



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica

Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica

**Optimización del plan de mantenimiento del sistema de
excitación de los generadores síncronos de la Central
Térmica Fenix**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Electricista

AUTOR

Fernando Alonso GUZMAN GARCIA

ASESOR

Flaviano Juvencio CHAMORRO VALVERDE

Lima, Perú

2023



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Guzman, F. (2023). *Optimización del plan de mantenimiento del sistema de excitación de los generadores síncronos de la Central Térmica Fenix*. [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Fernando Alonso Guzman Garcia
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	71962489
URL de ORCID	No Aplica
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Flaviano Juvencio Chamorro Valverde
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	06995689
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-1270-2379
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Edmundo Picon Llanos
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07564597
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Luis Mark Rudy Ponce Martínez
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08117818
Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.4.6 Gestión
Grupo de investigación	No Aplica
Agencia de financiamiento	No Aplica

Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Central Termica Fenix País: Perú Departamento: Lima Provincia: Cañete Distrito: Chilca Centro poblado: Las Salinas Latitud: -12.5185727
	Longitud: -76.7381488
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Julio 2020 - Setiembre 2020
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería eléctrica, Ingeniería Electrónica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.01 Ingeniería de audio, Análisis de confiabilidad https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.06



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA
Teléfono 619-7000 Anexo 4226
Calle Germán Amezaga 375 – Lima 1 – Perú



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL Nº 080/FIEE-CTGT/2023

Los suscritos Miembros del Jurado, docentes permanentes de las Escuelas Profesionales de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, reunidos en la fecha 25 de agosto del 2023 como Presidente de Jurado el **ING. EDMUNDO PICON LLANOS**, integrado por el Miembro Jurado **MG. LUIS MARK RUDY PONCE MARTÍNEZ**, el Miembro Jurado **MG. DELFIN GENARO SUSANIBAR CELEDONIO** y Miembro Asesor el **ING. FLAVIANO JUVENCIO CHAMORRO VALVERDE**.

Después de escuchar la Sustentación de Trabajo de Suficiencia Profesional del **Bach. FERNANDO ALONSO GUZMAN GARCIA** con código N°14190169 que para optar el Título Profesional de Ingeniero Electricista sustentó el Trabajo de Suficiencia Profesional titulado **OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE EXCITACIÓN DE LOS GENERADORES SÍNCRONOS DE LA CENTRAL TÉRMICA FENIX**.

El jurado examinador procedió a formular las preguntas reglamentarias y, luego de una deliberación en privado, decidió aprobar otorgándole el calificativo **diecisiete (17)**.

Ciudad Universitaria, 25 de agosto del 2023

ING. EDMUNDO PICON LLANOS
Presidente de Jurado

MG. LUIS MARK RUDY PONCE MARTÍNEZ
Miembro Jurado

MG. DELFIN SUSANIBAR CELEDONIO
Miembro de Jurado

ING. FLAVIANO CHAMORRO VALVERDE
Miembro Asesor



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Vicerrectorado de Investigación y Posgrado



CERTIFICADO DE SIMILITUD.

Yo, FLAVIANO JUVENCIO CHAMORRO VALVERDE, en mi condición de asesor acreditado con el Acta de Sustentación de trabajo de Suficiencia Profesional N°080/FIEE-CTGT/2023 del trabajo de suficiencia profesional cuyo título es: ***OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE EXCITACIÓN DE LOS GENERADORES SÍNCRONOS DE LA CENTRAL TÉRMICA FENIX***, presentado por el bachiller **Fernando Alonso Guzmán García**, para optar al título profesional de Ingeniero Electricista, CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de 8% de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del grado correspondiente.

Firma del Asesor

DNI: **06995689**

Nombres y apellidos del asesor:

Ing. Flaviano Juvencio Chamorro Valverde



HUELLA

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi querida madre Carmen, quien siempre me ha apoyado incondicionalmente en cada paso de mi vida y ha sido mi fuente de inspiración y motivación. También quiero expresar mi gratitud a mi familia en general, quienes siempre han estado ahí para mí, apoyándome en cada desafío y celebrando mis logros. A mi enamorada Daniela, mi compañera en esta hermosa etapa de mi vida, gracias por tu amor y paciencia, por apoyarme y motivarme a perseguir mis sueños. Este trabajo es para todos ustedes, quienes han sido mi roca y mi mayor fortaleza. ¡Gracias por estar siempre a mi lado y por apoyarme incondicionalmente!

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han contribuido en la realización de este trabajo. En especial, agradezco a mi ex jefe Alberto Oliva, por su constante apoyo y confianza en mis capacidades, y por brindarme la oportunidad de trabajar en proyectos que me permitieron crecer profesionalmente. También quiero agradecer a mi asesor Flaviano Chamorro, por su invaluable orientación, paciencia y dedicación en guiarme a lo largo de este proceso, compartiendo su conocimiento y experiencia para lograr el éxito de este proyecto. Sin duda, sus aportes han sido fundamentales en el desarrollo de este trabajo.

RESUMEN

Después de una falla a tierra en el sistema de excitación del generador síncrono de 211MVA de la unidad N°1 en julio del 2020, se propuso optimizar el plan de mantenimiento de los sistemas de excitación de los generadores de la central térmica Fenix. En primera instancia, el alcance de este plan no incluía actividades de mantenimiento para el modo de falla ocurrido. Para abordar esta situación, se utilizará la metodología "Optimización de mantenimiento planeado" (PMO) para realizar una revisión completa del plan de mantenimiento tradicional. Se analizará el plan de mantenimiento tradicional y los modos de falla más importantes, incluyendo el modo de falla ocurrido en julio del 2020. Se agregarán actividades de mantenimiento para los modos de falla que no estaban considerados, y se creará un instructivo de mantenimiento detallado. Además, se calcularán los perjuicios económicos que implicaría no implementar el plan de mantenimiento optimizado, que incluye las posibles multas por indisponibilidad y el costo de energía no producida.

Palabras clave: Falla a tierra, modo de falla, optimización del mantenimiento planeado (PMO), Modulo de conversión de potencia (PCM), puentes rectificadores de silicio (SCR's).

ABSTRACT

After a ground fault in the excitation system of the 211MVA synchronous generator unit N°1 in July 2020, it was proposed to optimize the maintenance plan for the excitation systems of the generators at the Fenix thermal power plant. Initially, the scope of this plan did not include maintenance activities for the occurred failure mode. To address this situation, the "Planned Maintenance Optimization" (PMO) methodology will be used to conduct a comprehensive review of the traditional maintenance plan. The traditional maintenance plan and the most important failure modes, including the mode of failure that occurred in July 2020, will be analyzed. Maintenance activities will be added for failure modes that were not previously considered, and a detailed maintenance instruction manual will be created. Additionally, the economic damages that would result from not implementing the optimized maintenance plan, including possible penalties for unavailability and the cost of energy not produced, will be calculated.

Keywords: Ground fault, failure mode, planned maintenance optimization (PMO), Power conversion module (PCM), silicon controlled bridge rectifiers (SCR's).

