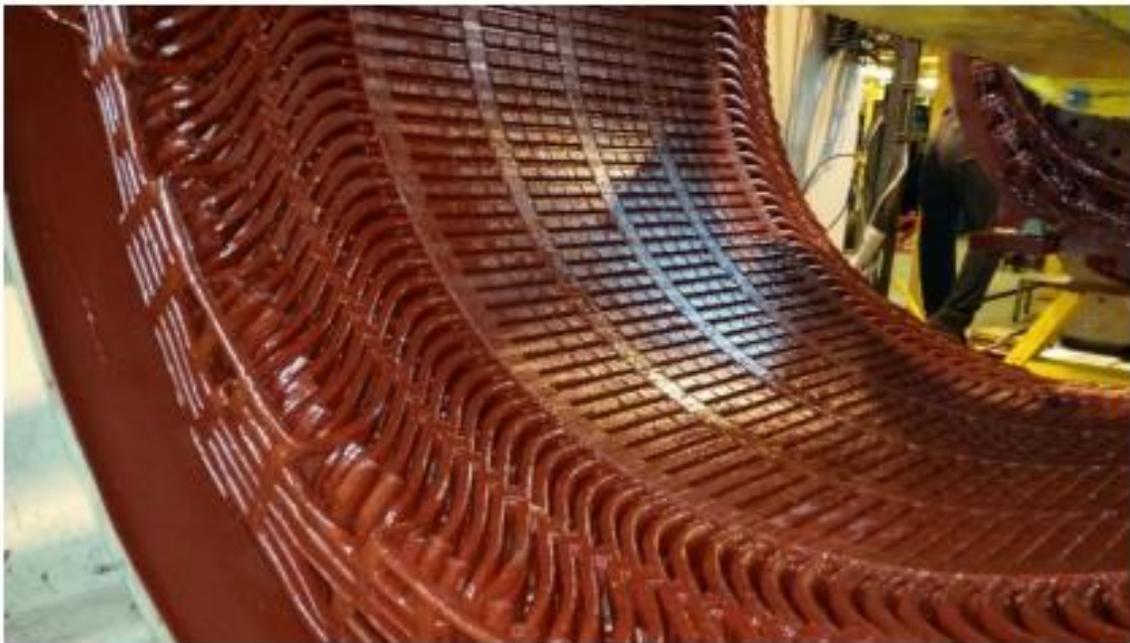
Aplicación de pintura semiconductora en el estator del generador



Aplicación de pintura semiconductora en el estator del generador



Proceso de barnizado del estator del generador



Proceso de barnizado del estator del generador

Los barnices dieléctricos son soluciones líquidas de polímeros preparados a partir de materias primas naturales o sintéticas que se aplican sobre elementos conductores para generar películas protectoras de la acción mecánica externa y proporcionar aislamiento eléctrico.

Dependiendo del origen de las materias primas empleadas en su preparación los barnices pueden ser naturales y/o sintéticos. En estricto rigor los barnices se preparan comúnmente mezclando materiales de origen natural o derivados sintéticos del petróleo y la elección de dichos materiales responde a la búsqueda de las mejores propiedades dieléctricas, mecánicas y térmicas a los más bajos costos.

Dependiendo de la forma de curado los barnices pueden ser de secado al aire, curado mediante un agente de reticulado, curado mediante horno a una temperatura superior a la ambiental o una combinación de ellos.

Los barnices de secado al aire normalmente se fabrican a partir de materias primas naturales que presentan buenas capacidades de formar películas (reticulado) junto con razonables propiedades de resistencia mecánica y capacidad dieléctrica. Entre las materias primas empleadas están los aceites de soja, maravilla, ricino, y la colofonia. Estos materiales se procesan junto a derivados sintéticos del petróleo tales como el anhídrido ftálico y polialcoholes tales como glicerina o Penta eritritol obteniéndose resinas alquídicas que se disuelven en hidrocarburos aromáticos para constituir barnices.

Cuando se aplican, el solvente se evapora para dejar sobre el elemento eléctrico una película protectora que inicialmente puede ser removida por la acción del mismo solvente, pero que luego de algunas horas de consolidación a temperatura ambiente (propiedad constitutiva de los aceites) se transforma en una película resistente al solvente, a la acción mecánica externa y aislante eléctrico. Este tipo de barnices son los de uso general en el mercado por su bajo costo y facilidad de aplicación.

Los barnices de secado al horno se fabrican normalmente a partir de materias primas derivadas del petróleo y están constituidos por una amplia gama de polímeros como, por ejemplo: resinas fenólicas (poli condensados de paraterbutil fenol y otros con formaldehído), resinas de melamínicas (policondensados de melamina con formaldehído), resinas epóxicas (policondensados de bifenol A y epiclorhidrina), etc. Estos barnices se presentan disueltos en mezclas de hidrocarburos aromáticos, alcohólicos y cetónicos. En ocasiones para reticular requieren de un agente de curado tales como aminas.

Dada la importancia tecnológica de los barnices con propiedades dieléctricas, a los anteriores se agregan todas las modificaciones tendientes a realzar sus propiedades mecánicas, químicas y térmicas como también, a facilitar su aplicación y disminuir sus costos de producción.



En aplicaciones se ha observado que las propiedades más deseables en películas a partir de barnices aislantes son:

Poder aglomerante, para mantener cohesionados los bobinados y atenuar el impacto del movimiento entre espiras originados por los cambios de polaridad o los esfuerzos mecánicos y térmicos a que se ven sometidas las diferentes piezas del motor.

