



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**EXTENSIÓN LATACUNGA
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTROMECAÁNICA**

AUTOR: LLAMBA FARINANGO WILLIAN SANTIAGO

**TEMA: ELABORACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD
(RCM) DE LA CENTRAL HIDRÁULICA ILLUCHI N° 2**

**DIRECTOR: ING. HERNÁN ITURRALDE
CODIRECTOR: ING. WASHINGTON FREIRE**

LATACUNGA, MAYO 2014

JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA:

- ✘ Los trabajos de mantenimiento imprevistos ocasionan paradas inesperadas las cuales perjudican a la empresa y a la ciudadanía, ya que la forma de mantenimiento podría ser muy costosa, porque no se conoce las actividades a seguir mientras la maquinaria está detenida.
- ✘ En consecuencia el trabajo de reparación es demoroso, lo que no ocurriría si las medidas adoptadas para tal objeto fuesen fruto de una planeación.
- ✘ Para que las actividades de mantenimiento se realicen con la finalidad de evitar fallos que generen trabajos correctivos, es necesario la existencia de un plan de mantenimiento (RCM) en base a recomendaciones del fabricante, aportadas en las guías, manuales e inspecciones ejercidas al equipo, logrando de esta manera evitar imprevistos espontáneos que decaigan en pérdidas.
- ✘ La realización de este plan es un punto clave para que los trabajadores estén enterados sobre el funcionamiento y mantenimiento de cada uno de los equipos que tiene la central Illuchi N° 2. ; Con lo cual se afirma que si existe un buen mantenimiento en los equipos estos durarían mucho tiempo para beneficio de la empresa y de la ciudadanía en general; además, se retomarían actividades retrasadas de reparación e inclusive se deberá revisar el stock de partes con que se cuenta para compensar una necesidad de un mantenimiento de un futuro fallo.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

- ✘ La central hidroeléctrica Illuchi N° 2 la cual se encuentra conectada al sistema nacional interconectado, se encuentra en operación desde el año 1984 tiene 28 años de operación por lo cual está en vía a terminar su vida útil técnica.
- ✘ Es necesario un procedimiento de mantenimiento en (RMC) , ya que este se enfatiza en un método dirigido para determinar estrategias de mantenimiento analizando las consecuencias de cada una de las fallas que podrían ocurrir y las medidas que se deberían tomar , buscando reducir el mantenimiento y aumentando la confiabilidad de los equipos durante su ciclo de vida mediante técnicas proactivas como el mejoramiento, monitoreo y determinación de vida útil de ciertos componentes , para asegurar que cualquier activo físico de la central continúe funcionando y de que trabaje en un contexto operacional adecuado, en la cual dicha central no poseen este plan de mantenimiento (RMC) y es necesario implementarlo para aumentar la probabilidad de vida útil de los mismos

OBJETIVOS:

- ✘ Determinar la probabilidad de falla de equipos de la central Illuchi N° 2.
- ✘ Analizar el estado de falla en equipos de la central Illuchi N° 2.
- ✘ Investigar las causas que puedan provocar falla en equipos de la central Illuchi N° 2.
- ✘ Establecer alternativas de solución para reducir fallas en la central Illuchi N° 2.
- ✘ Investigar procesos para prevenir las fallas.
- ✘ Realizar un documento (RMC) en el cual se registre los eventos que causan pérdidas de función de los equipos.

NORMAS SAE JA 1011 Y 1012

La Norma SAE JA 1011, presenta un proceso RCM estándar La norma SAE JA 1012 establece una guía para la norma del RCM, pero no intenta ser un manual ni una guía de procedimientos para realizar el RCM El proceso sistemático del RCM formula siete preguntas acerca del activo o sistema que se intenta revisar:

- ✘ ¿Cuáles son las funciones?
- ✘ ¿De qué forma puede fallar?
- ✘ ¿Qué causa que falle?
- ✘ ¿Qué sucede cuando falla?
- ✘ ¿Qué ocurre si falla?
- ✘ ¿Qué se puede hacer para prevenir el fallo?
- ✘ ¿Qué sucede si no puede prevenirse el fallo?

Para empezar a desarrollar el plan de mantenimiento de la central en base a la metodología del RCM, se estableció primeramente los sistemas a analizar.

Los generadores y el transformador de la S/E de la central hidráulica fueron tomados como temas independiente de todos los elementos que se encuentran a su alrededor, debido a que afectan de una u otra manera la confiabilidad de toda la central, el sistema propuesto se enfoco en cumplir con el principal requerimiento

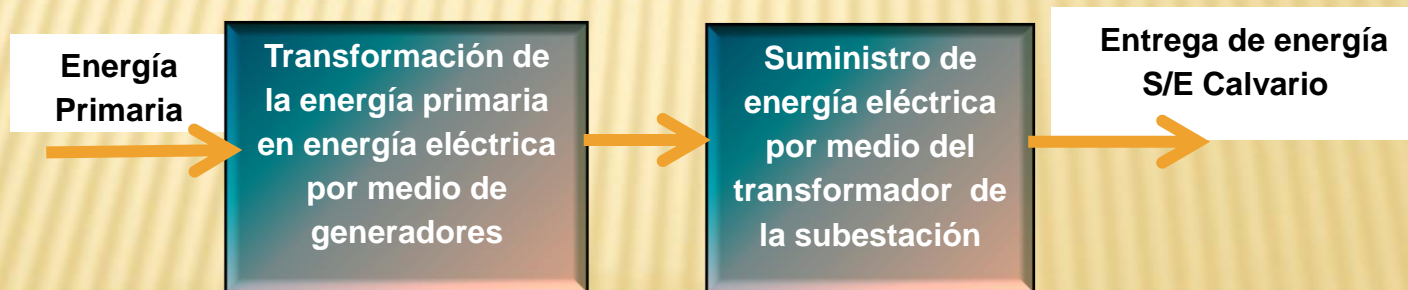
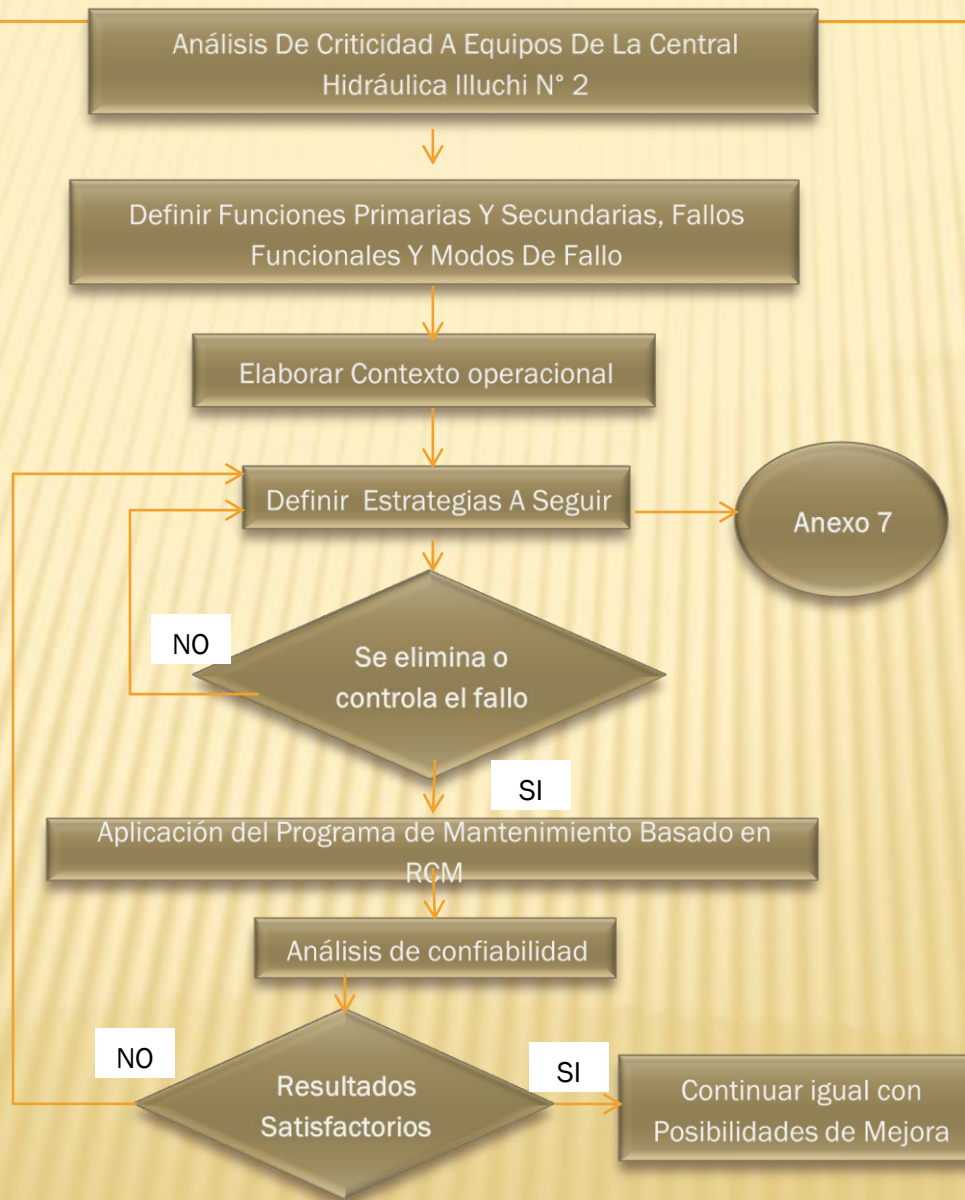
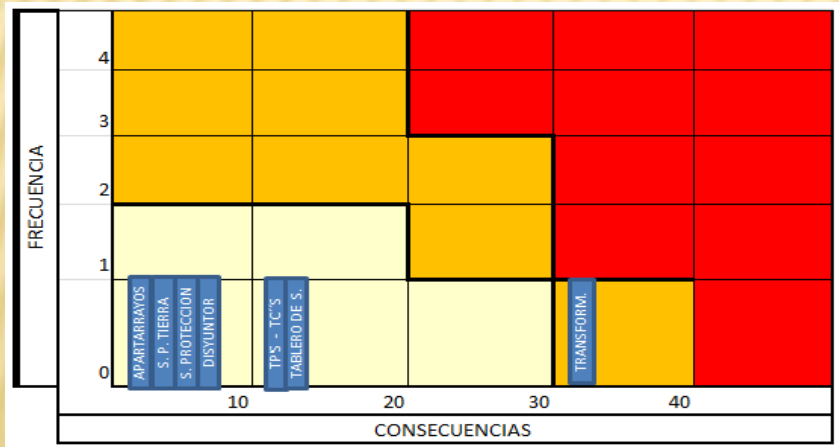
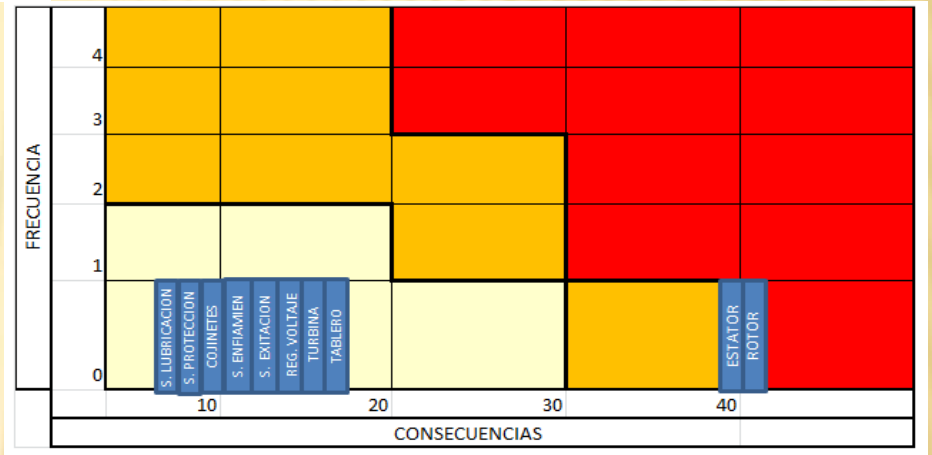
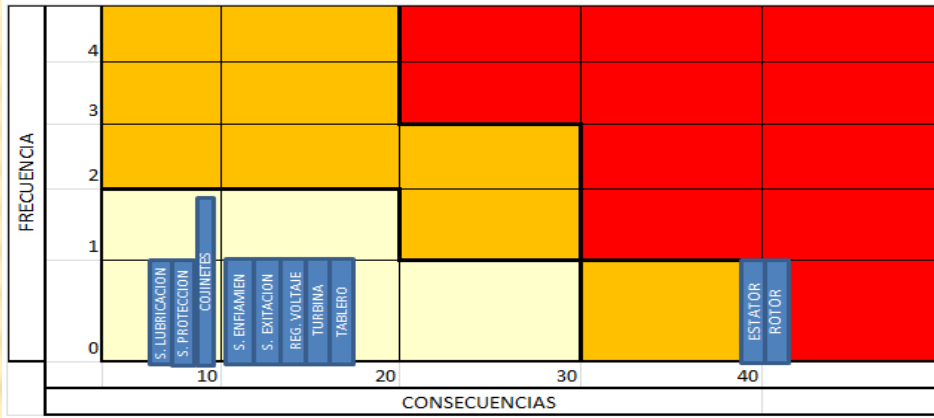