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	iv
ABSTRACT	v
TABLA DE CONTENIDO	vi
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABLAS	ix
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO II: INFORMACIÓN DEL LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ LA ACTIVIDAD	3
2.1 Institución – Actividad que desarrolla	3
2.2 Periodo de duración de la actividad.	3
2.3 Finalidad y objetivos de la entidad	3
2.4 Razón social	4
2.5 Dirección postal	4
2.6 Correo electrónico del profesional a cargo.	4
CAPITULO III: DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	5
3.1 Organización de la actividad	5
3.2 Finalidad y objetivos de la Actividad.....	6
3.2.1 Finalidad.....	6
3.2.2 Objetivos	6
3.3 Problemática	7
3.3.1 Problema General	7
3.3.2 Problemas Específicos.....	8
3.3.3 Justificación e importancia de la investigación	8
3.4 Metodología.....	9
3.4.1 Bases teóricas.....	10
3.4.2 Marco conceptual.....	12
3.5 Procedimiento	42
3.6 Resultado de la actividad	44
3.6.1 Evaluación del plan de mantenimiento tradicional.....	44
3.6.2 Mejora del plan de mantenimiento de mantenimiento tradicional	46
CAPITULO IV: CONCLUSIONES	48
4.1 Justificación.....	48

4.1.1	Evaluación económica	49
4.2	Descripción de la implementación	51
4.3	Conclusiones	51
CAPITULO V: RECOMENDACIONES		54
CAPITULO VI: BIBLIOGRAFIA		55
CAPITULO VII: ANEXOS		58
Anexo N°1: Plan de mantenimiento tradicional		58
Anexo N°2: Alcance del plan de mantenimiento tradicional en base al instructivo		59
Anexo N°3: Historial de fallas del sistema de excitación de la unidad N°1 antes de optimizar el plan de mantenimiento		61
Anexo N°4: Actividades de mantenimiento del plan de mantenimiento tradicional respecto a sus modos de falla		62
Anexo N°5: Modos de fallas no considerados en el plan de mantenimiento tradicional		64
Anexo N°6: Análisis de los modos de falla respecto a la función y falla funcional		67
Anexo N°7: Análisis de los modos de falla respecto al efecto y tipo de falla		69
Anexo N°8: Análisis de los modos de falla respecto a la consecuencia de falla		71
Anexo N°9: Tareas propuestas de acuerdo al análisis de los modos de falla en base al diagrama de decisión del RCM		73
Anexo N°10: Responsabilidades de cada área con respecto al plan de mantenimiento optimizado		76
Anexo N°11: Plan de mantenimiento optimizado		77
Anexo N°12: Alcance del plan de mantenimiento optimizado		78
Anexo N°13: Comparativa del plan de mantenimiento tradicional vs el optimizado		82
Anexo N°14: Documento digital Plan de mantenimiento tradicional		85
Anexo N°15: Documento digital Plan de mantenimiento optimizado		86
Anexo N°16: Instructivo del plan de mantenimiento tradicional		87
Anexo N°17: Instructivo del plan de mantenimiento optimizado		91
Anexo N°18: Prueba de alarma y disparo del Detector de tierra de campo (FGD)		119
Anexo N°19: Calculo de la sumatoria de la resta del CMPgi del SEIN y el CMgi de la barra Fenix 500		128
		129
Anexo N°20: Datos para cálculo del costo de la energía que se deja de producir tras la falla ocurrida en la unidad N°1		139

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Autoexcitación directa.....	13
Figura 2:	Distribución del compartimento y partes de los sistemas de excitación de los generadores de la central Fenix	14
Figura 3:	Arquitectura del LCI.....	17
Figura 4:	Aislamiento de un motor ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 5:	Resistencia de aislamiento superficial (a) y transversal (b)	19
Figura 6:	Falla línea a tierra	21
Figura 7:	Trayectoria de corriente de fuga.....	22
Figura 8:	Diagrama de decisión RCM	35
Figura 9:	Casos de sanciones de las unidades de generación.....	37
Figura 10:	Ley de costos marginales	41

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1:</i>	Datos para cálculo de la posible multa impuesta por OSINERGMIN.....	49
<i>Tabla 2:</i>	Energía proyectada de la unidad N°1 durante el tiempo que demoro la reparación de la falla.....	50
<i>Tabla 3:</i>	Perjuicios económicos totales	51

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

Solo basarse en la experiencia para definir el alcance y las actividades en los planes de mantenimiento sin consultar las recomendaciones del fabricante además de no contemplar otros agentes externos a la operación de los equipos como las condiciones ambientales, trae consigo posibles fallas a futuro ya que se deja de lado equipos con alto potencial de falla. Una parada no programada por una falla intempestiva en una central térmica de generación puede traer consigo varias multas por indisponibilidad por parte del fiscalizador, así como también pérdidas por dejar de vender energía.

La central térmica Fenix se encuentra ubicada al sur de lima cerca al mar, debido a esta ubicación la humedad es un gran enemigo de los sistemas eléctricos de la planta, ya que pueden influir negativamente en la resistencia de aislamiento de los componentes causando así un falla a tierra, particularmente en el sistema de excitación del generador síncrono de 211MVA de la unidad N°1 se produjo una falla a tierra producto de la humedad, esta falla dio a conocer que el plan de mantenimiento tradicional no contaba con actividades de mantenimiento para este modo de falla así como también no contemplaba los componentes importantes con alto potencial de falla, es por ese motivo que se decidió realizar la optimización del plan de mantenimiento tradicional.

Se realizó la optimización del plan de mantenimiento mediante la metodología Optimización del mantenimiento planeado (PMO) la cual consta de nueve pasos los cuales analizan los modos de fallas y actividades de mantenimiento que se contemplan en el plan de mantenimiento tradicional para posteriormente agregar nuevos modos de fallas de igual importancia y escoger una actividad de mantenimiento adecuada siguiendo los fundamentos del mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM),

como resultados se tendrá al nuevo plan de mantenimiento optimizado, la creación de un nuevo instructivo de mantenimiento, así como también los perjuicios económicos que conlleva no implementar el plan de mantenimiento optimizado.

CAPITULO II: INFORMACIÓN DEL LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ LA ACTIVIDAD

2.1 Institución – Actividad que desarrolla

Central Térmica Fenix, empresa dedicada a la comercialización de la energía eléctrica con una participación del 8% en el mercado de generación.

2.2 Periodo de duración de la actividad.

El periodo de duración de la actividad fue de 03 meses, que comprende desde el mes de julio hasta setiembre del 2020.

2.3 Finalidad y objetivos de la entidad

FENIX S.A es una de las principales empresas de generación y comercialización de la energía eléctrica en el Perú.

Su propósito es proveer de energía a las empresas distribuidoras ya que, de esta manera, estas pueden brindar electricidad a miles de instituciones, comercios y familias peruanas. Asimismo, los clientes libres como empresas industriales, retail y del sector educativo, desarrollan sus procesos de manera eficiente y sostenible.

2.4 Razón social

FENIX S.A. – RUC N° 20509514641

2.5 Dirección postal

Av. Antonio Miró Quesada Nro. 425 Int. 1203, Magdalena del Mar, Lima, Perú.

2.6 Correo electrónico del profesional a cargo.

Supervisor de mantenimiento eléctrico.

Alberto Oliva, aoliva@fenix.com.pe

CAPITULO III: DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

3.1 Organización de la actividad

Para la evaluación y optimización del plan de mantenimiento tradicional se aplicará la metodología de análisis de Optimización de mantenimiento planeado (PMO) la cual se explicará más adelante.

ETAPA 1: EVALUACION DEL PLAN DE MANTENIMIENTO TRADICIONAL:

Se describirá el plan de mantenimiento tradicional, las actividades que incluye y su alcance, así como también como se decidió realizar la optimización de plan de mantenimiento tradicional.

ETAPA 2: MEJORA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO TRADICIONAL

En esta etapa se realizará el análisis de los modos de fallas para los cuales las tareas de mantenimiento del plan tradicional están plasmadas.

Se revisará el historial de fallas del sistema de excitación y se listará la lista de modos de falla faltantes para poder agregarlos.

En esta etapa también se realizará la asignación de estrategias de mantenimiento, preventivas o a condición (predictivas) para los modos de fallas faltantes.