Flexibilidad del material aglomerante, para evitar tensiones mecánicas que originen fisuras en la capa formada.

Capacidad dieléctrica del aglomerante, para fortalecer la capacidad del esmalte original del conductor y de otros materiales aislantes que componen el bobinado.

Capacidad para mantener las propiedades anteriores, a temperaturas tan altas como sea posible y en el transcurso del tiempo.

La práctica en mantenimiento de bobinado y motores eléctricos se ha normalizado para que los usuarios puedan elegir en mejor forma el tipo de barniz según su aplicación.

Para sistematizar lo anterior se han establecido varias categorías o clases de barnices que definen la temperatura mínima a la que deben mantenerse las propiedades antes citadas en las películas formadas durante una operación continua de 20.000 horas. Entre dichas clases se encuentran las siguientes:

Clasificación Térmica

Clase	Límite superior de temperatura
B	130°C
F	155°C
H	180°C
C	220°C

Los barnices, desde un punto de la manipulación, presentan las siguientes propiedades:

Color: para asegurar una aplicación uniforme y sistemática.

Densidad: para manejo en volúmenes y control rápido de calidad.

Viscosidad: para manejo del barniz como fluido en su aplicación.

Materia fija: para control de calidad y de material formador de película.

Punto de inflamación: para manejo desde el punto de vista de la seguridad.

Estabilidad de almacenaje: para futuras aplicaciones y vida útil del producto.

Desde el punto de vista de sus características dieléctricas, mecánicas y térmicas las películas formadas a partir de barnices se suelen comparar en parámetros tales como:

Constante dieléctrica

Factor de pérdida de capacidad dieléctrica

Poder aglomerante a temperaturas de servicio

Temperatura de transición vítrea

Índice térmico

Clasificación térmica

El recubrimiento de barniz, también llamado aislamiento secundario, es una parte importante del sistema de aislamiento de la maquina eléctrica. Barnices de diferentes tipos son usados en el sistema de aislamiento de máquinas eléctricas para propósitos de impregnación y aplicaciones de terminación. Las ventajas de estos recubrimientos son:

- Aumento de la rigidez mecánica de los alambres del bobinado
- Mejora de las propiedades dieléctricas
- Mejora de la capacidad de conducción térmica
- Protección del bobinado contra la humedad y el entorno corrosivo químico

Los barnices se clasifican basados en:

- Aplicaciones del barniz
- Tipos de curado del barniz
- Material usado en la composición básica del barniz

Tipos de barniz de acuerdo a la aplicación:

- Barniz de impregnación
- Barniz de finalizado
- Barniz interlaminar (entre chapas magnéticas)
- Barniz de aglomeración
- Barnices de propósitos especiales

Tipos de barniz de acuerdo al método de curado:

- Técnicas de curado por aire
- Curado por horno



Tipos de barniz de acuerdo al material básico usado:

- Resina Alquídica Fenólica
- Resina Alquídica
- Poliuretano
- Resina Alquídica Isoftálica
- Poliéster Modificado
- Melamina Epoxyester
- Poliéstermida
- Epoxy
- Fenólica
- Melamina Fenolica

Barniz de Impregnación

La función principal del barniz de impregnación no es la de aislamiento eléctrico de los conductores que llevan corriente. Es rellenar los espacios vacíos entre los bobinados y dentro de ellos y proveer refuerzo mecánico del grupo de conductores sueltos, aun a altas temperaturas. El rellenado de espacios vacíos no solo provee rigidez mecánica, sino que también entorpece y previene la penetración de sustancias no deseadas del entorno. Esto le da al componente resistencia mejorada a los ataques químicos y la humedad, así extendiendo su vida útil. Se aplican sumergiendo el componente en barniz, o con menos frecuencia, por goteo. Este tipo de barnices necesitan ser curados (calentados en horno) a temperaturas que oscilan de los 100°C a los 160°C durante unas 2 a 12 horas.

Barniz de recubrimiento (finalizado)

Este barniz no se usa para rigidizar los bobinados sino para proteger el estator de ataques externos por las condiciones del medio ambiente. Se aplican puramente como recubrimientos superficiales y se caracterizan por sus propiedades excelentes de formar película. Se aplican normalmente con pincel o rociado en talleres de reparación o mantenimiento. Generalmente son de secado por aire. Toma casi un día entero para que se curen completamente.

Barniz interlaminar

Este barniz se aplica a las laminaciones usadas en máquinas eléctricas. Esto actúa como capa aislante entre laminaciones sucesivas. Se cocina a altas temperaturas entre 350°C y 450°C por unos 5 minutos.

Barniz de aglomeración (rigidizante)

Este tipo de barniz se usa como agente de consolidación entre dos elementos aislantes. Materiales aislantes débiles, mecánicamente, cuando se aglomeran, muestran rigidez. Se cura a temperaturas de entre 120°C y 450°C durante 3 a 60 minutos, dependiendo del tipo de barniz.



Propiedades del barniz de aislamiento después del curado

El barniz, después de la aplicación y después de ser sometido al curado requerido a la temperatura apropiada se establece en una película uniforme en los materiales. La película de barniz elástico tiene muy buenas propiedades mecánicas tales como, rigidez, flexibilidad, penetración, buena adhesión y capacidad de aglomeración. La película curada es resistente a la humedad, ácidos diluidos, alcalinos, químicos como el benceno y el tolueno, aceites y climas tropicales de 0°C a 55°C. Tiene también buen comportamiento dieléctrico y rigidez dieléctrica.