DIAGRAMA DE FLUJO RCM



ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Para tomar la decisión de que equipos aplicar el proceso RCM y dentro del análisis de los subsistemas que surjan dentro de estos equipos decidir también a cuales dar prioridad, se aplicó la metodología de criticidad ya que permite enfocarse hacia los equipos que realmente son importantes y aportan valor con su disponibilidad y confiabilidad al progreso de la Central hidráulica



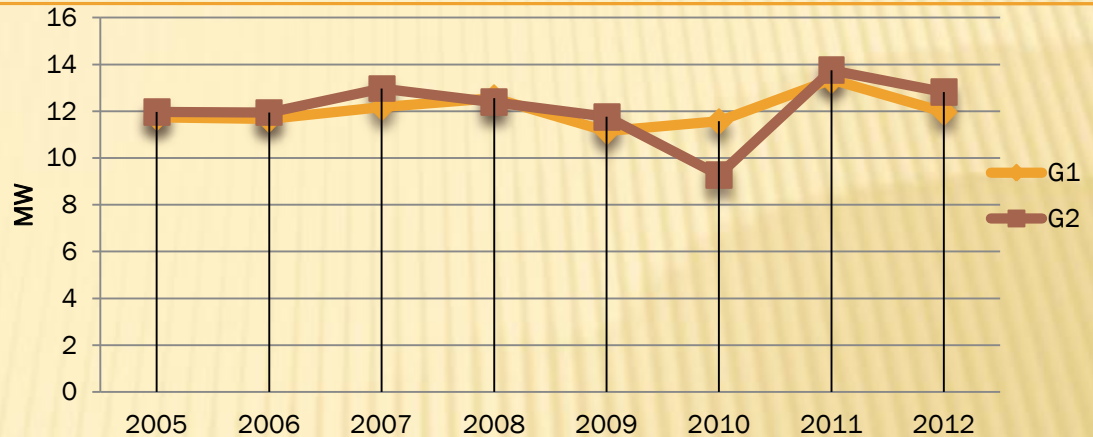
FUNCIONES Y PATRONES DE DESEMPEÑO DE CASA DE MÁQUINAS

Los Generadores de la central Illuchi N° 2 tienen la operan sus unidades, según el programa de generación horaria establecida por CENACE que va entre 2.6 MW 5.2 MW este despacho puede ser variado hora a hora involucrando la posibilidad de varios arranques y paradas durante el día, y esta energía es vendida al MEM y está se encuentra reglamentada por el CONELEC la cual dispone las etapas de generación, oferta y demanda de energía lo cual afecta las fluctuaciones de generación en la central Illuchi N° 2

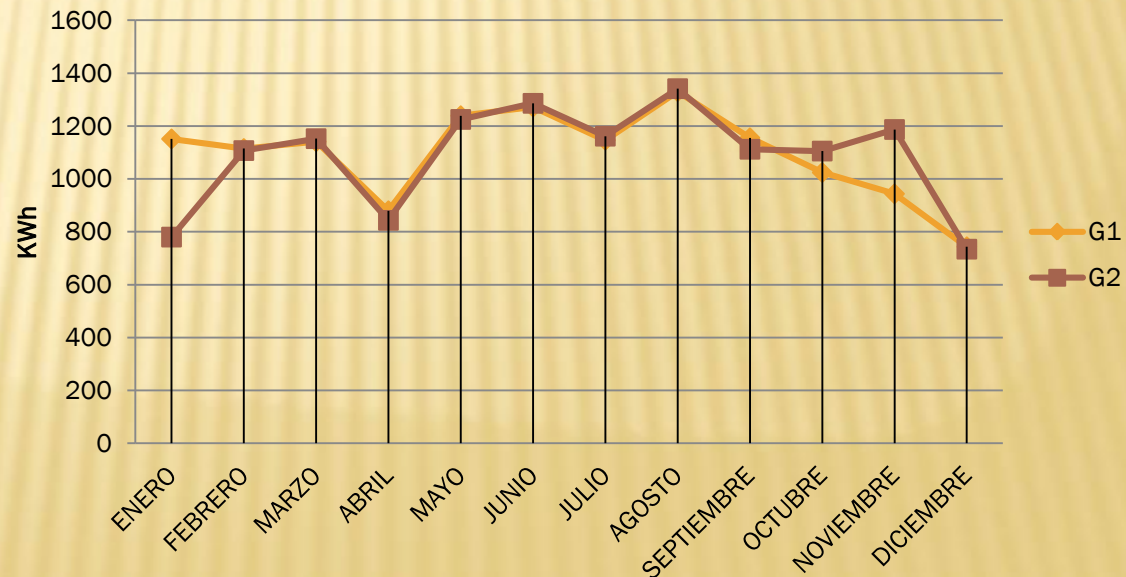
Los generadores de la central producen un promedio de 24,18 GWh anuales con un factor de planta o carga de 55,08%, la disponibilidad de las unidad de generación G1 y G2 se encuentran 99,915% 99,919 % días del año respectivamente y en el evento de una falla de una unidad en servicio representaría pérdidas económicas en la venta de energía.

Para el 2014 una salida de servicio de un generador por un día presenta una pérdida económica para ELEPCO S. A de aproximadamente \$1201,2 dólares americanos

PRODUCCIÓN ANUAL DE LA CENTRAL ILLUCHI Nº 2



PRODUCCIÓN MENSUAL DE LA CENTRAL ILLUCHI Nº 2



FUNCIONES Y PATRONES DE DESEMPEÑO DE LA S/E ILLUCHI N° 2

La S/E de la central Illuchi N° 2 también tienen la obligación de operar su unidad de transformación “Según la Regulación No. CONELEC – 002/06 “Calidad del Transporte de Potencia y del Servicio de Conexión en el SNI”, la cual se calcula el índice de confiabilidad o disponibilidad del sistema de estudio de acuerdo a lo que expresa esta Norma

RANGO	DISPONIBILIDAD
Menor a 99,90 %	Bajo
Entre 99,90 y 99,97	Normal
Mayor a 99,97	Alto

La confiabilidad de la subestación es de disponibilidad alta ya que la S/E no ha presentado fallas por causa de algún componente de la misma según el resumen de las estadísticas de interrupciones de servicio en el sistema nacional interconectado del Ecuador

CONTEXTO OPERACIONAL DE LOS GENERADORES

Los generadores son trifásicos de 2,4 kV con una corriente nominal en el rotor de 345 A y una potencia aparente de 3250 kVA, gira a 720-1274 rpm, 60 HZ, factor de potencia 0.8. El sistema de excitación opera a un voltaje de 85/100 Vc con una potencia de 32-45 KW, El estator genera en sus terminales un voltaje de 2,4 kV \pm 5% con una corriente de 781.8 A

El generador está diseñado con un sistema de ventiladores soldados al eje del rotor, que provocan un ciclo de aire cerrado para un trabajo en régimen continuo a una temperatura ambiente de 40 °C, permitiendo un aumento en la temperatura del estator y rotor de 60 °C y 80 °C, ya que el aislamiento del estator es de clase B del rotor clase F respectivamente

En operación normal, de un generador de la central debe producir entre 2.6-5.2 MW en períodos de tiempo desde 1 hora hasta 24 horas al día los 365 días del año, con un voltaje de salida de 2,4 KV y 60 Hz, durante el proceso de producción de energía eléctrica, el generador no debe sobrepasar una temperatura en rotor y estator de 100 °C.

La temperatura del sistema de enfriamiento no debe superar los 75 °C ya que el punto de fusión del metal es relativamente bajo que va entre 90 °C y 100 °C, La temperatura del sistema de lubricación presenta una diferencia aproximada de 10 °C entre la temperatura del metal y la del aceite, por lo que se cuidará que la temperatura no sea inferior a 50 °C, ya que debido a la disminución de la viscosidad del aceite puede manifestarse problemas de lubricación.

Las salas de máquinas pueden ser extremadamente ruidosas y dañar los oídos, se debe usar protección auditiva, por esta razón el generador está protegido con una carcasa para formar un recinto de aire y está aislada con poliuretano para reducir el ruido, la operación del generador no debe provocar un ruido de más de 70 dB medidos a 5 m de distancia

Contexto operacional del Transformador de Potencia

Algunos componentes tienen un nivel mayor de importancia que otros, son elemento que generalmente determinan la capacidad para soportar esfuerzos mecánicos y eléctricos, así como la probable vida útil del transformador estos componentes principalmente son: el papel aislante, los bobinados y el núcleo.

Debido a la gran cantidad de elementos presentes en el transformador se hizo necesaria poder agruparlos de acuerdo a la función que cumplen.