ETAPA 3: CALCULO DE LOS PERJUCIOS ECONOMICOS

En esta etapa se calculará la multa que se hubiera implantado a Fenix si es que no se hubiera implementado el plan de mantenimiento optimizado, así como también lo que la central deja de producir al sistema interconectado tras ocurrida la falla de julio del 2020.

3.2 Finalidad y objetivos de la Actividad

3.2.1 Finalidad

Aumentar la disponibilidad y confiabilidad de la central térmica, así como también evitar los costos por daños al equipamiento luego de una falla y multas impuestas por OSINERGMIN por indisponibilidad.

3.2.2 Objetivos

Objetivo General: Optimizar el plan de mantenimiento tradicional de los sistemas de excitación de los generadores de la central Fenix.

Objetivo Específicos

- Analizar el plan de mantenimiento tradicional y sus variables.
- Diseñar el nuevo plan de mantenimiento optimizado de aplicación en los sistemas de excitación de las tres unidades de generación de la central térmica Fénix, incluyendo las actividades que no se contemplaban en el plan de mantenimiento tradicional y que afectaban el funcionamiento adecuado del sistema de excitación
- Calcular los perjuicios económicos que habría sufrido Fenix si no se desarrolla el plan de mantenimiento optimizado.

3.3 Problemática

3.3.1 Problema General

Desde la perspectiva del mantenimiento eléctrico, la humedad puede representar un gran problema para los sistemas eléctricos de la central térmica Fenix, que se encuentra ubicada cerca del mar. La razón es que la presencia de humedad puede provocar una disminución en la resistencia de aislamiento en los circuitos eléctricos presentes en los sistemas de excitación ya que la humedad al estar presente en la superficie del material aislante se comporta como un conductor elevando la corriente de fuga, además de ello si el material aislante es higroscópico es decir absorben la humedad de manera fácil, la humedad provoca una disminución de la rigidez dieléctrica del aislante lo que se traduce a una disminución de la capacidad para resistir un campo eléctrico lo que puede provocar pequeñas descargas parciales en el interior del aislamiento. Esta caída en la resistencia de aislamiento puede tener consecuencias graves, como la desconexión de las unidades de generación. Por lo tanto, es fundamental que se realicen medidas de mantenimiento preventivo para garantizar el adecuado funcionamiento de los sistemas eléctricos en presencia de humedad. Los sistemas de excitación cuentan en su estructura lugares de difícil acceso los cuales pueden almacenar polvo o residuos remanentes de otros mantenimientos, así como también del mismo ambiente ya que no se encuentran completamente hermetizados.

En base a lo anteriormente mencionado el no contar con un plan de mantenimiento que no contemple mediciones eléctricas para verificar la resistencia de aislamiento en todos los circuitos, así como también inspecciones de esos lugares de difícil acceso, pueden

provocar una falla, así como la falla a tierra ocurrida en julio del 2020 de la unidad N°1, es por esta razón que nace la siguiente interrogante:

¿Cómo se puede disminuir el mantenimiento correctivo de los sistemas de excitación de los generadores de la central Fenix?

3.3.2 Problemas Específicos

- ¿Cuáles son las variables y el alcance del plan de mantenimiento tradicional?
- ¿Cómo mejorar el plan de mantenimiento preventivo del sistema de excitación de los generadores de la central térmica Fenix?
- ¿Cuáles son los perjuicios económicos que causan a Fenix el plan de mantenimiento tradicional?

3.3.3 Justificación e importancia de la investigación

Justificación social:

Cuando una unidad de generación experimenta una falla y sale de servicio, el sistema eléctrico se ve afectado en términos de eficiencia económica. La energía que la unidad inoperante no puede producir debe ser generada por otra unidad, la cual tiene un costo variable superior, lo que implica un incremento en el costo de generación de la misma cantidad de energía. Este costo adicional en última instancia se traslada a los consumidores finales, quienes asumen los costos asociados al aumento de los precios de la energía eléctrica.

Justificación práctica:

Al implementar un plan de mantenimiento óptimo que considere actividades específicas para prevenir los problemas causados por la humedad, tales como mediciones eléctricas en los circuitos eléctricos de los sistemas de excitación de los generadores, puede mejorar significativamente la confiabilidad de estos activos. Esto se traduce en una reducción significativa en la frecuencia de mantenimientos correctivos necesarios para reparar fallas, lo que resulta en una disminución de los costos asociados con las interrupciones no planificadas.

Justificación económica:

La mejora de la confiabilidad y disponibilidad de la central térmica Fenix puede disminuir significativamente los costos asociados con las interrupciones no planificadas del servicio eléctrico. Asimismo, se puede garantizar un suministro constante y confiable de energía eléctrica a los consumidores. Estos costos incluyen las sanciones impuestas por la entidad reguladora OSINERGMIN por la indisponibilidad de las unidades de generación, así como las pérdidas económicas derivadas de la energía no producida o no vendida.

3.4 Metodología

Para optimizar el plan de mantenimiento tradicional, se usará la metodología Optimización del mantenimiento planeado (PMO), la cual es una táctica de mantenimiento amigable para plantas que se encuentran en operación, debido a su fácil aplicación y rapidez en su desarrollo.

3.4.1 Bases teóricas

(Romero Guarín & Soler Rodríguez, 2017) [10], en su tesis de Ingenierías Industriales, titulado “Diseño de un plan de mantenimiento predictivo para los generadores eléctricos de una central hidroeléctrica”.

La tesis tiene como finalidad diseñar un plan de mantenimiento predictivo tomando como referencia las principales fallas y puntos críticos en los generadores, así como también las condiciones ambientales.

Se pudo determinar que los modos de fallas más frecuentes son las vibraciones, la contaminación, falta de lubricante o el uso de lubricante en mal estado, así como también modos de falla relacionadas a la generación, específicamente la pérdida de excitación.

(Pine Tobar, 2019) [6], en su tesis de ingeniero eléctrico mecánico, titulado “Análisis del Plan de Mantenimiento Preventivo para generadores de turbina a gas de hasta 5 MW con base a la norma IEEE std. 67”.

Esta tesis tiene como objetivo mejorar el plan de mantenimiento tradicional a los generadores de 5MW, siguiendo las recomendaciones de la norma IEEE std. 67 y a la NFPA 70B.

Se mejoró el plan incluyendo el término técnico “overhaul” la cual consiste en desmontar toda la máquina para realizarle mantenimiento preventivo y/o correctivo, de las recomendaciones de la norma IEEE std. 67, se incluyó lo que son: inspecciones exhaustivas, registro de pruebas eléctricas, análisis de vibraciones, reemplazo de partes en mal estado, etc. Se puso énfasis también la revisión de las partes más críticas del generador como son las

escobillas, anillos, dispositivos de monitoreo y sistemas de protección del estator y rotor.

Por último, se concluyó que los programas de mantenimiento preventivos optimizan los tiempos y recursos en las empresas e influyen en la productividad de las plantas, además de que las normas eléctricas y de seguridad garantizan la eficiencia de los planes de mantenimiento preventivo de los equipos.

(Ing. Diaz Navas, 2020) [2], en su trabajo de graduación previo para su magistratura, titulado “Optimización del plan de mantenimiento e inventario de repuestos del área eléctrica de la Central Hidroeléctrica Alazán, basado en el análisis de Criticidad y Mantenimiento Centrado en Confiabilidad”.

Este trabajo tiene como objetivo realizar el análisis de criticidad de los activos eléctricos de la central, para luego categorizar los equipos críticos a los cuales se les aplicara la estrategia de mantenimiento centrado en confiabilidad y la estrategia de mantenimiento centrado en repuestos.