Aplicando barnices

Para tratar bobinas, bobinados y partes aislantes con barnices aislantes los métodos generalmente utilizados son: sumersión caliente y VPI. Los barnices de terminación son usualmente aplicados con pincel o rociador. Los barnices que se aplican a la Mica son generalmente puestos con pincel o, algunas veces, a con máquinas, pasando un rodillo que ha sido impregnado en barniz. Los barnices sintéticos son frecuentemente usados para impregnación por inmersión y requieren curado en horno para desarrollar sus propiedades en su totalidad.





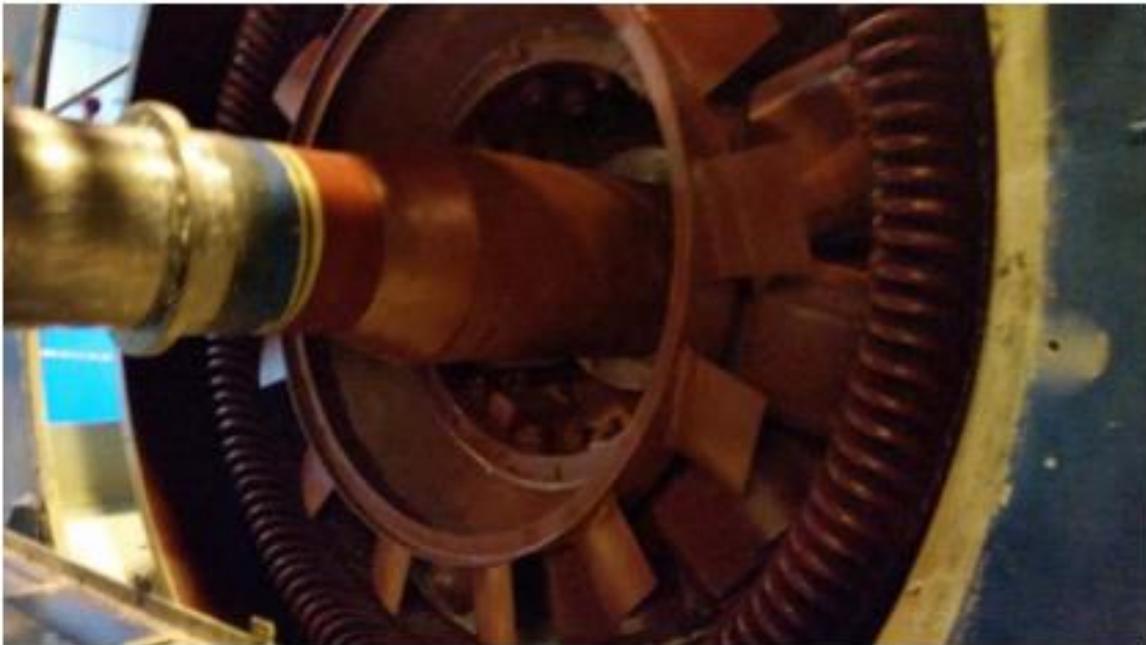
Proceso de barnizado del Rotor del generador



Proceso de barnizado del Rotor del generador



Movimiento del Estator a su posición original



Movimiento del Estator a su posición original

MANTENIMIENTO INTEGRAL (L4) A GENERADORES SINCRONOS ABB EN PLANTA TIPITAPA POWER.



**Montaje del
cuadro
Rectificador**



**Montaje de
tapas
principales**



**Montaje de
pedestales,
casquillos y
sellos**



MANTENIMIENTO INTEGRAL (L4) A GENERADORES SINCRONOS ABB EN PLANTA TIPITAPA POWER.