Estos componentes influyen de acuerdo a su importancia dentro de la confiabilidad total del transformador, entonces si se logra garantizar que los componentes sigan realizando sus funciones: principal y secundarias, se estará garantizando que el transformador cumpla su función principal dentro de un sistema más grande

SUBSISTEMA	ELEMENTOS	FUNCIÓN PRINCIPAL	FUNCIONES SECUNDARIAS
Parte activa	Devanados	Producir flujo magnético	<ul style="list-style-type: none"> Resistir cargas estáticas permanentes y sobretensiones transitorias. Mantener la temperatura de los bobinados menor a 115 °C Mantener un nivel mínimo de pérdidas en el cobre
	Núcleo	Acoplamiento magnético entre devanados	<ul style="list-style-type: none"> Mantener un nivel de ruido menor a los 87 decibeles. Evitar la presencia de tensiones capacitivas. Sostener los bobinados. Mantener un nivel mínimo de pérdidas en el núcleo
Sistema de soporte	Tanque	Contener el aceite aislante	<ul style="list-style-type: none"> Mantener la hermeticidad. Mantener libres de voltajes inducidos o estáticos en la carcasa Soportar presiones hasta 4 psi. Mantener el aceite aislante en buenas condiciones Mantener libre de oxidación y corrosión
	Tanque de expansión	Compensar las variaciones de volumen de aceite debido a las variaciones de temperatura	<ul style="list-style-type: none"> Mantener la hermeticidad. Soportar presiones hasta 4 psi. Mantener la bolsa de goma en buen estado y libre de humedad. Libre de oxidación y corrosión
Sistema de refrigeración	Radiador	Disipar el calor	<ul style="list-style-type: none"> Mantener hermeticidad. Soportar presiones hasta 4 psi sin sufrir deformación Permitir el flujo normal de aceite. Libre de oxidación y corrosión.
Sistema de aislamiento	Aceite	<ul style="list-style-type: none"> Aislarlos los bobinados Disipar el calor 	<ul style="list-style-type: none"> Mantener libre de PCB's Eliminar pequeños arcos eléctricos Registrar la máxima temperatura al día Mantener en buenas condiciones las propiedades químicas y físicas. Mantener una vida útil de 20 a 30 años. Mantener la temperatura del aceite menor a 80 °C
	Papel aislante	Aislar bobinados y conductores Internos	<ul style="list-style-type: none"> Soportar la máxima temperatura en el punto más caliente de los devanados. Mantener en buen estado las propiedades mecánicas y dieléctricas Nivel de temperatura normal de operación entre 70-100 C
	Bushings AT/BT	Aislar el conductor de A.T de la carcasa	<ul style="list-style-type: none"> Mantener hermeticidad. Mantener una buena conductividad de la parte interna del bushings.
Sistemas de protección mecánica y monitoreo	Relé Buchholz (Elemento de T1) (Alarma H301) (Relé 49)	Desenergizar el transformador en caso de cortocircuitos interno	<ul style="list-style-type: none"> Mantener hermeticidad Purgar el gas en el aceite. Mantener en buen estado los contactos principales. Activar la alarma H301 del tablero de salida
	Dispositivo de alivio de presión	Aliviar rápidamente la sobrepresión interna en caso de falla severa	<ul style="list-style-type: none"> Evitar la explosión del transformador
	Indicado nivel del aceite (Elemento de T1)	Monitorear el nivel del aceite	<ul style="list-style-type: none"> Facilitar la inspección del nivel de aceite al operador. Tener una medición confiable Desconectar si el nivel de aceite es mínimo.
Sistema de protección eléctricas	Relé Diferencia (Elemento F28) (Alarma H302) (Relé 87)	Proteger al transformador de cortocircuitos interno	<ul style="list-style-type: none"> Registrar alarmas y disparos de forma local y remota alarmas H302 y H328 del tablero de alarma de la salida del transformador. Desconectar el transformador lo más rápido posible en caso de falla Discriminar las zonas de protección, así como corrientes transitorias.
	Pararrayo	Limitar los sobre voltaje de impulso y maniobra a valores tolerables.	<ul style="list-style-type: none"> Registro del número de operaciones Mantener una buena conductividad de la puesta a tierra
Equipo primario	TC'S	Disminuir la corriente a valores medibles	<ul style="list-style-type: none"> Exactitud en la medición.
	TP'S	Disminuir el voltaje a valores medibles	<ul style="list-style-type: none"> Exactitud en la medición.
	Disyuntor Lámpara S20 S21	Abrir y cerrar un sistema eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> Poder maniobrar de forma local y remota. Ser capaz de bloquear cualquier maniobra en caso de bajo nivel de SF6. Mantener una buena conductividad.
	Seccionador (Lámpara H3) (Relé 89)	Seccionar el sistema	<ul style="list-style-type: none"> Bloquear la apertura mientras el interruptor este energizado. Poder maniobrar de forma local y remota. Mantener una buena conductividad

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN R.C.M		Elemento: GENERADOR		
FUNCIÓN		Componente: ESTATOR		
		FALLO DE FUNCIÓN	MODO DE FALLA	EFFECTO DE FALLA
<p>1. Convertir la energía electromagnética inducida por el rotor en energía eléctrica trifásica con un voltaje en sus terminales entre 2.4 KV hasta 781,8 amperios, a una frecuencia de 60 Hz, un rango de temperatura de bobinado entre 27 °C y 100 °C, potencia activa 0 MW a 2.6 MW, factor de potencia 0,9.</p>		<p>A. No convierte energía electromagnética en energía eléctrica trifásica.</p>	1A1. Estator a tierra por falla en aislamiento de bobinas	El generador sale de servicio por operación de la protección 64G falla estator a tierra (equipo F30 alarma H220 para G1, equipo F32 alarma H420 para G2, del tablero del control y medida), desencadena la secuencia de operación de alarmas y protecciones del generador. Tiempo de parada 30 días , tiempo de reparación 25 días, se requiere bobinas disponibles en bodega
			1A2. Estator a tierra o en cortocircuito por falla en soporte de la barra	Falla tipo 1A1, Tiempo de parada 4 días , tiempo de reparación 3 días , Requiere soportes de barra nuevos en bodega
			1A3. Estator a tierra o en cortocircuito por daño en su bobinado por golpe con elementos constitutivos (cubiertas, tornillos) sueltos	Falla tipo 1A1
			1A4. Estator a tierra o en cortocircuito por daño en el enchapado por golpe con elementos constitutivos(cubiertas, deflectores, tornillo) sueltos desde el interior del estator	Si son abolladuras superficiales se repara en el sitio. Si las abolladuras son profundas se requerirá chapas nuevas, si fuera una falla grande puede provocar una limitación en la producción de reactivos del generador después de la reparación se requerirá personas capacitadas Tiempo fuera de servicio 3 meses. Tiempo de reparación 2,5 meses.
			1A5. Estator a tierra por entrada de agua	Por rotura en la tubería del sistema de refrigeración del estator opera las secuencias falla tipo 1A1. Se analizan aparte el sistema de refrigeración.
			1A6. Estator a tierra por humedad	Mientras un generador se encuentre detenido o apagado, el aislamiento recoge humedad que puede afectar el equipo en funcionamiento ocasionando una falla tipo 1A1.
			1A7. Estator a tierra por entrada de aceite	Falla en el sellado de vapores de aceite del generador permite entrada de aceite hacia el interior que con el tiempo ocasiona el acumulamiento del carbón polvo que degrada el aislamiento hasta provocar una falla tipo 1A1.
			1A8. Estator a tierra por desajuste en unión pernada del punto del neutro	Un desajuste en uno o más tornillos en el empalme del punto neutro provoca un punto caliente y posteriormente una explosión. Sucede una secuencia de protecciones similar a falla tipo 1A1, esta falla afecta equipos como TC's, cable de puesta a tierra y barras. Tiempo fuera de servicio 4 horas Tiempo de reparación 4 horas
			1A9. Estator a tierra o en cortocircuito por herramienta u objeto dejado olvidado después de un mantenimiento	Falla tipo 1A1
			1A10. Estator a tierra por señal de protección falsa por falla del relé	Falla tipo 1A1. Se realizará una inspección y pruebas del generador para determinar que no existe falla. Se procede a realizar pruebas de protecciones y verificar su funcionamiento. Es posible que se deba reemplazar uno o más elementos de protección, Se requerirá contar con relés de repuestos tiempo de reparación 8 horas.

FUNCIÓN	FALLO DE FUNCIÓN	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
		1A11. Estator a tierra por falla en resistencias de puesta a tierra	Por suciedad o deterioro en los puntos de contacto puede variar el valor de la resistencia desencadenando una señal falsa con sus respectivas consecuencias falla tipo 1A1 , Tiempo de reparación 8 horas
		1A12. Estator a tierra por falla en el transformador en puesta a tierra	Cuando el transformador se aterriza a tierra y existe una falla, en el mismo es detectada por el relé de protección de estator a tierra. La secuencia de protecciones es similar a 1A1. El tiempo de reparación del transformador se estima en 15 días
		1A13. Estator a tierra por falla en seccionador puesta a tierra	Cuando el seccionador se aterriza a tierra provoca una falla que es detectada por el relé de protección de estator a tierra. La secuencia de protecciones es similar a la falla tipo 1A1, tiempo de reparación se estima en 2 días
		1A14. Estator a tierra por falla en cable y/o soportes de conexión entre punto de neutro	Cuando falla el aislamiento del cable se aterriza y provoca una falla que es detectada por el relé de protección de estator a tierra. La secuencia de protecciones es similar a 1A1. El tiempo de reparación se estima en 2 días
		1A15. Estator a tierra o en cortocircuito por elementos extraños, tierras portátiles o conexiones provisionales conectadas en la barra de salida del generador después de una operación	Se presenta falla a tierra en la barra de salida del generador con operación de la protección diferencial de grupo 87G (equipo F17 alarma H203 para G1, equipo F28 alarma H403 para G2, del tablero del control y medida). Tiempo de reparación 4 días.
		1A16. Falla en el aislamiento por reparación deficiente	Falla tipo 1A1. El tiempo de máquina parada aumenta. Se puede incurrir en la posibilidad de un nuevo mantenimientos y aumentar sobre costo por materiales
		1A17. Estator a tierra por deterioro de aislamiento	
		1A18. Estator a tierra por suciedad o contaminación	Falla tipo 1A1
		1A19. Estator a tierra por falla a tierra en equipos y barra	
		1A20. Estator a tierra por falla en aislamiento en capa semiconductor por envejecimiento.	Por el envejecimiento, la capa semiconductor va perdiendo sus propiedades quedando la bobina expuesta a descargas parciales deteriorando su aislamiento con posibles fallas a tierra falla tipo 1A1.
		1A21. Estator a tierra por falla en aislamiento por aflojamiento de cuñas	Por desajuste del acuña miento se produce vibración en la bobina que ocasiona rompimiento de su aislamiento al entrar en contacto con la chapa. Se produce una falla tipo 1A1.
		1A22. No hay voltaje en las barras por falla en sistema de excitación	Se acciona el relé 27 de mínima tensión (equipo F29 alarma H203 para G1, equipo F31 alarma H403 para G2 de los tableros de control y medida), o el relé 58 de Protección de diodos (equipo F8 alarma H204 para G1, equipo F18 alarma H404 para G2 de los tableros de control y medida), al fallar el sistema de excitación ya que no existe campo magnético para inducir tensión en el estator. Se requiere revisar el panel del sistema de excitación para verificar la falla y dependiendo de la misma se puede tener una indisponibilidad y pérdida de producción. Para esta revisión se requiere un ingeniero y un técnico electrónico.