Previamente se realizó un análisis de los indicadores de confiabilidad y disponibilidad de la central, lo cual nos indica que hay un déficit de confiabilidad y disponibilidad ya que en el 2018 se planifico una confiabilidad de 99.6% y lo alcanzado fue 82.59% mientras que en la disponibilidad lo planificado era 96.16% y lo alcanzado fue 79.35%.

En los resultados obtenidos se muestra como activo critico al sistema de excitación, que está conformado por la excitatriz y el regulador de voltaje, el autor termina su trabajo indicando que aplicar estas todas metodologías a los activos eléctricos críticos mejoraran la confiabilidad y disponibilidad de la central.

3.4.2 Marco conceptual

3.4.2.1 Sistema de excitación de los Generadores de la central Fenix

“El sistema de excitación es el que suministra la corriente continua que la máquina síncrona necesita para poder funcionar, ya que su inductor es un devanado de corriente continua”. (Rodríguez Pozueta, La máquina síncrona funcionando como alternador aislado, 2015, pág. 11) [9]

El sistema de excitación no sólo debe proporcionar corriente continua al inductor de la máquina síncrona, sino que también debe ser capaz de regular dicha corriente. En efecto, como se estudiará más adelante, un alternador síncrono necesita de un sistema de control de la corriente de excitación que le permita ajustar la tensión alterna a los valores deseados. Este sistema se denomina regulador automático de la tensión (RAT), que en inglés se convierte en automatic voltage regulator (AVR). (Rodríguez Pozueta, La máquina síncrona funcionando como alternador aislado, 2015, pág. 11) [9]

En principio existen varios tipos de sistema de excitación, sin embargo, nos centraremos el sistema de excitación del tipo “Autoexcitación directa” que es con la que trabaja los generadores de la central Fenix.

3.4.2.1.1 Autoexcitación directa

La tensión de excitación de la máquina síncrona se obtiene directamente de la tensión alterna que su inducido genera. Esta tensión alterna se reduce mediante un transformador y se convierte en tensión continua mediante el puente rectificador de silicio (SCR) que conjunto con otros componentes es llamado módulo de

conversión de potencia (PCM), el cual permite regular la corriente de excitación de la máquina síncrona mediante el regulador automático de tensión (AVR). Este es un sistema que presenta una respuesta muy rápida, aunque vuelve a requerir que la máquina síncrona tenga un colector de dos anillos. (Rodríguez Pozueta, La máquina síncrona funcionando como alternador aislado, 2015) [9]

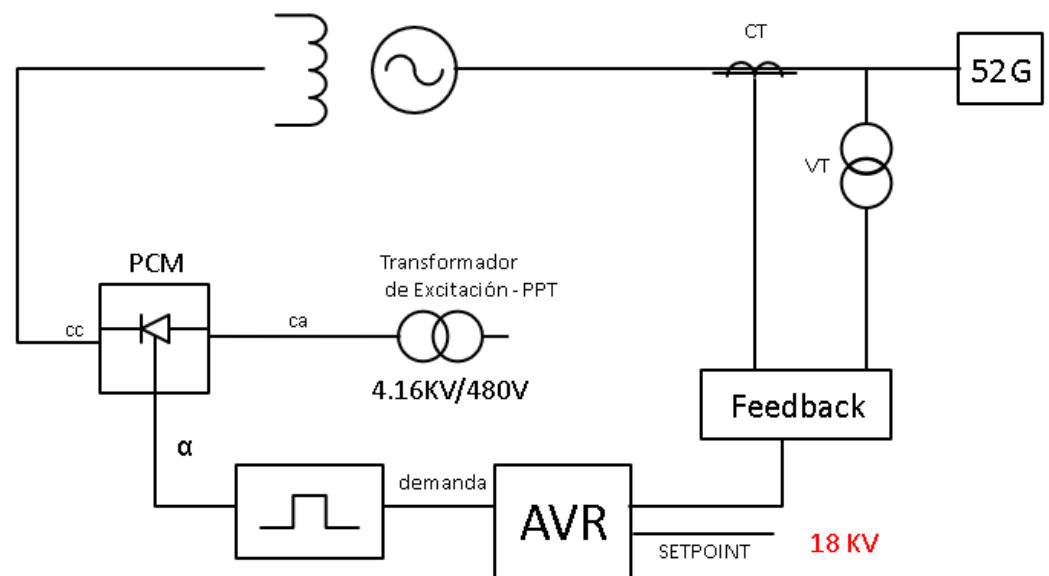


Figura 1: Autoexcitación directa

Fuente: Fenix

3.4.2.1.2 Partes de los sistemas de excitación de los generadores de la central Fenix

El sistema de excitación se encuentra dividido de la siguiente manera:

- Case1: Principalmente en este gabinete se encuentra el interruptor de potencia 1, puente rectificador de silicio 1, protistores, condensadores, contactores DC y los motores ventiladores de refrigeración con sus respectivos interruptores centrífugos.
- Case 2: Este gabinete es de control al igual que el case 4, aquí se encuentran ubicados los controladores y algunas tarjetas electrónicas.
- Case 3: Es similar al case 1.
- Case 4: Al igual que el case 2, este gabinete cuenta con el resto de tarjetas electrónicas, partes del sistema de control, así como también aquí se encuentran los transformadores de los motores de ventilación de los puentes 1 y 2.

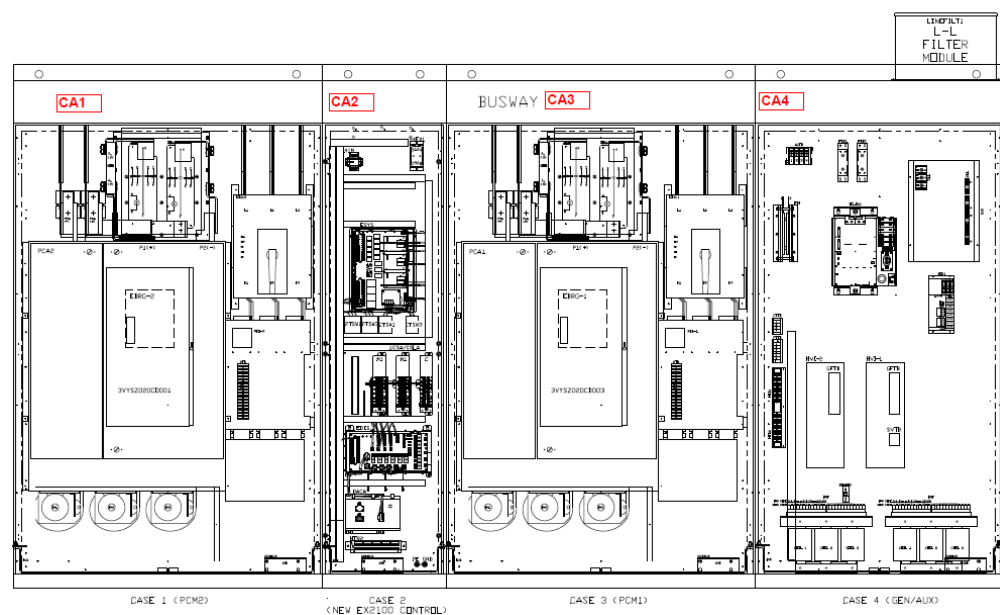


Figura 2: Distribución del compartimento y partes de los sistemas de excitación de los generadores de la central Fenix

Fuente: Fenix

- Módulo de conversión de potencia (PCM)