Montaje de tapas y cobertores



Armado por completo

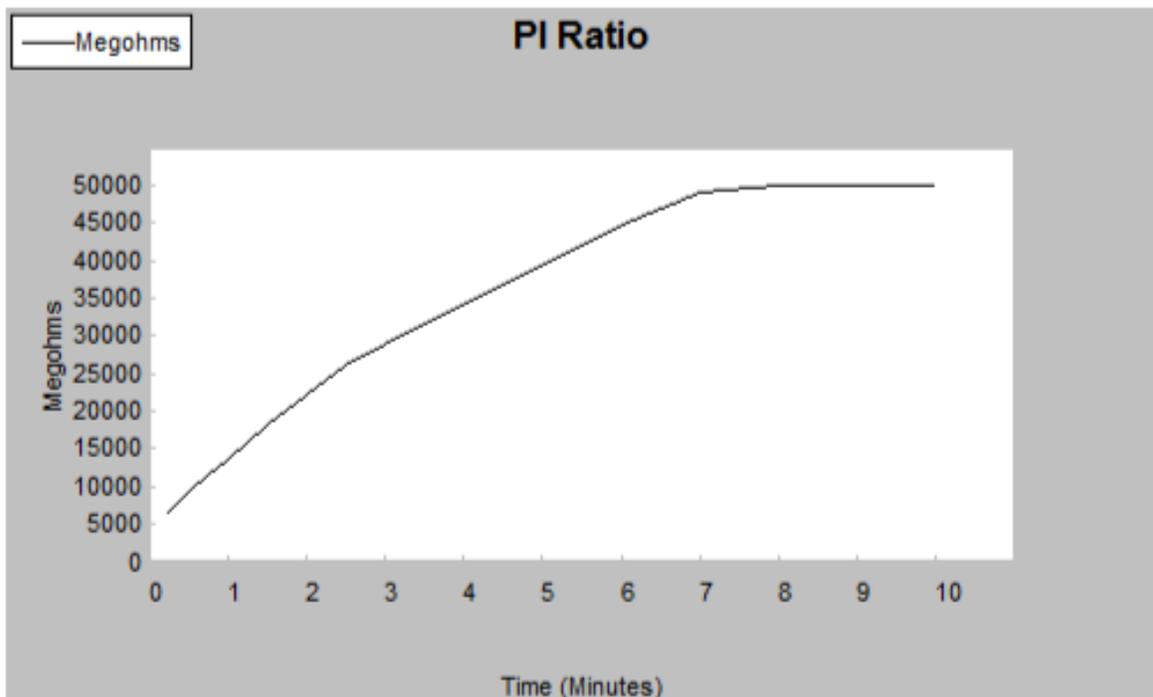


Pruebas Finales al Generador

Pruebas Finales Devanado Fase U

DA/PI		Motor ID EQ 8526 OT 9173 FASE U	
Test Date/Time	31/05/2015 08:36:52 a.m.	Voltage (V)	10010
DA Ratio	3,1	PI Ratio	4,6
PI Status	PASS		

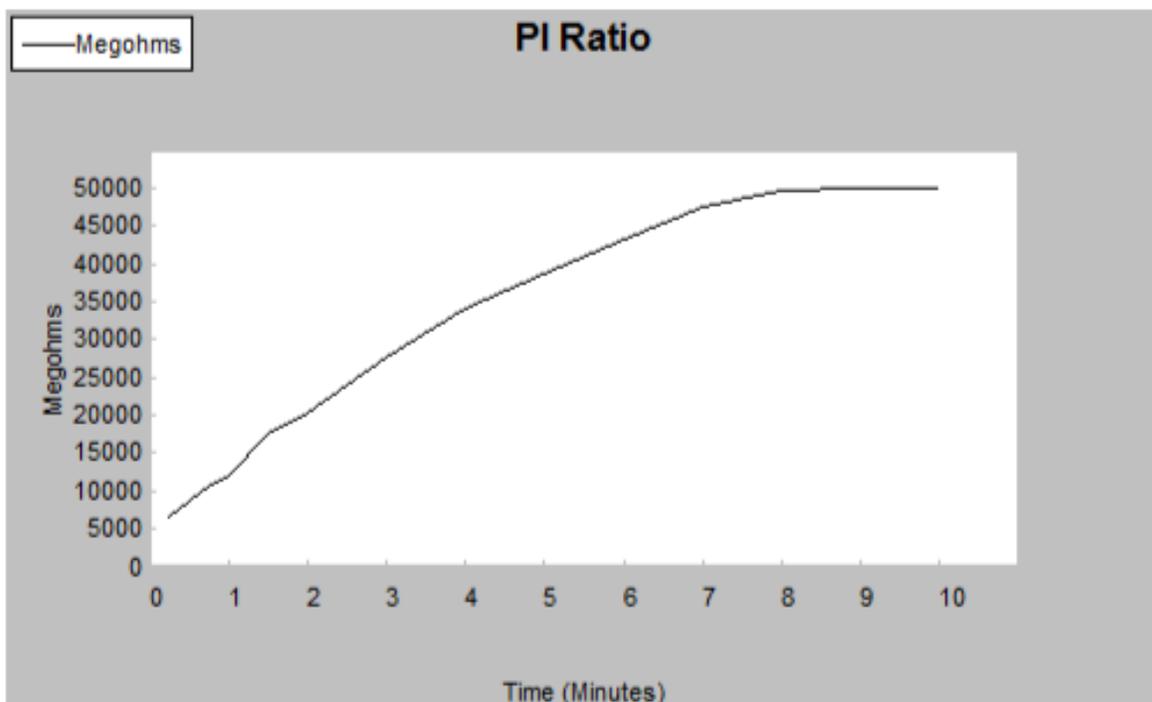
Time (Min)	Current(μ A)	Megohms
0:15	1,51	6621
0:30	1,08	9264
0:45	0,88	11380
1:00	0,74	13470
1:30	0,55	18246
2:00	0,45	22145
2:30	0,38	26177
3:00	0,35	29027
4:00	0,29	34078
5:00	0,26	39194
6:00	0,22	44758
7:00	0,20	49165
8:00	0,19	>50000
9:00	0,18	>50000
10:00	0,16	>50000



Pruebas Finales Devanado Fase V

DA/PI		Motor ID EQ 8526 OT 9173 FASE V	
Test Date/Time	31/05/2015 08:55:17 a.m.	Voltage (V)	10010
DA Ratio	3,2	PI Ratio	4,7
PI Status	PASS		