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN R.C.M	Elemento: GENERADOR		
	Componente: ESTATOR		

FUNCIÓN	FALLO DE FUNCIÓN	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
		1A23. No hay voltaje por falla en el sistema de auxiliares de corriente continua	No hay tensión inicial para iniciar el proceso de excitación (revisar Amperímetro de excitación equipo P10 para G1 y equipo P11 para G2 de los tableros de control y medida) sin existir campo magnético para inducir tensión en el estator. Se requiere hacer revisión del sistema de corriente continua (banco de baterías, transformador T2, diodos de rectificación) y dependiendo de la falla se tiene indisponibilidad y pérdida de generación 1 y 8 horas. Se requiere un ingeniero y un técnico electrónico.
		1A24. No hay voltaje por falla en la entrega de potencia al sistema	Durante la consignación del equipo se omiten pasos del protocolo causando demoras en la puesta en servicio del generador y pérdidas de generación aproximadamente de 2 horas. La revisión debe ser realizada por un ingeniero y un operador.,Tiempo de reparación 2 horas
		1A25. No hay voltaje por aflojamiento en terminales de barra	Aflojamiento u oxidación/sulfatación de las conexiones en terminales de entrada o llegada no permiten la adecuada conexión pérdidas de generación aproximadamente de 8 horas. Tiempo de reparación 8 horas
		1A26. Falla por mal mantenimiento o mala operación	Procedimientos de mantenimiento y operación inadecuados por el personal de mantenimiento y operación

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN R.C.M		Elemento: GENERADOR	
		Componente: SISTEMA DE LUBRICACIÓN	
FUNCIÓN	FALLO DE FUNCIÓN	MODO DE FALLA	EFFECTO DE FALLA
1. Lubricar las partes móviles del generador	A. Reducción de la presión del lubricante	1A1. Aceite diluido	El aceite diluido no tiene las mismas propiedades que el aceite normal por lo que no circula por el generador con la presión correcta produciendo rozamiento y desgaste de las piezas del generador. Tiempo de reparación 2 horas
		1A2. Pérdida de la eficiencia del sistema de refrigeración, con el calentamiento excesivo del aceite	El calentamiento del aceite hace que pierda sus propiedades por lo que no circula por el generador con la presión correcta produciendo rozamiento y desgaste de las piezas del generador. Tiempo de reparación 2 horas
		1A3. Desgaste crítico de los cojinetes lubricados a presión	El desgaste de los cojinetes hace que el aceite que circula por ellos no salga con la presión necesaria al generador produciendo rozamiento y desgaste de las piezas del generador. Tiempo estimado de reparación 30 días , se requiere cojinetes disponible en bodega
		1A4. Filtro de aceite obstruido	El filtro de aceite obstruido no deja pasar el aceite causando que no pase a las partes móviles del generador con la presión adecuada, lo cual produce rozamiento y desgaste en las piezas del generador Tiempo estimado de reparación 2 horas, se requiere filtros disponible en bodega.
		1A5. Bomba dañada o muy desgastada	Una bomba de aceite en malas condiciones no suministra el aceite a los cojinetes con la presión adecuada, lo cual produce rozamiento y desgaste en las piezas del generador, Tiempo estimado de reparación 1 días , se requiere bomba de aceite disponible en bodega
		1A6. Falta de lubricante	Si faltase aceite lubricante, éste no circula por el generador con la presión necesaria lo cual produce rozamiento y desgaste en las piezas del generador Tiempo estimado de reparación 3 horas , se requiere aceite lubricante en bodega
	B. Consumo anormal de lubricante	1B1. Fugas externas por desgaste o rotura de guías del aceite lubricante	Las fugas externas conllevan un consumo de lubricante mayor del habitual. Si no se solucionan pueden causar problemas graves por falta de aceite lubricante en el generador Tiempo estimado de reparación 12 horas , se requiere guías de aceite en bodega
		1B2. Fugas internas del sistema de lubricación defectos de sellos en uniones	Las fugas a través de sellos conllevan un consumo de lubricante mayor del habitual causando falta de potencia y bajo rendimiento en las partes móviles del generador. Si no se solucionan pueden causar problemas graves por falta de lubricante en el generador produciendo sobrecalentamiento en el mismo Tiempo estimado de reparación 1 día , se requiere sellos en bodega

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN R.C.M	Elemento: GENERADOR		
Componente: SISTEMA DE ENFRIAMIENTO			
FUNCIÓN	FALLO DE FUNCIÓN	MODO DE FALLA	EFFECTO DE FALLA
1. Mantener una temperatura adecuada de funcionamiento del generador y del líquido refrigerante de entre 50 °C y 75 °C	A. No mantiene una temperatura adecuada de funcionamiento, la cual está por debajo de los 50 °C.	1A1 Fugas excesivas por sellos	Presencia de humo blanco y disminución de viscosidad en aceite lubricante en cojinetes es necesario el reemplazamiento de los sellos del termostato, Tiempo estimado de reparación 1 día, se requiere sellos en bodega.
	B. No mantiene una temperatura adecuada de funcionamiento, la cual está sobre los 75 °C.	1B1. Circulación pobre de refrigerante, debido a falta de éste en el circuito. También puede deberse a mangueras deterioradas o dobladas	Alta temperatura de refrigerante provocará calor excesivo en los cojinetes causando pérdida de propiedades en el lubricante Tiempo estimado de reparación 1 hora , se requiere mangueras en bodega
		1B2. Transferencia de calor insuficiente, debido a formación de escamas en el circuito de refrigeración.	Alta temperatura de refrigerante, las escamas y depósitos pueden ocasionar fallas en el sistema de enfriamiento se aísla el refrigerante de los componentes que requieren ser enfriados. La transferencia de calor reducida al refrigerante ocasiona sobrecalentamiento del generador y puede ocasionar que se pandeen los componentes en los cojinetes, pérdida de potencia. Tiempo estimado de reparación 8 días, se requiere sellos y mangueras en bodega.
2. Bombear el líquido refrigerante por los enfriadores de aceite, y el intercambiador de calor.	A Incapaz de bombear el líquido refrigerante	2A1. Impulsor de la bomba de agua suelto o dañado.	Poca circulación de refrigerante por cojinetes lo cual esto provocará un sobrecalentamiento del mismo por causa de impulsor flojo o deteriorado. Tiempo estimado de reparación 1 día
		2A2. Cavitación debido a aire atrapado en el sistema.	La cavitación es ocasionada por burbujas de aire que colapsan en el interior de las paredes del impulsor. Estas burbujas de aire explotan repetidamente en contra del costado del impulsor y puede ocasionar erosión de la misma. Tiempo estimado de reparación 1 días
	B No mantiene un bombeo de líquido refrigerante adecuado lo cual está por debajo de 20 m/seg.	2B1. Impulsor de la bomba de agua desgatado	Elevación de la temperatura del refrigerante la cual inducirá calor en los cojinetes causando pérdida de propiedades en el lubricante Tiempo estimado de reparación 1 día
3. Regular el flujo del refrigerante y recircularlo por el generador según la temperatura.	A. Incapaz de regular el flujo de refrigerante o lo hace de manera incorrecta.	3A1. No funciona correctamente el Termostato	Es necesario remover, inspeccionar y comprobar el termostato e Instalar un nuevo su fuese necesario. Tiempo estimado de reparación 6 horas, se requiere termostato en bodega.
4. Contener el líquido refrigerante.	A. Incapaz de contener el líquido refrigerante.	1A1. Fuga de refrigerante por sellos en eje de la bomba.	Baja de nivel del refrigerante lo que produce un aumento de temperatura por despresurización del sistema. Tiempo estimado de reparación 3 horas, se requiere sellos en bodega.

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN R.C.M	Elemento: GENERADOR		
	Componente: SISTEMA DE PROTECCIÓN		
FUNCIÓN	FALLO DE FUNCIÓN	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
1. Activar una alarma cuando la temperatura del refrigerante suba a los 105 °C y activar el mecanismo de detención del generador cuando la temperatura del líquido refrigerante alcance los 110 °C	A. Incapaz de activar la alarma , ni activar el mecanismo de detención del generador	1. Conexiones eléctricas flojas del sensor. 2. Sensor en falla, des calibrado o dañado	Al aumentar la temperatura del refrigerante por sobre los 110 °C se produce un sobrecalentamiento del generador provocando daños sobre las propiedades del aislamiento del estator y del rotor, se requerirá reparar o reemplace cableado eléctrico o cambio por un nuevo sensor Tiempo estimado de reparación 8 horas, se requiere sensores en bodega.
2. Activar una alarma y el mecanismo de detención del generador cuando éste alcance una frecuencia (relé 81 Equipo F19) no aceptable para el sistema.	A. Incapaz de activar la alarma sonora ni activar el mecanismo de detención del generador.	1 Conexiones eléctricas flojas del sensor. 2. Sensor en falla, des calibrado o dañado	Cuando se trabaja a frecuencias anormales, y al no activarse esta protección puede ocasionar reducción en la capacidad del generador, la turbina en los generadores pueden entrar en resonancia mecánica en las muchas etapas de los álabes de la turbina, ocasionando esto vibraciones no tolerables por las partes del generador las cuales se deterioran o pueden romper en caso de un funcionamiento continuo o prolongado. Se requerirá reparar o reemplace cableado eléctrico o cambio de un nuevo sensor Tiempo estimado de reparación 8 horas, se requiere sensores en bodega.
3. Activar una alarma y el mecanismo de detención del generador cuando este se sobrecarga (relé de sobrecarga relé 50/51 Equipo F12 Y F22) el generador	A. Incapaz de activar la alarma sonora ni activar el mecanismo de detención del generador.	1 Conexiones eléctricas flojas del sensor. 2. Sensor en falla, des calibrado o dañado	Si un generador funciona durante mucho tiempo en condiciones de sobrecarga (es decir, a un régimen por encima del régimen máximo del generador) y no activarse esta protección existirá : recalentamiento del sistema de refrigeración , de los bobinados del generador y disminución de la viscosidad del aceite resultando pérdida de presión del aceite Se requerirá reparar o reemplace cableado eléctrico o cambio de un nuevo sensor Tiempo estimado de reparación 8 horas, se requiere sensores en bodega.
4.-Activar una alarma y el mecanismo de detención del generador cuando la corriente sobrepase la establecida , relé de sobre corriente (Relé 50, Equipo F10 F11 para G1, Equipo F20 F21 para G2)	A. Incapaz de activar la alarma , ni activar el mecanismo de detención del generador	1 Conexiones eléctricas flojas del sensor. 2. Sensor en falla, des calibrado o dañado	Corrientes excesiva provocan cortocircuitos las cuales se caracterizan por valores de corrientes múltiples a la corriente nominal, grandes caídas de tensión y desfasaje importante entre la tensión y la corriente las cuales estas producen problemas de tipo térmico sobre los equipos, se requerirá reparar o reemplace cableado eléctrico o cambio por un nuevo sensor. Tiempo estimado de reparación 8 horas, se requiere sensores en bodega.

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN R.C.M	Elemento: GENERADOR		
	Componente: SISTEMA DE PROTECCIÓN		
FUNCIÓN	FALLO DE FUNCIÓN	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
5. Activar una alarma y el mecanismo de detención del generador cuando falle los diodos del sistema de excitación del generador (relé 58 Equipo F8 para G1, Equipo F18 para G2)	A. Incapaz de activar la alarma , ni activar el mecanismo de detención del generador	1. Conexiones eléctricas flojas del sensor. 2. Sensor en falla, des calibrado o dañado	Al existir una falla en los diodos rectificadores y al no activarse esta protección puede producirse a través del regulador una corriente de excitación excesiva, y la tensión de los bornes disminuirá, se requerirá reparar o reemplace cableado eléctrico o cambio por un nuevo sensor. Tiempo estimado de reparación 8 horas, se requiere sensores en bodega.
6. Activar una alarma y el mecanismo de detención del generador cuando exista una falla de estator a tierra en el generador (relé 64 Equipo F30 para G1, Equipo F32 para G2)	A. Incapaz de activar la alarma , ni activar el mecanismo de detención del generador	1. Conexiones eléctricas flojas del sensor. 2. Sensor en falla, des calibrado o dañado	Al existir una falla de estator a tierra y al no activarse esta protección se produce un incremento altamente peligroso de las tensiones entre fase-fase, por consecuencia esto ocasionar problema de mayor magnitud en los aislamientos del generador, se requerirá reparar o reemplace cableado eléctrico o cambio por un nuevo sensor. Tiempo estimado de reparación 8 horas, se requiere sensores en bodega.
7. Activar una alarma y el mecanismo de detención del generador cuando se active el relé de Protección diferencial (relé 87 Equipo F7 para G1 , Equipo F17 Para G2 y Equipo F28 Para tablero de salida)	A. Incapaz de activar la alarma , ni activar el mecanismo de detención del generador	1. Conexiones eléctricas flojas del sensor. 2. Sensor en falla, des calibrado o dañado	Al no activarse esta protección el generador está expuesto a fallas como son: falla fase-fase, falla fase-estator, la cual cualquiera provocara un cortocircuito y un calentamiento excesivo que afectara gravemente a los aislamientos del estator y del rotor del generador, se requerirá reparar o reemplace cableado eléctrico o cambio por un nuevo sensor. Tiempo estimado de reparación 8 horas, se requiere sensores en bodega.
9. Activar una alarma y el mecanismo de detención del generador cuando exista un voltaje mayor o mínimo al establecido en el generador (relé 27)	A. Incapaz de activar la alarma , ni activar el mecanismo de detención del generador	1. Conexiones eléctricas flojas del sensor. 2. Sensor en falla, des calibrado o dañado	Al no poder activarse esta protección el generador está expuesto a sobre voltajes causadas por sobre velocidades o pérdida de carga, provocando sobrecalentamientos y pérdida de aislamiento en el generador se requerirá reparar o reemplace cableado eléctrico o cambio por un nuevo sensor. Tiempo estimado de reparación 8 horas, se requiere sensores en bodega.