La función principal es la de convertir la corriente alterna a corriente continua para generar un campo magnético en el devanado del rotor del generador síncrono. El módulo de conversión de potencia (PCM) este compuesto principalmente de los puentes rectificadores de silicio (SCR), que son un tipo de tiristor que en su estado normal bloquean la corriente en ambos sentidos, adicional a ellos están los protistores que son fusibles de protección de los SCR contra sobrecorrientes, condensadores que sirven como componentes limitadores o amortiguadores para los cambios de tensión y corriente en el tiempo, el conjunto de todos estos equipos es también llamado módulo de conversión de potencia (PCM) , los cuales se encuentran ubicados en el case 1 y 3. (Electronics Hub, 2019) [15]

Los puentes rectificadores están conectados a la red mediante interruptor de potencia 1 y 2 los cuales se encargan de proteger a todo el circuito de algún cortocircuito, luego de que la corriente eléctrica haya sido rectificada, los contactores DC conectan la salida de los puentes hacia el electroducto y la caja de conexiones DC para posteriormente alimentar de corriente DC al devanado de campo del generador síncrono, cabe recalcar que los módulos PCM no trabajan en paralelo, siempre trabaja o el PCM 1 ubicado en el case 1 o el 2 que se encuentra en el case 3, quedando el otro como respaldo.

- Regulador automático de tensión (RAT)

Este sistema está compuesto por componentes electrónicos como controladores que se ubican en el case 2, los cuales se encargan de realizar la operación en automático y manual del sistema de regulación de tensión y control de la corriente de campo del generador, así como también de tarjetas electrónicas que se

encuentran en el case 4, que son el complemento para realizar el control de tensión y conversión de señales analógicas a digitales.

El regulador automático de la tensión (RAT) tiene por objetivo mantener la tensión en los bornes del generador, mediante el control de la fuerza electromotriz interna del generador. Para ello se actúa sobre la corriente de excitación del generador. La respuesta de estos elementos de control es bastante rápida, del orden de los segundos. (Universidad de Guanajuato, 2021, párr. 6) [14]

El regulador automático de tensión (AVR) mide la magnitud de la tensión en bornes del generador, valor que es rectificado y filtrado hasta obtener una señal de corriente continua proporcional al valor eficaz original. Esta señal continua V se compara con un valor de referencia, V_{ref} siendo la diferencia entre ambas el error de tensión que después de su amplificación se utiliza como tensión de alimentación de la excitatriz principal del generador y que finalmente se convierte en la tensión de excitación del generador. (Universidad de Guanajuato, 2021, párr. 7) [14]

3.4.2.2 Sistema inversor de carga conmutada (LCI)

El sistema inversor de carga conmutada proporciona valores variables de tensión, frecuencia y corriente al generador. Esta característica es esencial para la función principal del generador como motor de arranque de la turbina.

3.4.2.2.1 Principio de funcionamiento

- El LCI suministra un voltaje al estator del generador para crear un campo magnético rotatorio en el estator.
- El sistema de excitación magnetiza el rotor del generador síncrono.
- El imán rotatorio del estator hace girar el rotor
- La velocidad del campo magnético del estator es ajustable y determina la velocidad del rotor.

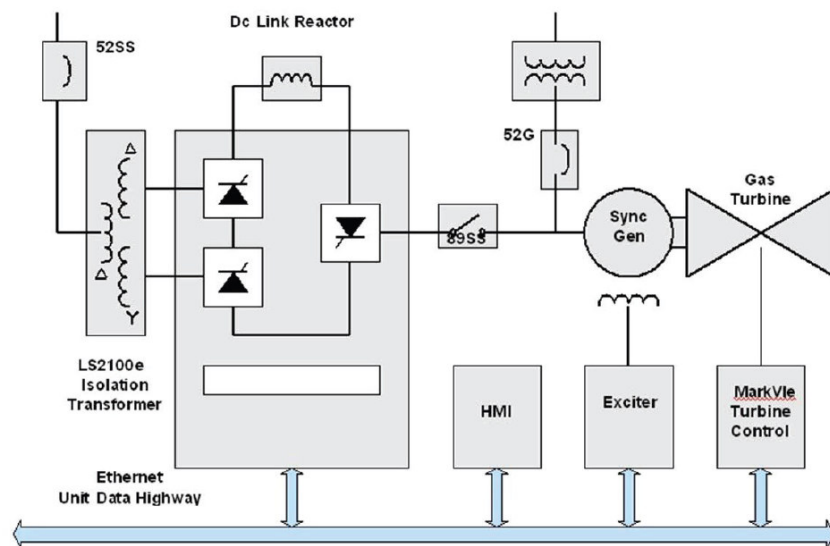


Figura 3: Arquitectura del LCI

Fuente: Fenix

3.4.2.3 Materiales aislantes en sistemas eléctricos

Un aislante eléctrico, también conocido como dieléctrico, es un material que tiene una conductividad eléctrica tan baja que la corriente que pasa por él puede ser despreciada. La corriente que pasa a través de un aislante se llama corriente de fuga, y el único aislante perfecto es el vacío, ya que tiene una conductancia nula y no circulan corrientes de fuga a través de él.

En las máquinas y sistemas eléctricos, se utilizan aislantes para asegurar el aislamiento eléctrico entre los conductores, entre ellos, partes metálicas y carcasas. Sin embargo, estos materiales son imperfectos y tienen una conductancia no nula, aunque tan pequeña que sus corrientes de fuga son despreciables. Debido a su sensibilidad a las solicitudes térmicas, mecánicas y dieléctricas, los aislantes suelen ser la parte más delicada de una máquina eléctrica. (Rodríguez Pozueta, AISLANTES Y CONDUCTORES UTILIZADOS EN LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS, 2015) [8]

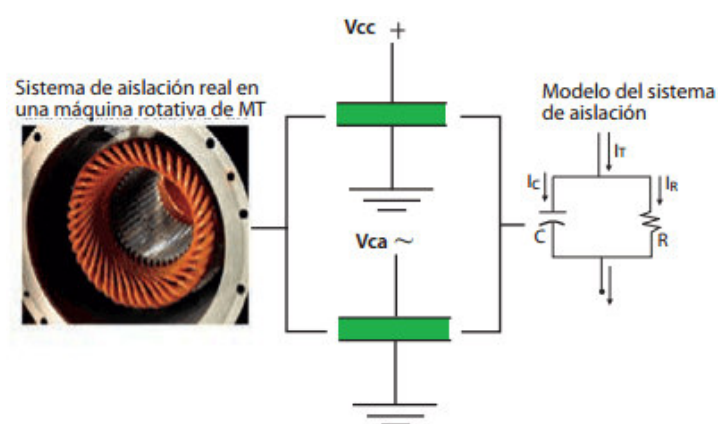


Figura 4: Modelado de un sistema de aislación en máquinas rotativas de MT

Fuente: (Nuñez Mata, 2018)

3.4.2.4 Resistencia de aislamiento

La resistencia de aislamiento de un material aislante es la resistencia que se opone al flujo de la corriente eléctrica, medida en la dirección en la que se debe garantizar el aislamiento. Cuando la corriente eléctrica fluye a través de un aislante, puede seguir dos caminos diferentes: uno por la superficie del material y otro a través de su interior, por lo tanto, la resistencia de aislamiento del material se debe al efecto de estos dos caminos, que están en paralelo. (Rodríguez Pozueta, AISLANTES Y CONDUCTORES UTILIZADOS EN LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS, 2015) [8]