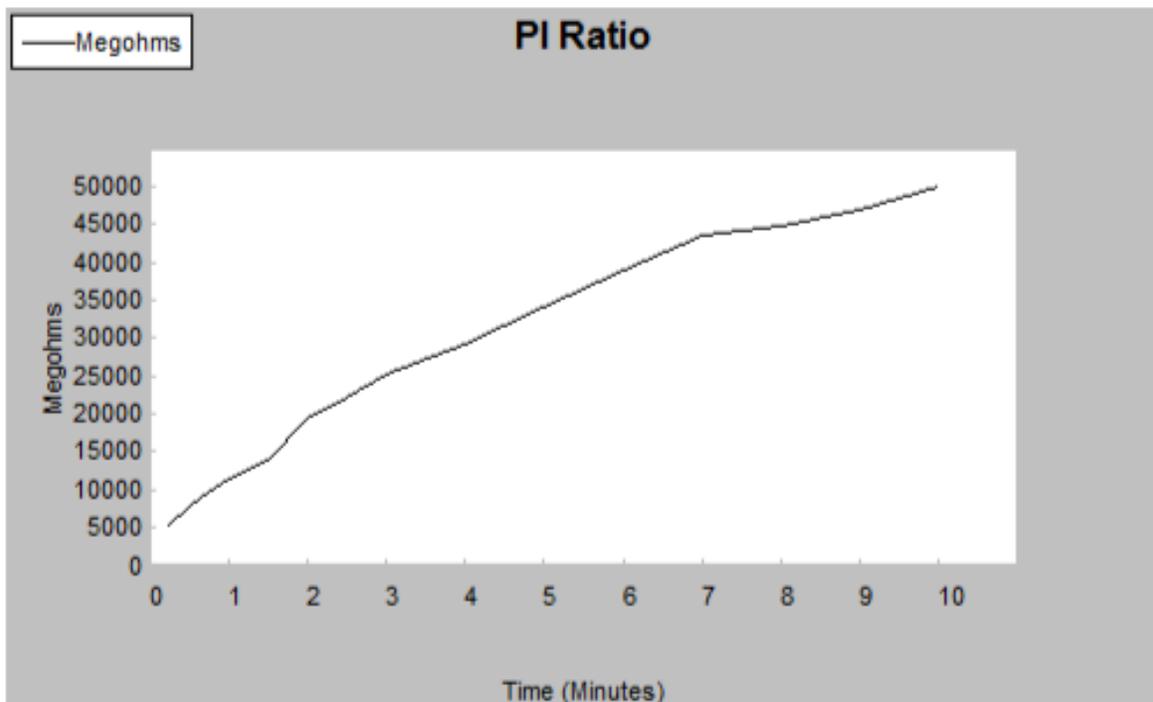
Time (Min)	Current(μA)	Megohms
0:15	1,56	6439
0:30	1,16	8607
0:45	0,94	10620
1:00	0,84	11921
1:30	0,57	17501
2:00	0,49	20402
2:30	0,42	24112
3:00	0,36	27711
4:00	0,29	34078
5:00	0,26	38710
6:00	0,23	43252
7:00	0,21	47578
8:00	0,20	49633
9:00	0,18	>50000
10:00	0,18	>50000



Pruebas Finales Devanado Fase W

DA/PI		Motor ID EQ 8526 OT 9173 FASE W	
Test Date/Time	31/05/2015 09:11:36 a.m.	Voltage (V)	10020
DA Ratio	3,2	PI Ratio	4,5
PI Status	PASS		

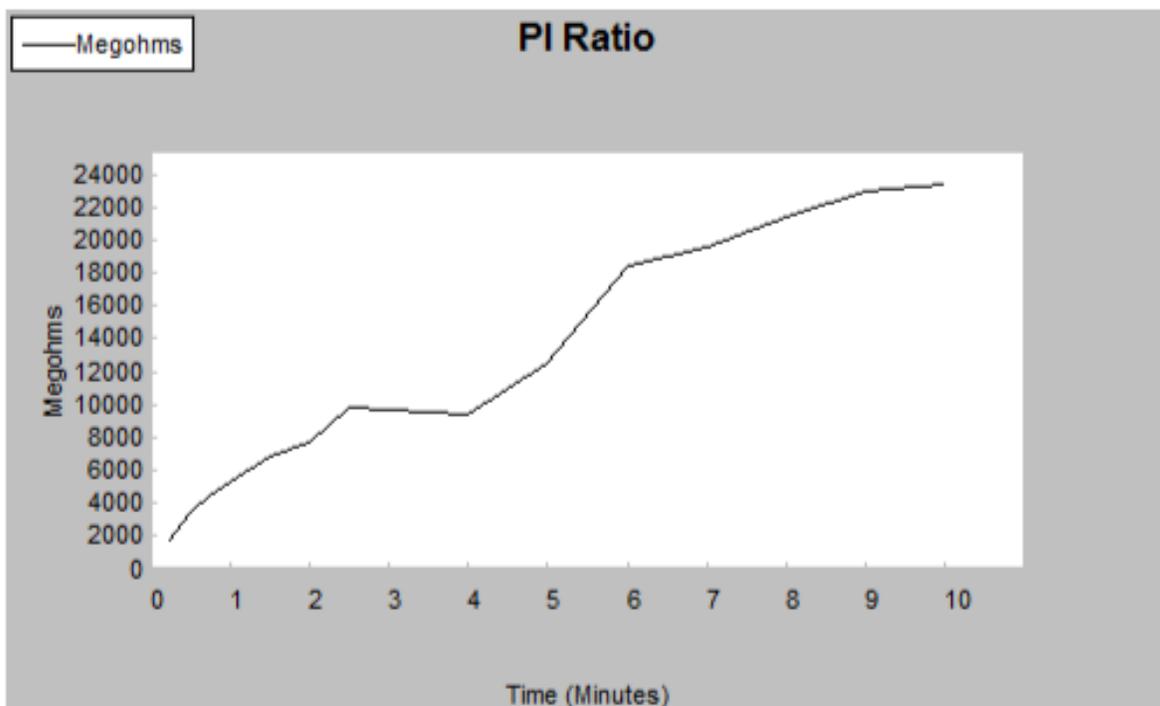
Time (Min)	Current(μA)	Megohms
0:15	1,85	5413
0:30	1,28	7852
0:45	1,04	9594
1:00	0,87	11574
1:30	0,72	13984
2:00	0,52	19352
2:30	0,45	22087
3:00	0,40	25092
4:00	0,34	29264
5:00	0,29	34218
6:00	0,26	39011
7:00	0,23	43553
8:00	0,22	44879
9:00	0,21	46894
10:00	0,19	>50000