HOJA DE TRABAJO DE TRABAJO DE DECISIÓN R.C.M				Elemento: GENERADOR															
				Componente: ESTATOR															
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tarea				Tarea Propuesta				Frecuencia inicial	A realizar por
							S1	S2	S3	"a falta de "									
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4							
1	A	1	S	N	N	S	N	N	S				Realizar las verificaciones del estado del aislamiento de las bobinas mediante las pruebas de resistencia de aislamiento, índice de polarización, prueba de escalón e inspección visual. Cuando esté el rotor retirado realizar prueba de alta tensión DC. Debe realizarse un análisis de estadístico.	25 años	Ingeniero/Tec nólogo				
1	A	2	S	N	N	S	N	S				Verificar estado de soportes y en caso de necesidad sustituir.	Anual	Técnico					
1	A	3	S	N	N	S	N	S				Verificar ajuste de tornillos mediante martilleo en su cabeza. En caso de presentar un sonido no sólido aflojar, ajustar el tornillo y aflojar nuevamente y ajustar finalmente	Anual	Mecánico					
1	A	4	S	N	N	S	N	S				Ítem 1A3.	Anual	Mecánico					
1	A	5										Se analiza aparte el sistema de refrigeración.	Anual						
1	A	6	N				S					Cuando la unidad se encuentre detenida verificar que el valor de la temperatura del aire frío no se encuentre por debajo de 30 °C , realizar pruebas de termografía	Cada hora mientras la máquina se encuentre detenida	Operador					
1	A	7	S	N	N	S	S					Inspeccionar filtros de las tapas de cojinetes	Semestral	Operador					
1	A	8	S	N	N	S	S					Tomar termografía en puesta de tierra y en caso de existir una temperatura mayor de 5 ° C programar el ajuste de la unión pernada.	Anual	Ingeniero/Tec nólogo					
1	A	9	S	N	N	S	S					Debe rediseñarse el sistema de protocolo de entrega del equipo para operación con la implementación de una lista de chequeo de entrada y salida de herramienta al generador.	10 meses	Mecánico					
1	A	10	S	N	N	S	N	N	N			Realizar pruebas al equipo de protección y comprobar su funcionamiento existe la potencial opción de sustituir uno o más elementos de protección	Después de cada mantenimiento	Ingeniero/Tec nólogo					
1	A	11	S	N	N	S	S					Revisar el sistema de puesta a tierra	Anual	Técnico					
1	A	12	S	N	N	S	S					Revisar el sistema de puesta a tierra	Anual	Técnico					
1	A	13	S	N	N	S	S					Revisar el sistema de puesta a tierra	Anual	Técnico					
1	A	14	S	N	N	S	S					Revisar el sistema de puesta a tierra	Anual	Técnico					
1	A	15										Debe rediseñarse el sistema de protocolo de entrega del equipo para operación con la implementación de una lista de chequeo para el retiro de tierras portátiles y/o elementos extraños.	Después de cada mantenimiento	Técnico					
1	A	16	S	N	N	S	N	S				Realizar el procedimiento para reparaciones en sitio además procedimiento de operación y entrenamiento para la persona que realice la tarea.	Después de cada reparación	Ingeniero/Tec nólogo					
1	A	17	N	N	N	S	S					Efectuar pruebas de aislamiento al generador	25 años						
1	A	18	S	N	N	S	S					Realizar limpieza de ductos de ventilación del generador, chapas de ajuste, y barras.	Anual	Ingeniero/Tec nólogo					
1	A	19	S	N	N	S	S					Verificar estado de soportes y puestas a tierra	Anual						
1	A	20	S	N	N	S	S					Efectuar pruebas de medida de resistencia óhmica de la capa semiconductor en cada bobina	Anual						
1	A	21	S	N	N	S	S					Comprobar acuñamiento por medio de un martillo. Reemplazar cuñas que se encuentren sueltas	Anual	Mecánico					
1	A	22										Revisar y analizar el sistema de excitación.	Anual	Técnico					
1	A	23										Revisar y analizar el sistema de excitación.	Anual	Técnico					
1	A	24	S	N	N	S	N	S				Revisar procedimientos de entrega de equipos, capacitar y evaluar el personal de operación y mantenimiento.	Anual	Técnico					
1	A	25	S	N	N	S	N	S				Efectuar limpieza y ajuste de conexiones tanto a la entrada como a la salida de los generadores.	Anual	Técnico					
1	A	26	S	N	N	S	N	S				Rediseñar el sistema de entrega y recepción del equipo por parte de mantenimiento y operación. Realizar una capacitación continuada del personal.	La capacitación deberá realizarse cada vez que exista un cambio en el sistema de entrega y recepción.						

HOJA DE TRABAJO DE TRABAJO DE DECISIÓN R.C.M										Elemento: GENERADOR									
Referencia de información										Componente: SISTEMA DE PROTECCIÓN									
Evaluación de las consecuencias			H1	H2	H3	Tarea "a falta de "				Tarea Propuesta				Frecuencia inicial		A realizar por			
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4							
1	A	1	N				S						Revisar estado de conexiones eléctricas y cables				10 meses	Técnico	
1	A	2	N				N	N	S				Realizar tarea de búsqueda de falla.				10 meses	Técnico	
2	A	1	N				S						Revisar estado de conexiones eléctricas y cables				10 meses	Técnico	
2	A	2	N				N	N	S				Realizar tarea de búsqueda de falla.				10 meses	Técnico	
3	A	1	N				S						Revisar estado de conexiones eléctricas y cables				10 meses	Técnico	
3	A	2	N				N	N	S				Realizar tarea de búsqueda de falla.				10 meses	Técnico	
4	A	1	N				S						Revisar estado de conexiones eléctricas y cables				10 meses	Técnico	
4	A	2	N				N	N	S				Realizar tarea de búsqueda de falla.				10 meses	Técnico	
5	A	1	N				S						Revisar estado de conexiones eléctricas y cables				10 meses	Técnico	
5	A	2	N				N	N	S				Realizar tarea de búsqueda de falla.				10 meses	Técnico	
6	A	1	N				S						Revisar estado de conexiones eléctricas y cables				10 meses	Técnico	
6	A	2	N				N	N	S				Realizar tarea de búsqueda de falla.				10 meses	Técnico	
7	A	1	N				S						Revisar estado de conexiones eléctricas y cables				10 meses	Técnico	
7	A	2	N				N	N	S				Realizar tarea de búsqueda de falla.				10 meses	Técnico	

HOJA DE TRABAJO DE TRABAJO DE DECISIÓN R.C.M										Elemento: GENERADOR									
Referencia de información										Componente: SISTEMA DE LUBRICACIÓN									
Evaluación de las consecuencias			H1	H2	H3	Tarea "a falta de "				Tarea Propuesta				Frecuencia inicial		A realizar por			
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4							
1	A	1	S	N	N	S	N	S					Revisar el sistema de refrigeración y aceite lubricante				Anual	Técnico	
1	A	2	S	N	N	S	N	S					Comprobación del nivel de aceite				Diario	Operador	
1	A	3	S	N	N	S	N	S					Revisión del sistema de lubricación				Anual	Técnico	
1	A	4	S	N	N	S	N	S					Limpiar el filtro de aceite				Anual	Técnico	
1	A	5	S	N	N	S	N	S					Revisar del sistema de lubricación				Anual	Técnico	
1	A	6	S	N	N	S	N	S					Comprobación del nivel de aceite y la presión				Diario	Técnico	
1	B	1	S	N	N	S	N	S					Comprobación del nivel de aceite				Diario	Operador	
1	B	2	S	N	N	S	N	S					Revisión del sistema de lubricación				Anual	Técnico	

HOJA DE TRABAJO DE TRABAJO DE DECISIÓN R.C.M										Elemento: GENERADOR											
										Componente: SISTEMA DE ENFRIAMIENTO											
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tarea "a falta de "				Tarea Propuesta				Frecuencia inicial		A realizar por	
							S1	S2	S3												
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4									
1	A	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado								
1	B	1	S	N	N	S	S						Verificar el nivel del refrigerante ,.Inspeccionar las mangueras para ver si están aplastadas o deterioradas, reemplazar las mangueras deterioradas				Diario		Operario		
1	B	2	S	N	N	S	S						Limpiar el sistema con un limpiador de sistemas de enfriamiento e inunde el sistema para remover los depósitos escamosos.				Anual		Técnico		
2	A	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado								
2	A	2	S	N	N	S	N	N	S				Drene el sistema de enfriamiento y mantener limpio.				Anual		Técnico		
2	B	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado								
3	A	1	S	N	N	S	S						Haga la inspección del termostato según manual del generador.				Anual		Técnico		
4	A	1	S	N	N	S	S						Chequear el hermetismo del sistema de refrigeración				Anual		Técnico		