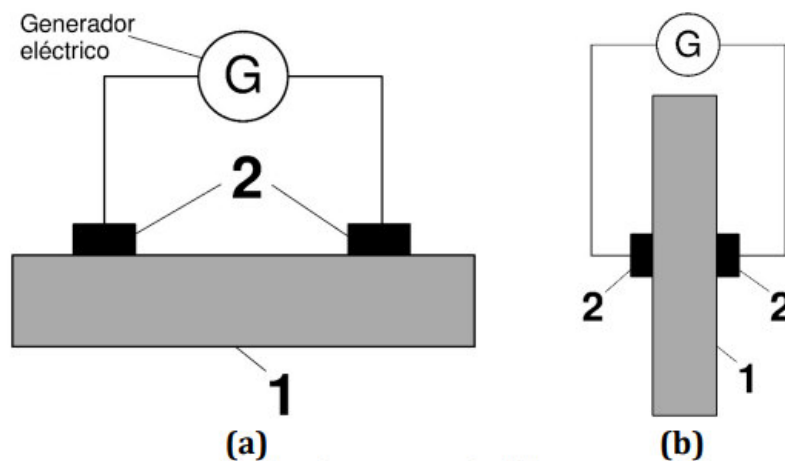


Figura 5: Resistencia de aislamiento superficial (a) y transversal (b)

Fuente: (Rodríguez Pozueta, AISLANTES Y CONDUCTORES UTILIZADOS EN LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS, 2015, pág. 2)

3.4.2.5 Rigidez dieléctrica de un aislante

La rigidez dieléctrica de un aislante se define como la máxima intensidad del campo eléctrico que el material puede soportar sin sufrir perforaciones. Si la intensidad del campo eléctrico dentro del material supera su rigidez dieléctrica, el aislante pierde su capacidad de aislamiento y se convierte en conductor. (Rodríguez Pozueta, AISLANTES Y CONDUCTORES UTILIZADOS EN LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS, 2015) [8]

Cuando hay humedad presente en el aislante, el agua puede actuar como un conductor eléctrico y aumentar la conductividad del material, lo que disminuye su capacidad para resistir un campo eléctrico. Por lo tanto, la presencia de humedad puede disminuir la rigidez dieléctrica de un aislante y aumentar el riesgo de fallas eléctricas en el equipo.

3.4.2.6 Efectos de la humedad en el valor de la resistencia de aislamiento

Aunque la superficie de un material aislante pueda estar limpia, si la temperatura de la aislación es menor que el punto de condensación del aire podría formarse una capa de humedad en la superficie. Esto puede aumentar la corriente de fuga y disminuir la resistividad superficial del material aislante. Este efecto se vuelve más evidente si la superficie del material aislante está contaminada con polvo, aceites, etc o se encuentra deteriorada. Algunos tipos antiguos de materiales aislantes son higroscópicos, lo que significa que tienen la capacidad de absorber agua del aire húmedo circundante. La absorción de humedad en el material aislante aumenta la corriente

de fuga y disminuye significativamente su resistencia de aislamiento.
(Garay Bravo, 2009) [1]

3.4.2.7 *Falla monofásica a tierra*

El tipo de problema más común en los sistemas eléctricos son las fallas monofásicas a tierra, según se muestra en la Figura 5, este tipo de fallas generalmente son menos disruptivas para el sistema donde la magnitud de la corriente de falla depende de la forma en que el sistema esté conectado a tierra y de la impedancia de la trayectoria de retorno a tierra de la corriente de defecto. (Meza Cruz, 2016) [3]

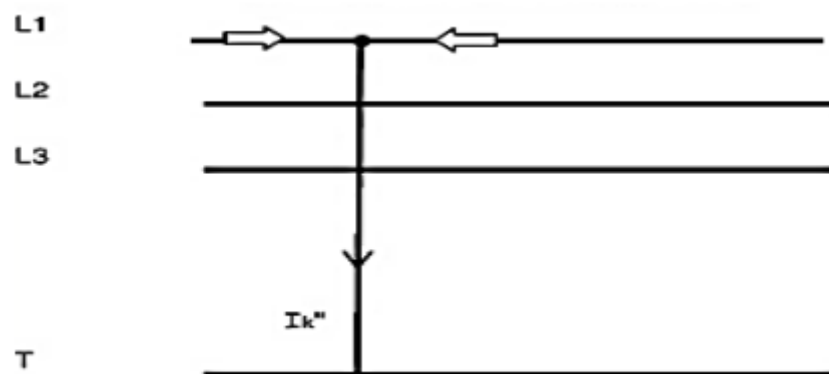


Figura 6: Falla línea a tierra

Fuente: (Meza Cruz, 2016, pág. 30)

3.4.2.8 *Causas de una falla a tierra*

Las fallas a tierra pueden ocurrir de varias maneras, pero las causas más comunes son la pérdida de aislamiento, el daño

físico al aislamiento de un cable o los transitorios excesivos que pueden dañar el aislamiento. Estas fallas pueden ser causadas por factores como la humedad, la contaminación ambiental, el estrés mecánico o el deterioro de la calidad del aislamiento. Si bien algunas de estas situaciones se pueden abordar con un programa de mantenimiento efectivo, siempre existe la posibilidad de falla, especialmente durante la instalación o el mantenimiento del equipo. (Meza Cruz, 2016) [3]

La figura 6 muestra que la corriente de falla a tierra, también conocida como corriente de fuga, siempre regresa a la fuente que la provocó, a través del cable de tierra o alguna forma de menor resistencia, incluso a través de humanos. Si la corriente de falla es muy alta, puede ocasionar daños en el aislamiento del conductor, electrificación o ionización de algunas áreas o equipos, lo que puede resultar en nuevas fallas a tierra debido al aislamiento degradado. (Meza Cruz, 2016) [3]

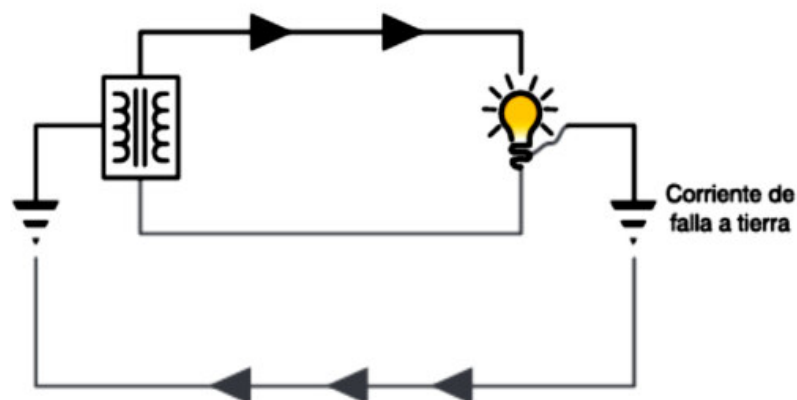


Figura 7: Trayectoria de corriente de fuga

Fuente: (Meza Cruz, 2016, pág. 32)

3.4.2.9 Plan de mantenimiento

Un plan de mantenimiento es un conjunto de intervenciones o acciones preventivas que debemos realizar sobre los equipos o activos de las instalaciones, en base a los procedimientos de mantenimiento de cada clase de activo, para lograr objetivos de disponibilidad, confiabilidad y costo, alargando así la vida útil de los equipos. (Eurofins Envira Ingenieros Asesores, 2021, párr. 2) [16]

3.4.2.9.1 Importancia de realizar un plan de mantenimiento

La realización de un exitoso plan de mantenimiento es clave para anticipar los problemas y averías que puedan surgir en nuestros activos. Toda anticipación implica importantes ahorros en costes y sobre todo evita pérdidas económicas derivadas de una incorrecta gestión del mantenimiento. (Eurofins Envira Ingenieros Asesores, 2021, párr. 4) [16]

Existen muchos beneficios que conllevan tener un buen plan de mantenimiento, los cuales son:

- Reducir el número de acciones correctivas ya que una buena previsión y planificación evitará errores.
- Reducir los costos de mantenimiento, incluidos los costos de materiales y mano de obra.
- Mayor disponibilidad de activos para lograr una mayor rentabilidad en la producción.
- Reducción de los costos de reemplazo de equipos ya que los activos duran más
- Aumentar la productividad de la planta y reducir los costos de tiempo de inactividad.