Pruebas Finales Conexión Devanado del Estator

DA/PI		Motor ID EQ 8526 OT 9173 CONEXION	
Test Date/Time	31/05/2015 08:15:43 a.m.	Voltage (V)	10120
DA Ratio	2,8	PI Ratio	4,5
PI Status	PASS		

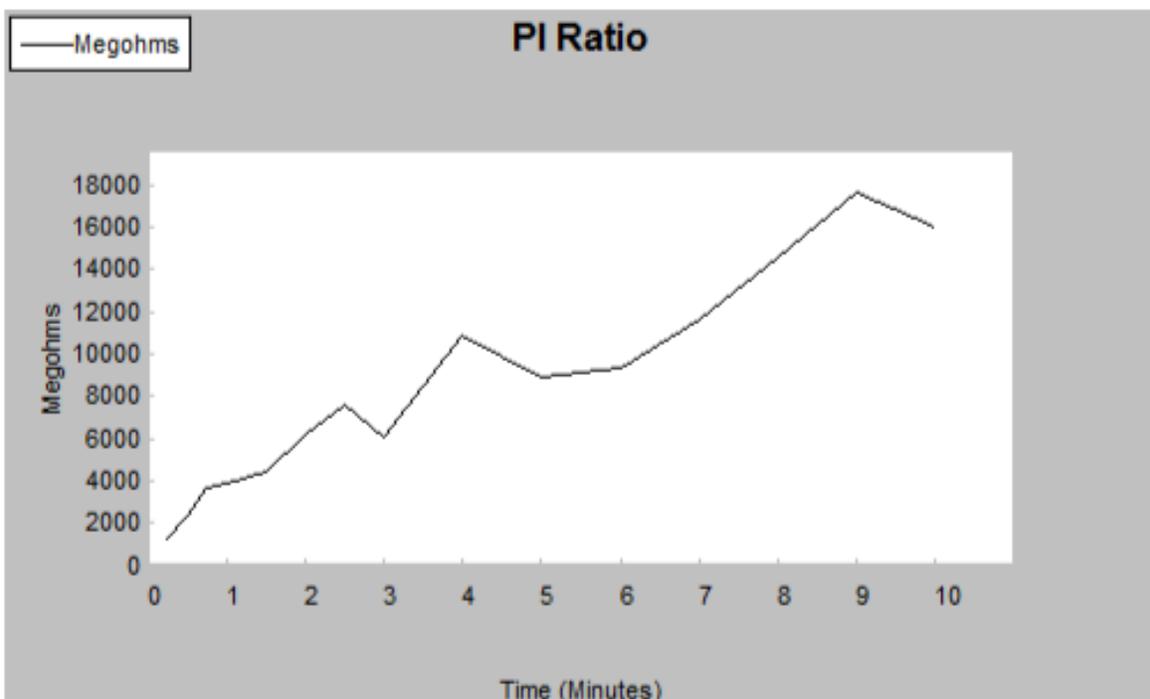
Time (Min)	Current(μA)	Megohms
0:15	5,90	1713
0:30	2,89	3502
0:45	2,25	4496
1:00	1,93	5234
1:30	1,48	6827
2:00	1,31	7718
2:30	1,03	9849
3:00	1,04	9718
4:00	1,08	9358
5:00	0,81	12527
6:00	0,55	18420
7:00	0,52	19521
8:00	0,47	21386
9:00	0,44	23000
10:00	0,43	23425



Pruebas Finales al Rotor

DA/PI		Motor ID EQ 8526 OT 9173 ROTOR	
Test Date/Time	31/05/2015 09:29:28 a.m.	Voltage (V)	500
DA Ratio	2,6	PI Ratio	4,0
PI Status	PASS		

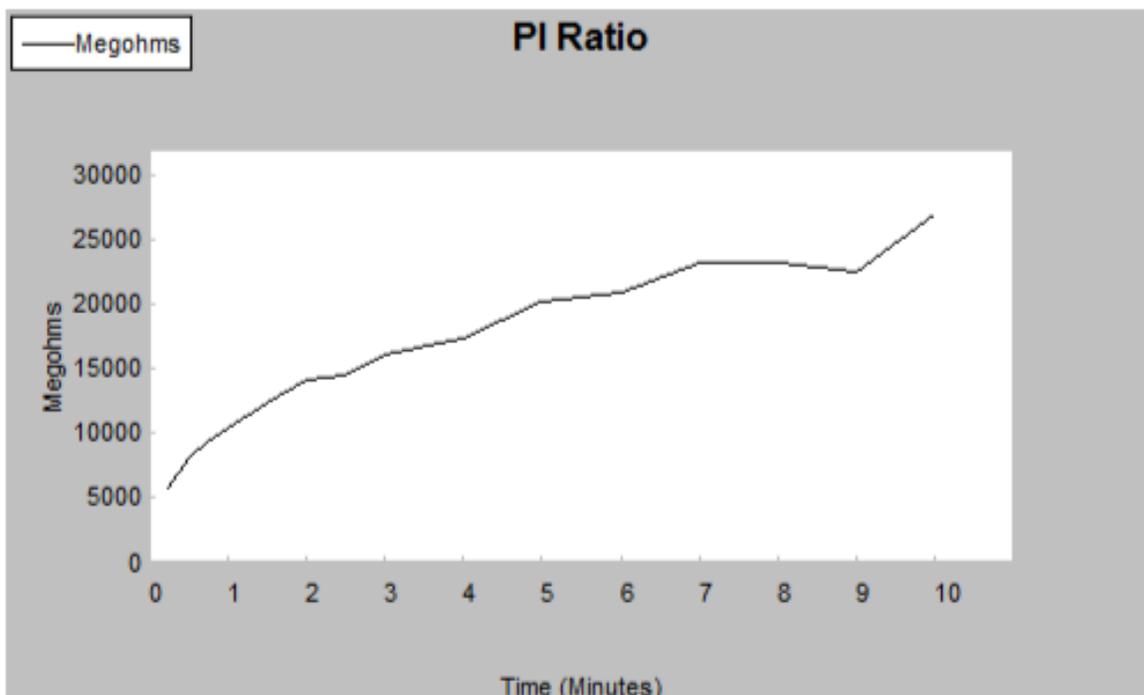
Time (Min)	Current(μA)	Megohms
0:15	0,39	1307
0:30	0,22	2366
0:45	0,14	3652
1:00	0,13	3896
1:30	0,11	4459
2:00	0,08	6222
2:30	0,07	7597
3:00	0,08	6060
4:00	0,05	10876
5:00	0,06	8867
6:00	0,05	9322
7:00	0,04	11621
8:00	0,04	14542
9:00	0,03	17673
10:00	0,03	16006