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN R.C.M		Elemento: SISTEMA DE TRANSFORMACIÓN DE POTENCIA			
		Componente: TRANSFORMADOR DE POTENCIA			
FUNCIÓN	FALLO DE FUNCIÓN	MODO DE FALLA	PROBABLES CAUSAS	EFECTO DE FALLA	
1. Permitir el flujo máximo de potencia con pérdidas no mayores a las de plena carga	A. Pérdidas mayores a las de plena carga	1A1. Fugas a tierra	1.-Aflojamiento de las chapas del núcleo 2. Puntos calientes por alta resistencia de contactos en los conectores del Tap sin carga , bushings , circuitos de control dentro del tablero del transformador , debido a la excesiva vibración	Pérdida del rendimiento del transformador por consiguiente Aumento de la energía consumida por servicios auxiliares Deterioro acelerado de la vida útil Elevación de la temperatura en el medio aislante del transformador , activación de la alarma de máxima temperatura (Lámpara H309) En caso extremo desconexión de los acoplamientos por lo tanto pérdida de una de las fases y salida de servicio del transformador por operación del relé diferencial (Alarma H302 en Tablero de salida))	
2. Transformar la tensión primaria a tensión secundaria(3 fases, 60 Hz balanceada) y mantener dentro del rango aceptable	A. Tensión secundaria fuera del rango tolerable en régimen nominal	2A1. Desperfecto en los terminales del cambiador de Tap's sin tensión	1.- Aflojamiento de las conexiones del cambiador de tap´s sin carga 2.-Maniobra del cambiador de tap´s con carga	Cortocircuito entre distintos pasos de los tap´s, resultando en pequeños arcos, pérdida del material de contactos y altas temperaturas provocando la evaporación del aceite y generación de gases , se activara la alarma del relé Buchholz (Alarma H301 en Tablero de salida)	
	B. Voltaje secundario desbalanceado	2B1. Falla de la conexión del neutro a tierra	1.-Aflojamiento de la conexión del neutro debido a corrosión / oxidación	Queda el punto de neutro flotante que expone el sistema eléctrico a desbalances y sobretensiones. No se detectan fallas a tierra, la cuales pueden pertenecer por tiempo indefinido y causar daños severos. La ausencia de conexión a tierra deja inoperantes las protecciones de tierra y expone al sistema a sobretensiones que puede dañar el aislamiento Tiempo de reparación 4 horas	
3. Permitir la continuidad del servicio del transformador	A. Potencia de salida nula o(voltaje de salida nulo)	3A1. Falla eléctrica interna en devanados por factores eléctricos	1.-Exposición a sobre voltajes debido a rayos o maniobras incorrectas 2.-Descargas parciales las cuales pueden ser causadas por un pobre diseño de aislamiento o por defecto de fabricación 3.-Ingreso de humedad al transformador 4.-Descarga estática generadas cuando se presenta una carga estática entre el aceite y las partes metálicas del transformador 5.-Conexiones flojas en cambiadores de tap´s, los bushings , aflojamiento y excesiva ración del núcleo magnético , arcos internos entre espiras	Se detecta la falla y se activa los sistemas de protección la cual ordena la desconexión mediante el relé (52L) (52H) (Lámpara S21 S22) y bloqueo de la misma que se podrá observara en el tablero de alarmas de salida (Alarma H303 en Tablero de salida), Las fallas son catastróficas y requieren reparaciones mayores , tiempo fuera de servicio para este tipo de modo falla e muy alto	

FUNCIÓN	FALLO DE FUNCIÓN	MODO DE FALLA	PROBABLES CAUSAS	EFECTO DE FALLA
		3A2. Falla eléctrica interna en devanados por factores mecánicos : Transporte o algún movimiento fuerte del transformador	1. Defectos en la instalación	<p>Se presenta una deformación de los bobinados cuando se expone a una excesiva fuerza auxiliar y radial , sus efectos pueden ser:</p> <p>Deformación de los conductores próximos al núcleo ocasionan deformación de aislantes del núcleo</p> <p>Los conductor deformados producen el deterioro del papel aislante resquebrándolo y exponiendo al conductor energizado</p> <p>Falla en el sistema de sujeción de las espiras resultando en la disminución de la capacidad de diseño causando daños eléctricos , es difícil predecir el tiempo de vida útil del transformador ya que este depende de la severidad de la falla , y si se produce esta falla eléctrica la consecuencia es la misma que el modo de falla 3A1</p>
		3A3. Falla eléctrica interna en devanados por factores Térmicos	<p>1. Sobrecarga del transformador por períodos grandes</p> <p>2. Falla en el monitor de la temperatura del transformador</p> <p>3. Operación del transformador en condiciones de sobreexcitación (sobre voltajes o baja frecuencia), este puede causar aislamiento del flujo magnético a un calentamiento severo del aislante o a estructuras cercanas</p> <p>4. Operación del transformador bajo excesivas condiciones de temperatura ambiental</p>	<p>La degradación térmica resulta en las perdidas de las propiedades físicas del aislamiento que debilitara el papel a un punto donde no pueda soportar los esfuerzos mecánicos producidos por la vibración o el movimiento interno del transformador</p> <p>Se detecta una sobre temperatura en el aceite o en el bobinado por medio del monitor de temperatura que envía una señal a la (Alarma H309) y si no se corrige , envía una señal de disparo a los interruptores asociados (Lámpara S20 y S21), por medio del relé (52L) (52H) y bloqueo del mismo (Alarma H303),</p>
		3A4. Falla en los bushings	<p>1. Humedad o contaminación en la superficie y/o terminales de los cables</p> <p>2. Empaques en mal estado o fisuras en la porcelana de los bushings debidos a defectos de fabricación o por excesivos esfuerzos producidos por el peso de los cables</p>	<p>La ubicación de la avería es fuera de los devanados tiempo de reparación 4 horas</p> <p>La falla puede dañar uno o más bushings Tiempo de reparación 12 horas , se requiere empaques para bushings en bodega</p>

FUNCIÓN	FALLO DE FUNCIÓN	MODO DE FALLA	PROBABLES CAUSAS	EFECTO DE FALLA
		<p>3A5. Fugas de aceite dieléctrico atreves del tanque de expansión, rotura de tuberías o tanque de reservorio de aceite</p>	<p>1. Deterioro de los empaques debido a sobrepresiones internas o deterioro natural 2. Aflojamiento de tornillos en juntas o uniones 3. Corrosión u oxidación de los componentes</p>	<p>Si la fuga es incontrolable puede obligar a des energizar el transformador Riesgo de daño del equipo si la parte activa queda al descubierto (arco a tierra) lo que activara las protecciones (Lámpara H6) y se desconectara el transformador (Lámparas S20 (52L) Y S21(52H)) Deterioro de la pintura además riesgo ambiental si la fuga no es contenida Tiempo de reparación 1 día se requiere empaques en bodega</p>
		<p>3A6. Desperfecto u operación incorrecta de dispositivos de protección mecánica del transformador : Elementos ubicados en el Trasformador : -Dispositivo de alivio de presión -Relé Buchholz (Lámpara de alarmas en Tablero de salida H301) -Nivel de aceite , -Monitor de temperatura , -Conexión de cables de control flojas u oxidadas /sulfatadas</p>	<p>1. Contactos de alarmas y/o disparo sulfatados (alta resistencia de contactos) por humedad y contaminación que penetran debido a empaques a mal estado 2.-Conexión de cables de control flojas u oxidadas /sulfatadas 3. Des calibración de los dispositivos de protección</p>	<p>Un dispositivo de protección mecánica se activa y ordena el disparo y desconexión del transformador (Lámparas S20(52L) Y S21(52H)) , Tiempo de reparación 3 día</p>
		<p>3A7. Desperfecto u operación incorrecta de dispositivos de protección eléctrica del transformador ubicada en casa de máquinas sección PC : Equipos -Relé diferencial (Relé 87) (Tablero de Salida Elemento F28) -Disyuntores Relés (89) (Tableros de disyuntores) Código de Equipos (8004)2000516 (8004)2000523 Lámpara H3 H6 en Tablero de salida) -Relé 51L Código de Equipo (8004)2000530 Lámpara S21 S22 en Tablero de salida)</p>	<p>1.-Defecto en la comunicación -Conexión de cables de control flojas u oxidas , -falta de alimentación para los relés -Falla en el sistema de monitoreo (TC's) 2. Des calibración del relé</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Un dispositivo de protección eléctrica se activa erróneamente y ordena el disparo de los interruptores asociados • El transformador se desorganiza

FUNCIÓN	FALLO DE FUNCIÓN	MODO DE FALLA	PROBABLES CAUSAS	EFECTO DE FALLA
		3A8. Apertura del interruptor principal	1. Maniobra errada 2. Baja presión de SF6 3. Defecto en el circuito de control por conexiones de control oxidadas/sulfatadas	<ul style="list-style-type: none"> Se des energiza el transformador Tiempo de reparación 1 día
		3A9. Desperfecto de los transformadores de medición TC's TP´s	1. Circuito secundario de TC's abierto de; o circuitado por falla ;o con conexiones flojas 2. Aflojamiento de las conexiones de alta	<ul style="list-style-type: none"> El relé de sobre corriente se activa y ordena el disparo del interruptor Se des energiza el transformador El tiempo fuera de servicio depende de la capacidad de conseguir un repuesto , trasladarlo y montarlo en la subestación
		3A10. Falla en línea no despejada por el sistema de protección (52L)	1. Desperfecto en el interruptor de línea 2. Defecto en el ajuste en el sistema de protecciones de línea 3. Defecto en el circuito de control por conexiones de control oxidadas/sulfatadas	<ul style="list-style-type: none"> El relé de protección falla y los disyuntores se activan desconectando la barra de generación El transformador se des energiza. El procedimiento ante esta contingencia establece aislar eléctricamente la falla y restituir la continuidad de servicio
4. Operar en un enfoque seguro para el personal y para el resto de las instalaciones cercanas	A. Condiciones de infraestructura que afectan a la seguridad personal o del equipo	4A1. Tablero de salida sin candado o enclavamiento ,letrero de seguridad o advertencia deteriorados ,charco de aceite en el patio de la S/E , alumbrado insuficiente	1 Insuficiente mantenimiento e inspecciones 2. Falta de procedimiento de seguridad industrial	<ul style="list-style-type: none"> Posibles riesgo para el operador que realiza las inspecciones , resultando en choques eléctricos o lesiones varias

HOJA DE TRABAJO DE TRABAJO DE DECISIÓN R.C.M								Elemento: SISTEMA DE TRANSFORMACIÓN DE POTENCIA									
								Componente: TRANSFORMADOR DE POTENCIA									
Referencia de información				Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tarea "a falta de "				Tarea Propuesta	Frecuencia inicial	A realizar por
								S1	S2	S3							
F	FF	MF	C	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4				
1	A	1	1	N				N	N	N	N	N	S	Ningún mantenimiento programado			
1	A	1	2	N				S						Realizar termografía al gabinete , conexiones juntas ,grapas de conexión de alta del transformador ,Verificar que no exista puntos calientes o diferencia de temperatura mayores a los 10 °C entre componentes			
2	A	1	1	N				S						Realizar prueba de reactancia de dispersión para todos los pasos de tap			
2	A	1	2	N				S						Chequeo del bloqueo mecánico del cambiador de tap cuando el transformador esta con carga			
2	B	1	1	S	N	N	S	S						Medir la corriente residual de neutro a tierra y analizar los resultados , Realizar una inspección de termografía para detectar puntos calientes			
3	A	1	1	S	S			S						Inspeccionar visualmente los componentes accesibles de los pararrayos , así como registrar el número de descargas y notificar cualquier anomalía, Realizar pruebas de resistencia de aislamiento y corriente de fuga en pararrayos			
3	A	1	2	S	S			S						Realizar pruebas físico químicas al aceite dieléctrico			
3	A	1	3	S	S			S						Reemplazar silicagel del deshidratador del aire del tanque contenedor del aceite			
3	A	1	4	S	S			N	S					Reajustar y limpiar todas las conexiones a tierra del transformador			
3	A	1	5	S	S			S						Realizar pruebas eléctricas a los bushings a los TC's y TP's			
3	A	2	1	S	S			S						Realizar pruebas de respuesta de frecuencia			
3	A	3	1	S	S			S						Imagen térmica de los TC's			
3	A	3	2	S	S			S						Realizar pruebas de termografía a radiadores verificar diferencial de temperatura Inspeccionar las alarmas de bajo voltaje H327 del Tablero De Salida			
3	A	3	3	S	S			S						Realizar pruebas de físico químicas al aceite dieléctrico			
3	A	3	4	S	S			S						Inspeccionar el tanque conservador			
3	A	3	4	S	S			S						Registrar la temperatura de los devanados , aceite y temperatura ambiental , verificar que la temperatura observada corresponda a la corriente o potencia registrada			
3	A	4	1	S	N	N	S	N	S					Limpieza de la porcelana			
3	A	4	2	S	N	N	S	S						Inspeccionar detalladamente la porcelana y el nivel del aceite de los bushings			
3	A	5	1	S	N	S		N						Realizar pruebas de factor de potencia ,capacitancia ,resistencia de aislamiento ,corriente de fuga ,Realizar pruebas de termografía a los bushings			
3	A	5	1	S	N	S		N						Inspeccionar el nivel de aceite del tanque conservador así como la hermeticidad del tanque ,relé buchholz y uniones en tuberías			