- Reducción del riesgo de accidentes de trabajo relacionados con fallas en los equipos.
- Evitar sanciones por incumplimiento de las normas de gestión de instalaciones.
- Mayor eficiencia en las áreas de mantenimiento, ya que se organiza y optimiza el trabajo.
- Gestión eficiente de máquinas y herramientas para evitar la escasez de herramientas cuando sea necesario. (Eurofins Envira Ingenieros Asesores, 2021, párr. 8) [16]

3.4.2.10 Tácticas de mantenimiento

(Ponce Mostacero, 2018) [7] en su tesis “Optimización del mantenimiento planeado en una línea de producción de bebidas carbonatadas” nos dice que: una táctica de mantenimiento es la forma como la diferente empresa organiza la ejecución y la administración de este de una forma coherente, lógica y sistemática. Implementar una táctica implica la existencia de normas, leyes, reglas que gobiernan la forma de actuar. Existen diferentes opciones de tácticas, entre ellas sobresalen: Mantenimiento productivo total “TPM”, Mantenimiento centrado en la confiabilidad “RCM”, TPM y RCM combinados, Optimización del mantenimiento planeado “PMO”, proactiva, reactiva, por objetivos y la propia táctica que cada organización construye a través del tiempo. Ninguna es buena, mala o mejor que otra, serán exitosas o no en la medida que logren alcanzar las metas de la compañía de acuerdo con su visión y misión, bajos costos y un grado de desarrollo tecnológico importante. Para nuestro caso utilizaremos la metodología PMO lo cual nos facilitara a la hora de optimizar nuestro plan de mantenimiento.

3.4.2.10.1 Optimización del mantenimiento planeado (PMO)

PMO es un método analítico que ha sido desarrollado para reflejar la lógica de decisión de RCM, pero a diferencia de este, PMO no se usa en la etapa inicial del diseño de activos fijos, es un método desarrollado para operar activos fijos que tiene como propósito arreglar la organización, ya que no permitirá caer en el ciclo de reparación y renovación lleno de arreglos especiales que se volverán permanentes a largo plazo y si ya se encuentra dentro de ello, hará posible el inicio del proceso de salida. (Ponce Mostacero, 2018, págs. 8, 9) [7]

PMO tiene un enfoque analítico que le permite identificar actividades de mantenimiento efectivas y su frecuencia adecuada para cualquier activo, encontrar tareas de mantenimiento por condición en lugar de reparación, realizar modificaciones cuando el mantenimiento preventivo no es adecuado, es un método útil y revolucionario para mejorar la eficacia de los programas y estrategias de servicio, ya que determina qué programas de servicio son útiles y cuáles no. (Ponce Mostacero, 2018, pág. 9) [7]

Ventajas

- Esta metodología no lista todos los modos de falla existentes, solo se concentra en los que tienen más probabilidad de ocurrencia.
- PMO utiliza como base de su metodología la experiencia del personal respecto a las tareas de mantenimiento y el conocimiento que tiene respecto al activo a analizar

- PMO genera rendimientos de una forma rápida. (Ponce Mostacero, 2018) [7]

Desventajas

- La metodología PMO necesita la información de historial de datos de falla para poder generar la lista de modos de falla, es decir se necesita un requerimiento de información histórica. (Ponce Mostacero, 2018) [7]

3.4.2.11 Proceso de implementación del PMO

Para poder implementar este método, se necesita tener claro que equipos o activos son los más críticos, ya que son estos los que impactan más en la organización por su alto nivel de riesgos para el medio ambiente, seguridad, producción, etc, para poder obtener la criticidad de cada equipo se puede revisar la jerarquización de los equipos o ver su prioridad en la programación de trabajos. (Ponce Mostacero, 2018) [7]

El proceso de implementación del PMO cuenta de nueve pasos los cuales son:

Paso 1: Recopilación de tareas

En este paso se investiga las estrategias de mantenimiento que se realizan al equipo, las que son parte del plan de mantenimiento tradicional, es decir las que se han estado realizando desde el inicio de operación de la planta.

Paso 2: Análisis de modo de falla

En este paso se verificará para que modos de falla están plasmadas las tareas de mantenimiento descritas en el plan de mantenimiento tradicional.

Paso 3: Racionalización y revisión del análisis de modos de falla

Luego de que la información este organizado por modos de falla, se agregara los modos de fallas faltantes, los cuales se obtendrán del historial de fallas que se tiene o los que los usuarios crean que no se está considerando.

Paso 4: Análisis Funcional

Aquí se detalla las función o funciones que deja de realizar el equipo tras ocurrir una falla.

Paso 5: Evaluación de competencias

Se analizará cada modo de falla para determinar si son fallas ocultas o evidentes, en el caso sean fallas evidentes, se realizará un análisis de riesgo y consecuencias de falla, para determinar si son consecuencias operacionales, no operacionales, ambientales o de seguridad.

Paso 6: Definición de la política de mantenimiento

Se analizará cada modo de falla con el diagrama de decisiones del Mantenimiento centrado en confiabilidad “RCM”, se establecen aquí las estrategias de mantenimiento, en el caso que las tareas de mantenimiento preventivas no sean las adecuadas se podrá hacer una modificación.

Paso 7: Agrupación y revisión

En este paso se definirá con las áreas interesadas la estrategia más eficiente para gestionar el plan de mantenimiento optimizado, luego de tener las tareas definidas, se realizará la transferencia de responsabilidades de la ejecución del plan de mantenimiento al personal, así como también la creación de documentos respecto al mantenimiento.

Paso 8: Aprobación e implementación

En esta etapa se realiza la presentación de los resultados, el cambio del plan de mantenimiento y su justificación para posteriormente implantarlo.

Paso 9: Programa dinámico

En este paso es donde se realiza la mejora continua del plan de mantenimiento donde el objetivo es minimizar el mantenimiento correctivo y se enfocan los recursos a corregir defectos de diseño o limitaciones de otras partes de la planta. Cabe recalcar que la mejora continua del plan de mantenimiento se dará a largo plazo y se podrá medir el desempeño a futuro.

3.4.2.12 Funciones y parámetros de funcionamiento

(Moubray, 2004) [4] nos indica que las funciones de los activos se dividen en dos categorías:

A) Funciones primarias: las cuales son en primera instancia la razón del porqué de la adquisición del activo. Esta categoría de funciones cubre temas como velocidad, producción, capacidad de almacenaje o carga, calidad de producto y servicio al cliente.

Se pueden reconocer de manera fácil las funciones primarias ya que el nombre de la mayoría de los activos físicos industriales de las empresas está creado en base a su función primaria.

Un ejemplo claro sería la empaquetadora que tiene como función primaria la de empaquetar objetos.

B) Funciones secundarias: Es la que los usuarios esperan que los activos hagan muy aparte de las funciones primarias, están funciones están relacionadas con las áreas de seguridad, control, contención, confort, integridad, estructural, economía, protección, eficiencia operacional, cumplimiento de regulaciones ambientales y hasta de apariencia del activo.

Así mismo se pueden clasificar las funciones de la siguiente manera:

A) Función evidente: “Una función evidente es aquella cuya falla eventual e inevitablemente se hará evidente por si sola a los operadores en circunstancias normales”.