Pruebas Finales Armadura de Excitación

DA/PI		Motor ID EQ 8526 OT 9173 ARM EXIT	
Test Date/Time	31/05/2015 09:53:33 a.m.	Voltage (V)	510
DA Ratio	2,0	PI Ratio	2,6
PI Status	PASS		

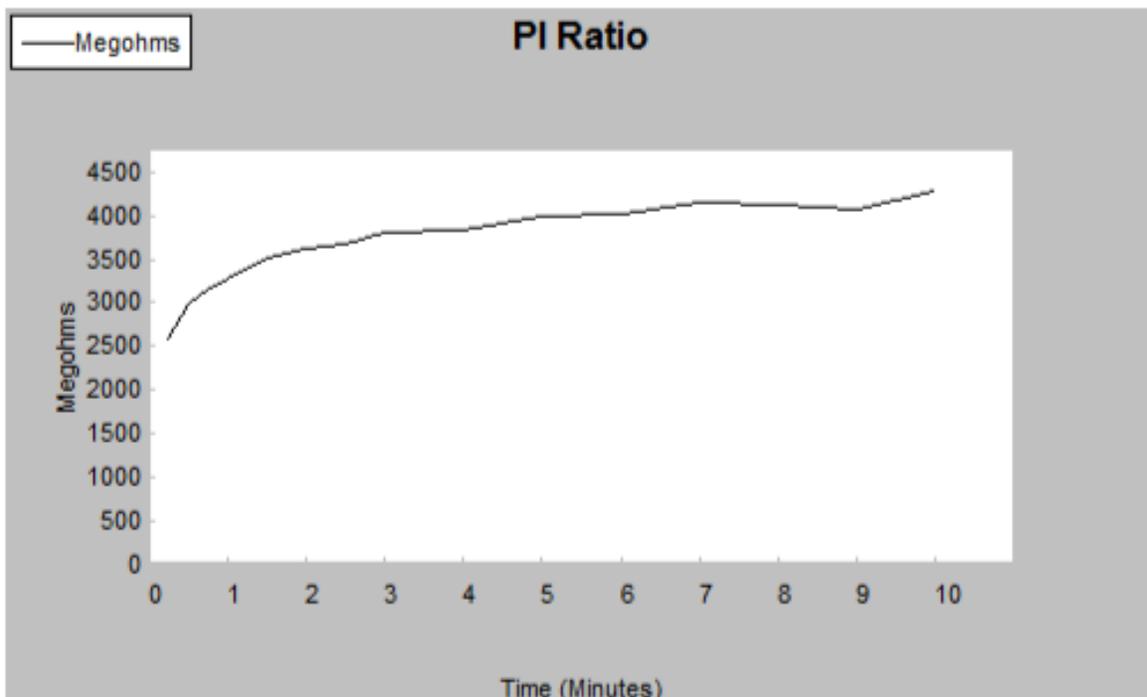
Time (Min)	Current(μA)	Megohms
0:15	0,09	5773
0:30	0,06	8148
0:45	0,05	9391
1:00	0,05	10425
1:30	0,04	12439
2:00	0,04	14148
2:30	0,04	14542
3:00	0,03	16194
4:00	0,03	17431
5:00	0,03	20275
6:00	0,02	20934
7:00	0,02	23198
8:00	0,02	23198
9:00	0,02	22587
10:00	0,02	27105



Pruebas Finales Campo de Excitación

DA/PI		Motor ID EQ 8526 OT 9173 CAM EXIT	
Test Date/Time	31/05/2015 10:11:20 a.m.	Voltage (V)	520
DA Ratio	1,3	PI Ratio	1,3
PI Status	PASS		

Time (Min)	Current(μA)	Megohms
0:15	0,20	2595
0:30	0,18	2980
0:45	0,17	3146
1:00	0,16	3281
1:30	0,15	3508
2:00	0,14	3618
2:30	0,14	3673
3:00	0,14	3819
4:00	0,13	3832
5:00	0,13	3992
6:00	0,13	4029
7:00	0,13	4161
8:00	0,13	4136
9:00	0,13	4080
10:00	0,12	4277



Conclusiones

Después de evaluar los resultados obtenidos en los ensayos realizados según lo establecido en las normas ANSI/IEEE Std 286-2000 y ANSI/NETA MTS 2015, se tienen las siguientes conclusiones:

Las actividades de mantenimiento desarrolladas en el generador mejoraron la condición del aislamiento sólido, obteniéndose una reducción de los valores del Factor de potencia.