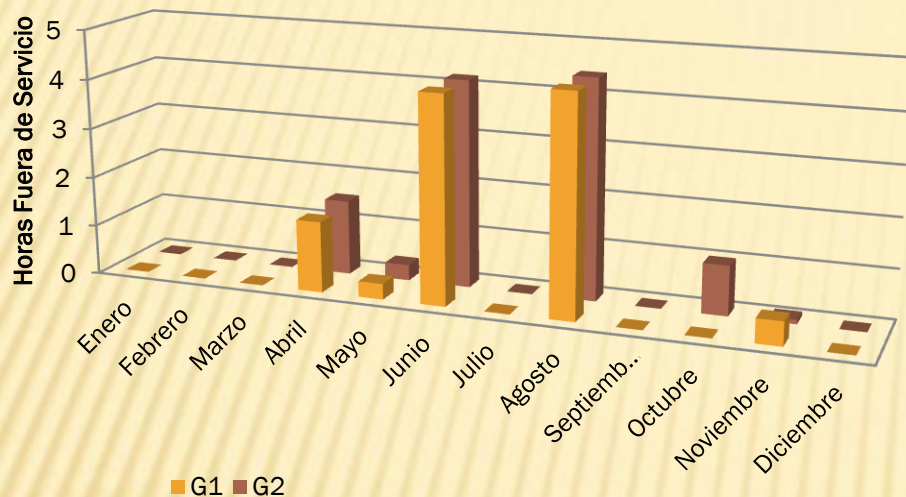
HOJA DE TRABAJO DE TRABAJO DE DECISIÓN R.C.M										Elemento: SISTEMA DE TRANSFORMACIÓN DE POTENCIA													
										Componente: TRANSFORMADOR DE POTENCIA													
Referencia de información				Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tarea "a falta de "					Tarea Propuesta	Frecuencia inicial	A realizar por					
								S1	S2	S3													
F	FF	MF	C	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4										
3	A	5	2	S	N	S	N	N	S					Reajuste total de la estructura del transformador	5 años	Mecánico							
3	A	5	3	S	N	S		S						Remover oxido y pintar elementos metálicos afectados	5 años	Técnico							
3	A	6	1	S	N	N	S	S						Inspeccionar detalladamente todos los dispositivos de protección, borneras, contactos y accesorios. Limpiar contactos borneros, verificar la hermeticidad. Apretar conexiones de cables de control. Efectuar pruebas de funcionales de todos los circuitos de protección y alarma	Anual	Técnico							
3	A	6	2	S	N	N	S	N	N	N	S			Inspeccionar detalladamente todos los dispositivos de protección, borneras, contactos y accesorios. Limpiar contactos borneros, verificar la hermeticidad. Apretar conexiones de cables de control. Efectuar pruebas de funcionales de todos los circuitos de protección y alarma	Anual	Técnico							
3	A	6	3	S	N	N	S	N	S					Calibrar y realizar pruebas funcionales de las protección mecánicas (se aplica) como : indicadores de nivel de aceite ,sondas de temperatura , relé de gas buchholz , dispositivo de alivio de presión	Anual	Ingeniero/ Tecnólogo							
3	A	7	1	S	N	N	S	S						Inspeccionar detalladamente los dispositivos de protección, comunicación ,borneras ,contactos y accesorios .Reajuste de conexionado de puesta a tierra .Verificar la hermeticidad y calefacción del gabinete de salida , Apretar las conexiones de cables de control	10 meses	Ingeniero/ Tecnólogo							
3	A	7	2	S	N	N	S	N	S					Calibrar y realizar pruebas funcionales de las protecciones eléctricas como: relé diferencial , relé de sobre corriente , relé de falla a tierra y circuitos de protección y alarmas	10 meses	Ingeniero/ Tecnólogo							
3	A	8	1	S	N	N	S	N	N	N	N	N	S	Auditoria de proceso y revisión de proceso para la realización de rediseño	10 meses								
3	A	8	2	S	S		S							Inspeccionar el nivel del SF6 de los disyuntores asociados	10 meses	Operador							
3	A	8	3	S	N	N	S	N	S					Prueba de contacto de cierre y apertura de los seccionadores	10 meses	Ingeniero/ Tecnólogo							
3	A	9	1	S	N	N	S	N	S					Termografía al tablero de salida y conexiones de alta tensión	10 mees	Ingeniero/ Tecnólogo							
3	A	9	2	S	N	N	S	S						Registro de corriente de saturación de los TC's y analizar los resultados	10 meses	Ingeniero/ Tecnólogo							
3	A	9	2	S	N	N	S	S						Realizar pruebas de termografía en el conexionado de AT de los TC's	10 meses	Ingeniero/ Tecnólogo							
3	A	10	1	S	N	N	S							Revisión del estado de los contactos de los interruptores conectados a las barra de salida	10 meses	Técnico							
3	A	10	2	S	N	N	S							Realizar estudios periódicos de ajuste de protección asociadas a la línea	10 meses	Ingeniero/ Tecnólogo							
3	A	10	3	S	N	N	S							Chequeo del sistema de control de interruptores	10 meses	Tecnólogo							
4	A	1	1	N				N	S					Inspección y corrección del estado de la infraestructura asociada al transformador extremos del conducto de cables ,canaletas, letrero de advertencia de peligro ,área de contención de agua y aceite derramado ,iluminación	10 meses	Ingeniero/ Tecnólogo							

DISPONIBILIDAD DE LOS GENERADORES

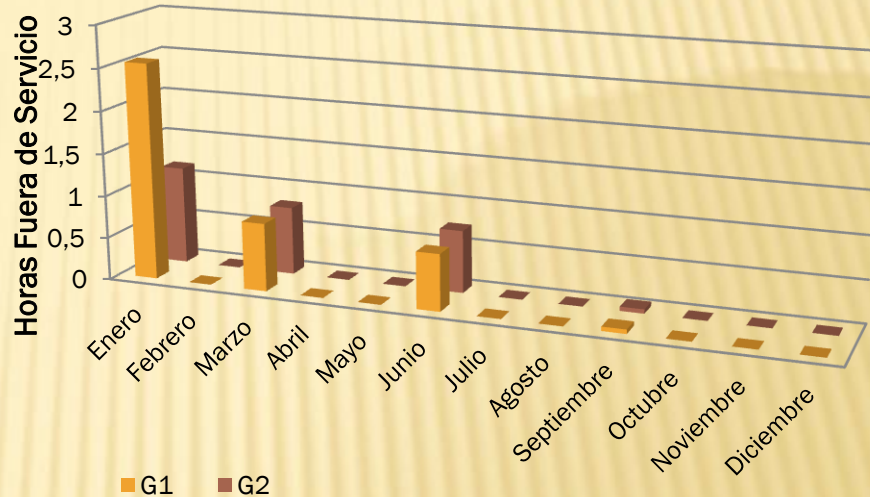
- ✘ A continuación se detalla el tiempo que estuvo el equipo fuera de servicio entre los años 2012 y 2013 en las Figuras siguientes, para lo cual se utilizara la fórmula de disponibilidad de Conelec según la Regulación N°. CONELEC – 002/06

$$\text{Disponibilidad} = \left(1 - \frac{\text{horas de Indisponibilidad}}{8760} \right) * 100$$

Tiempo fuera de servicio por Generador año 2012.



Tiempo fuera de servicio por Generador año 2013.



	G1	G2
2012	99,876 %	99,869 %
2013	99,954 %	99,969 %

TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS (MTBF) O CONFIABILIDAD

- ✘ El MTBF mide el tiempo que transcurre entre una falla y otra en un mismo equipo en un lapso de tiempo establecido,

$$\text{MTBF} = \frac{\text{\#Equipos x Tiempo operativo}}{\text{\#De fallas}}$$

- ✘ En la Central Illuchi N° e esta estadísticas no se han realizado en todo el funcionamiento de la central, y por falta de datos estadísticos específicos fue necesario el MTBF se calculo de manera global para la central con los datos disponibles

EQUIPO	HORAS DE DISPONIBILIDAD		FALLAS		MTBF(horas/falla)	
	2012	2013	2012	2013	2012	2013
G1	8755,2001	8758,883	3	3	2918,400	2919,627
G2	8754,600	8757,916	3	4	2918,2	2189,479

Se utilizo los valores menores de MTBF de G1 del año 2012 y MTBF de G2 del año 2013, ya que así resultara un valor menor entre los intervalos de búsqueda de falla.

INTERVALO DE BÚSQUEDA DE FALLA (FFI)

Este parámetro nos dará la frecuencia de las tareas de búsqueda de falla en los equipos . Se calculo en base al tiempo medio entre fallas (MTBF), y la disponibilidad

$$FFI = 2 \times (100\% - Disp\%) \times MTBF$$

EQUIPÓ	DISPONIBILIDAD DESEADA	MTBF	FFI (%)	FFI(meses)
G1	99,00	2918,40	58,368	14,008
G2	99,00	2189,479175	43,789 6	10,509

LISTA DE ACTIVIDADES EN UN MANTENIMIENTO

Rutina cada 25 años	Realizar las verificaciones del estado del aislamiento de las bobinas mediante las pruebas de resistencia de aislamiento, índice de polarización, prueba de escalón e inspección visual. Cuando esté el rotor retirado realizar prueba de alta tensión DC. Realizar un análisis estadístico.
	Reemplazar silicagel del deshidratador del aire del tanque contenedor del aceite del transformador de la S/E
	Reajuste total de la estructura del transformador
	Remover oxido y pintar elementos metálicos afectados

Verificar estado de soportes de los generadores y en caso de necesidad sustituir.

Realizar limpieza de ductos de ventilación del generador, chapas de ajuste, y barras.

Verificar estado de soportes y puestas a tierra de generadores

Verificar ajuste de tornillos mediante martilleo en su cabeza. En caso de presentar un sonido no sólido aflojar, ajustar el tornillo y aflojar nuevamente y ajustar finalmente

Tomar termografía en puesta de tierra y en caso de existir una temperatura mayor de 5°C programar el ajuste de la unión pernada.

Revisar el sistema de puesta a tierra

Verificar acuña miento por medio de un martillo. Cambiar cuñas que se encuentren sueltas

Realizar medidas de resistencia óhmica de la capa semiconductora longitudinalmente en cada bobina del generador

Realizar limpieza y ajuste de conexiones tanto a la entrada como a la salida de los generadores.

Revisar la alimentación del sistema de refrigeración y aceite lubricante

Limpiar el sistema de enfriamiento e inundar el sistema de refrigeración para remover los depósitos escamosos.

Chequear el hermetismo del sistema de refrigeración de los cojinetes

Realizar prueba de reactancia de dispersión para todos los pasos de tap del transformador de la S/E

Chequeo del bloqueo mecánico del cambiador de tap cuando el transformador de la S/E esta con carga

Medir la corriente residual del neutro a tierra en transformador de la S/E y analizar los resultados , Realizar una inspección de termografía para detectar puntos calientes

Reajustar y limpiar todas las conexiones a tierra en el transformador de la de la S/E

Realizar pruebas eléctricas a los bushings a los TC's y TP's

Limpieza de las porcelanas de la S/E

Inspeccionar el nivel de aceite del tanque conservador así como la hermeticidad del tanque y uniones en tuberías

Inspeccionar detalladamente todos los dispositivos de protección, alarmas, borneras, contactos y accesorios. Limpiar contactos de borneras, Apretar conexiones de cables de control. Efectuar pruebas de funcionales de todos los circuitos de protección

Calibrar y realizar pruebas funcionales de las protección como : indicadores de nivel de aceite ,sondas de temperatura , relé de gas buchholz , dispositivo de alivio de presión

Revisar estado de conexiones eléctricas y cables en el sistemas de protecciones de los generadores

Realizar termografía al gabinete , conexiones juntas ,grapas de conexión de alta del transformador de la S/E ,Verificar que no exista puntos calientes o diferencia e temperatura mayores a los 10 °C entre componentes

Inspeccionar visualmente los componentes accesibles de los pararrayos , así como registrar el número de descargas y notificar cualquier anomalía, Realizar pruebas de resistencia de aislamiento y corriente de fuga en pararrayos

Realizar pruebas físico químicas al aceite dieléctrico en transformador de la de la S/E

Realizar pruebas de Imágenes térmica :

- Al conexionado de AT de los TC's
- a radiadores del transformador de potencial
- bushings del transformador de potencia

Inspeccionar las alarmas de bajo voltaje

Registrar la temperatura de los devanados , aceite y temperatura ambiental , verificar que la temperatura observada corresponda a la corriente o potencia registrada

Inspeccionar detalladamente la porcelana y el nivel del aceite de los bushings del transformador de potencia

Realizar pruebas de factor de potencia ,capacitancia ,resistencia de aislamiento y corriente de fuga al transformador

Inspeccionar detalladamente los dispositivos de protección, comunicación, borneras, contactos y accesorios .Reajuste de conexionado de puesta a tierra , cables de control. Verificar la hermeticidad y calefacción del gabinete de salida.

Calibrar y realizar pruebas funcionales de las protecciones eléctricas como: relé diferencial , relé de sobre corriente , relé de falla a tierra y circuitos de protección y alarmas

Prueba de contacto de cierre y apertura de los seccionadores

Registro de corriente de saturación de los TC's y analizar los resultados

Revisión del estado de los contactos de los interruptores conectados a las barra de salida

Realizar estudios periódicos de ajuste de protección asociadas a la línea

Chequeo del sistema de control de interruptores

Inspeccionar el estado de la infraestructura asociada al transformador extremos del conducto de cables ,canaletas, letrero de advertencia de peligro ,área de contención de agua y aceite derramado e iluminación

RUTINA DIARIA	Inspeccionar filtros de las tapas de cojinetes
	Comprobación del nivel de aceite y la presión del sistema de lubricación
	Verificar el nivel del refrigerante
	Inspeccionar las mangueras para ver si están aplastadas o deterioradas, reemplazar las mangueras deterioradas

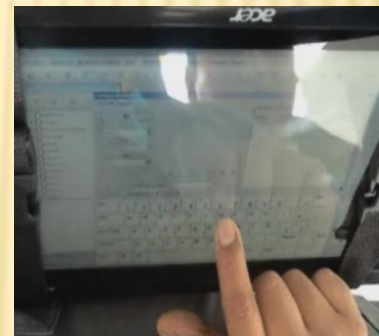
Cada hora mientras la máquina se encuentre detenida	Cuando la unidad se encuentre detenida verificar que el valor de la temperatura del aire frío no se encuentre por debajo de 30 °C ya que puede acumular humedad por causa del medio ambiente, realizar pruebas de termografía
Después de cada mantenimiento	Realizar pruebas al equipo de protección y comprobar su funcionamiento Ejecutar protocolo de entrega de equipos y de herramientas.
Después de cada reparación	Realizar el procedimiento para reparaciones en sitio además procedimiento de operación y entrenamiento para quien realice la tarea

TERMOGRAFÍA



ULTRASONIDO

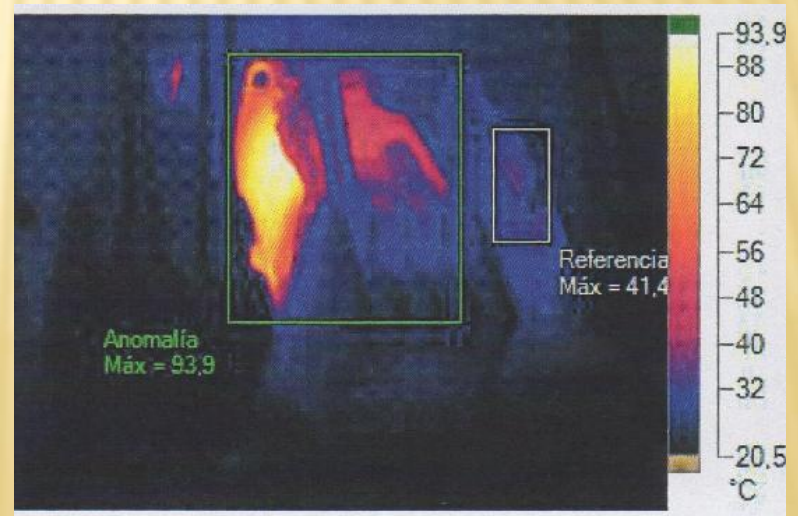
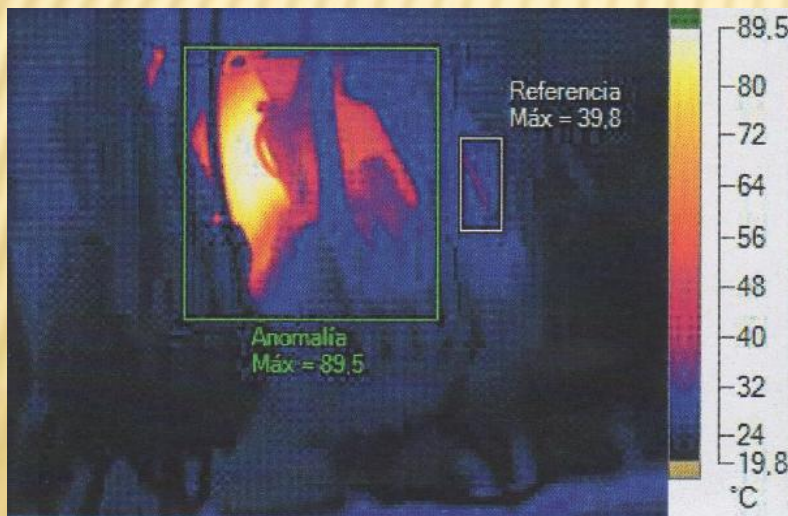
ANÁLISIS DE VIBRACIONES



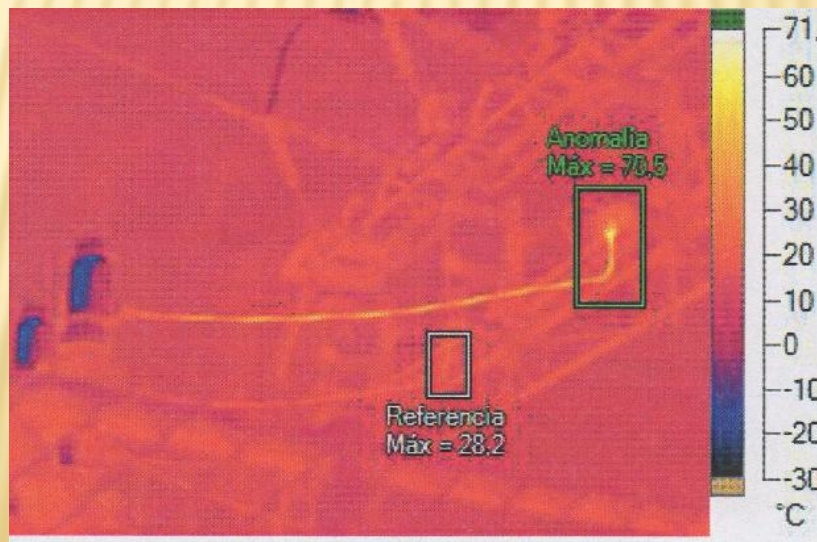
CONCLUSIONES

- ✘ Se ha visto que el plan de mantenimiento propuesto en este trabajo tiene su principal enfoque en buscar los estados de falla posibles en los equipos y minimizar esta búsqueda con el método de análisis de criticidad de activos lo cual resultó que el equipo con más criticidad en la casa de máquinas son los generadores y el transformador de potencia en la S/E y al disminuir esta criticidad se podrá cumplir la función de generar y suministrar energía y así garantizar una alta confiabilidad simplemente previniendo las posibles fallas que se puedan presentar en la central.

- ✘ Al realizar las actividades de mantenimiento RCM propuestas a la central para descubrir posibles causas que pueden provocar falla se descubrieron fallas ocultas que a futuro pueden causar pérdida de la función a los generadores G1 y G2 ya que el contactor K69 y K75 respectivamente se encuentran deteriorados en el tablero de salida de cada uno de estos. Figura 7, y esto causará la no detección y disparo del sistema de protecciones en los generadores en caso de no realizarse el cambio del contactor se deberá realizar el seguimiento respectivo con la hoja de información en el sistema de protección.



- ✘ Se detectó una futura posible falla en una línea a la salida de la subestación lo cual podría causar la no entrega de energía a la S/E calvario ya que no está haciendo un buen contacto al transformador de potencia ya que el terminal de dicha línea se encuentra floja y oxidada



-
- ✘ Las metodologías de gestión de mantenimiento como el RCM, basados en las normas internacionales SAE 1011, entregan una solución integral al manejo de buenas prácticas y procedimientos de mantenimiento que conduzcan hacia la operación óptima, cumpliendo metas y objetivos planteados por la empresa en un ciclo de mejora continua. Las cuales estas alternativas proponen disminuir posibles causas modos y efectos de falla gracias a las hojas de decisión realizadas en el presente trabajo pero hay que tener en cuenta que para realizar estas tareas deberán estar basadas por diversos procesos o normas internacionales estandarizadas
 - ✘ Al realizar este análisis se generó una base de datos con información actual y detallada de todas las fallas que han sucedido y que posiblemente sucedan a los equipos de la central y que se encuentran registradas en el documento RCM, cabe destacar que la idea de un análisis RCM es su retroalimentación ya que no basta con quedarse con el análisis en sí, a medida que vayan sucediendo fallas no consideradas, éstas deben ser incluidas en el análisis junto con su tarea proactiva asociada.

RECOMENDACIONES

- ✘ Se debe brindar cursos de capacitación técnica al personal implicado en el mantenimiento como mínimo cada dos meses para evitar operaciones erróneas en sus maniobras; así también se debe capacitar al personal en lo que se refiere a seguridad personal para que utilicen el equipo de protección adecuado evitando daños operacionales y principalmente personales ya que se debe reducir al mínimo, accidentes sobre el personal.
- ✘ Se deben realizar seguimiento del proceso aplicado por lo menos cada tres meses, con el fin de dar el control a las acciones recomendadas por el Grupo de Trabajo, y así garantizar el cumplimiento de las tareas de mantenimiento propuestas
- ✘ Para las posteriores actividades de mantenimiento se deberán realizar con equipos calibrados y con personal certificado para el manejo de dichos equipos para garantizar lecturas eficientes y un seguimiento adecuado de los activos.
- ✘ Al realizar el documento presente se verifico que no se puede tener un sistema con cero fallas ya que siempre existen condiciones ajenas a la metodología de mantenimiento como se pudo comprobar en los estadísticos de la central ya que por malas condiciones ambientales y operacionales se puede suspender la función de los activos.