Los valores de Tip Up de 2021 vs 2023 muestran un ligero incremento, sin embargo, aún permanecen dentro de los límites aceptables para determinar una condición normal de operación

Para garantizar una operación confiable del generador objeto de este estudio, se recomienda que se desarrollen las siguientes actividades:

- 1) Programar pruebas de factor de potencia en un periodo no mayor dos años de servicio.
- 2) Programar pruebas de descargas parciales en un periodo no mayor a un año de servicio.
- 3) Después de las actividades de mantenimiento que incluyan la limpieza de los devanados se deberá de realizar inyección de calor por medio de un sistema de calentamiento con temperatura controlada.

Los resultados de la prueba del factor de potencia del año 2021 al ser comparadas con las mediciones del mantenimiento 2023, se determina que su comportamiento es estable y se encuentran dentro de los límites aceptables por las normas internacionales. Basado en esto se puede establecer una condición de operación normal

Adicionalmente se ejecutaron mediciones de factor de potencia “Tip Up” con el objetivo de establecer la condición de operación de la máquina antes y después de cada mantenimiento.

Todos los alcances del proyecto fueron cumplidos según las especificaciones del fabricante los cuales están planteados en este trabajo monográfico.

Se evidenciaron físicamente y por los resultados de las pruebas que el trabajo de reacondicionado y reparación de esta máquina han sido exitosos.

Todos los parámetros de aislamiento en los bobinados exceden ampliamente los recomendados por las normas internacionales correspondientes (Std. IEEE 43)

Se considera de suma importancia la atención oportuna de esta máquina pues la afectación por descarga parcial que tenía se considera muy importante y pudo



comprometer la integridad de la misma de no haberse atendido a tiempo.

Se hace entrega oficialmente de la máquina, para completar su alineamiento y reconexión (TPC) antes de su puesta en marcha. La cual se llevó a cabo de manera exitosa. La misma entra en línea sin ningún contratiempo evitando multas o penalización por disponibilidad.

Es de suma importancia que el generador permanezca siempre con calefacción mientras se encuentre fuera de línea.

Se recomienda establecer un programa de mantenimiento predictivo anual, que permita determinar la condición del sistema de aislamiento. Dentro del programa se recomienda incluir las pruebas al sistema de aislamiento, así como las mediciones de descarga parcial.

Se recomienda hacer el monitoreo de vibraciones como parte del programa de mantenimiento predictivo del generador.

Se recomienda ejecutar este mantenimiento mayor en las tres (3) unidades restantes, con el fin de devolver la confiabilidad.

Pruebas realizadas en el generador de acuerdo a estándares ANSI/IEEE Std 286-2000 y ANSI/NETA MTS 2015, según manual del fabricante.

El factor de potencia del aislamiento fase-tierra en las pruebas después del mantenimiento presenta un leve incremento en comparación con el valor antes del mantenimiento, pero este no excede los límites recomendados para una operación normal.

El comportamiento de “Tip-Up” presenta en las tres fases un comportamiento estable en los valores de factor de potencia con respecto a cada escalón de voltaje. Al evaluar lo anterior con respecto a los criterios de la norma ANSI/IEEE Std 286-2000 se determina un comportamiento aceptable

Bibliografía

ANSI/NETA MTS 2015, Standard for Maintenance Testing Specifications for Electrical Power Distribution Equipment and Systems

ANSI/IEEE Std 286-2000, Recommended Practice for Measurement of Power Factor Tip-Up of Electric Machinery Stator Coil Insulation

Manual de medidor de capacitancia y tangente delta, MEGGER Delta 4000.

Motores y genera <https://new.abb.com/motors-generators/es#dores> | ABB

Service note - Preventive m <https://search.abb.com/library/Do> Service note - Preventive maintenance for synchronous motors and generators (ES) (abb.com)wnload.aspx?DocumentID=ES_SM103&DocumentPartId=aintenance for synchronous motors and generators (ES) (abb.com)

Generadores de alta tensión comp <https://new.abb.com/motors-generators/es/generadores/generadores-para-motores-de-gas-y-diesel/alta-tension-gas-y-diesel/generadores-de-alta-tensi%C3%B3> Generadores de alta tensión compactos - Alta tensión gas y diesel (Generadores para motores de gas y diésel) | ABBn-compactosactos - Alta tensión gas y diesel (Generadores para motores de gas y diésel) | ABB

Wartsila NSD Finland oy. (1997). Manual del operador (Vol. 1A). (K. tallgen, Trad.) Vaasa, Finlandia: Wartsila manuales de operación y mantenimiento.

Wartsila NSD Finland oy. (1997). Motor diesel - Catálogo de repuestos (Vol. 2C libro 2/2). (K. tallgen, Trad.) Vassa, Finlandia: Wartsila manuales de operación y mantenimiento.

Wartsila NSD Finland oy. (1997). Motor diesel - Manual de instrucciones (Vol. 2B libro 1/2). (K. tallgen, Trad.) Vaasa, Finlandia: Wartsila manuales de operación y mantenimiento.