Ejemplo: si se agarrota un cojinete de una bomba única, se pierde la capacidad de bombeo e inevitablemente esta falla se manifestará por si sola a los operadores, tan pronto como cuando suceda la falla o al interrumpirse una función más adelante. (Moubray, 2004, pág. 96) [4]

B) Función oculta: “Una función oculta es aquella cuya falla no se hará evidente a los operarios bajo circunstancias normales, si se produce por si sola”.

Ejemplo: si se tiene dos bombas una en servicio y otra en reserva, la bomba de reserva presenta una falla que no será evidente a los operarios hasta que la bomba en servicio falle. (Moubray, 2004, pág. 97) [4]

3.4.2.13 Falla funcional

(Moubray, 2004) [4] nos menciona en su libro “Mantenimiento centrado en confiabilidad” que una falla funcional es la incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario, además no dice que existen dos tipos de fallas funcionales, las cuales son:

Falla funcional total: Es cuando el activo no puede cumplir en su totalidad su función.

Falla funciona parcial: Es cuando el activo sigue funcionando, pero fuera de los límites admisibles dados por el usuario.

3.4.2.14 Modo de falla

(Moubray, 2004) [4] nos menciona en su libro “Mantenimiento centrado en confiabilidad” que un modo de falla es cualquier evento que causa una falla funcional, además de que al definir cada modo de falla se debe detallar como para posibilitar la selección de una adecuada política de manejo de falla, cabe recalcar que una falla funcional puede tener varios modos de falla.

Se debe tener en cuenta que cuando se listan modos de falla, no debe tratarse de listar todos y cada uno de ellos ignorando la probabilidad de ocurrir que tiene cada uno, en otras palabras, solo se deben ser listados los modos de falla que tienen posibilidades razonables de ocurrir en ese contexto determinado. (Moubray, 2004)

[4]

3.4.2.15 Efectos de falla

Los efectos de falla describen que pasa cuando ocurre un modo de falla. Hay que tener en cuenta que el efecto de falla no es lo mismo que consecuencia de falla, un efecto de falla responde a la pregunta ¿Qué ocurre?, mientras que una consecuencia de falla responde a la pregunta ¿Qué importancia tiene?

Al hacer la descripción del efecto de falla se debe tener en cuenta lo siguiente:

- La evidencia (si la hubiera) de que se ha producido una falla
- Las maneras (si las hubiera) en que la falla supone una amenaza para la seguridad o el medio ambiente.
- Las maneras (si las hubiera) en que afecta a la producción o a las operaciones.
- Los daños físicos (si los hubiera) causados por la falla.
- Que debe hacerse para reparar la falla

Toda esta información es de suma importancia ya que de esta manera será mucho más fácil describir la consecuencia de falla. (Moubray, 2004) [4]

3.4.2.16 Consecuencias de falla

Como se ha mencionado anteriormente los efectos de falla describen ¿Qué sucede cuando ocurre una falla?, mientras que las consecuencias describen como y cuanto importa. Entonces podemos decir que, si podemos reducir los efectos de una falla en términos de frecuencia y/o severidad, estaremos reduciendo sus consecuencias. (Moubray, 2004) [4]

Existen tres tipos de consecuencias de fallas evidentes de importancia decreciente las cuales son:

- Consecuencia para la seguridad y el medio ambiente: Una falla tiene consecuencias para la seguridad si puede lesionar o matar a alguien. Tiene consecuencias para el medio ambiente si puede infringir alguna normativa relativa al medio ambiente de carácter corporativo, regional o nacional.
- Consecuencias operacionales: Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta a la producción o a las operaciones (volumen de producción, calidad de producto, servicio al cliente o costo operacional, además del costo directo de la reparación).
- Consecuencias no operacionales: Las fallas evidentes que caen dentro de esta categoría no afectan ni a la seguridad ni a la producción, de modo que solo involucran el costo directo de la reparación. (Moubray, 2004) [4]

3.4.2.17 Tipos de mantenimiento

3.4.2.17.1 Mantenimiento Proactivo

Es el mantenimiento que se realiza con el fin de evitar fallos o para identificar defectos que se podrían conducir a fallo. Este tipo de mantenimiento incluye las estrategias de mantenimiento preventivo, predictivo y modificativo. (Society for Maintenance and Reliability Professionals , 2011) [12]

3.4.2.17.2 Mantenimiento Reactivo

Es un mantenimiento que se realiza fuera de la programación semanal, que se requiere que se realice inmediatamente debido a las condiciones de los activos y/o requisitos de negocio. Este tipo de

mantenimiento incluye las estrategias de mantenimiento correctivo y modificativo. (Society for Maintenance and Reliability Professionals , 2011) [12]

3.4.2.18 Estrategias de mantenimiento

3.4.2.18.1 Preventivo

Es la estrategia de mantenimiento que se realiza de manera rutinaria, es totalmente planeado y programado, tiene un alcance definido ya que se tiene un objetivo claro de las actividades que se tienen que realizar, así como también de la función del equipo que se quiere controlar.

Este tipo de estrategia es aplicable siempre y cuando la función del equipo que se quiere controlar se comporta de una manera degenerativa a medida que se consume el tiempo, horas de operación, etc. De otra manera, si por ejemplo se ha identificado que cierto modo de falla tiene una ratio de falla constante, es decir que en cualquier momento tienen la misma probabilidad de fallar, este tipo de mantenimiento no tiene sentido, y es necesario encontrar otras alternativas. (SMRP, 2008) [11]

3.4.2.18.2 Predictivo

Esta estrategia de mantenimiento se basa en mediciones y comúnmente es asistido por tecnología, lo que quiere decir que se utilizan herramientas para medir la condición de los equipos, sin interrumpir su operación.

Las mediciones pueden ser periódicas, o continuo. Esta estrategia de mantenimiento está diseñada para monitorear variables e

identificar un problema para que pueda ser planeado, programado, arreglado y eventualmente sea eliminado por completo del equipo, todo bajo una filosofía de costo – efectividad. (SMRP, 2008) [11]

3.4.2.18.3 Modificativo

Es la estrategia de mantenimiento que se realiza en forma de proyecto, sobre todo en organizaciones de mantenimiento altamente proactivas, donde se lleva a cabo mejoras en los sistemas a fin de optimizar el proceso, cuidar el activo y/o proteger a las personas. (SMRP, 2008) [11]

3.4.2.18.4 Correctivo

Este tipo de estrategia puede subdividirse en dos, el correctivo imprevisto y el correctivo “previsto”.

El correctivo imprevisto hace referencia a la reparación de equipos que fallaron de una manera no controlada, no deberían haber fallado. Por lo general, en un ambiente reactivo, el trabajo correctivo no es planeado ni programado, porque nadie espera la falla, sencillamente mandan a alguien a trabajar en el equipo cuando se daña.

Por otro lado, el correctivo previsto hace referencia a cuando estamos aplicando una estrategia de mantenimiento sobre un equipo de “run to failure” (correr a la falla), en este caso, el trabajo correctivo, no tiene una connotación negativa, ya que un estudio ha determinado que reparar el equipo cuando falle por cierto modo de falla es la estrategia más costos efectiva. Este tipo de trabajo correctivo debe planearse y programarse siguiendo los parámetros

de prioridad establecidos dentro de la organización. (SMRP, 2008) [11]

3.4.2.19 Proceso de decisión del RCM

Como se mencionó en el apéndice 3.4.2.4. paso 6, para la definición de la política de mantenimiento se analizará cada modo de falla de acuerdo con el diagrama de decisión del RCM, el cual describiremos a continuación:

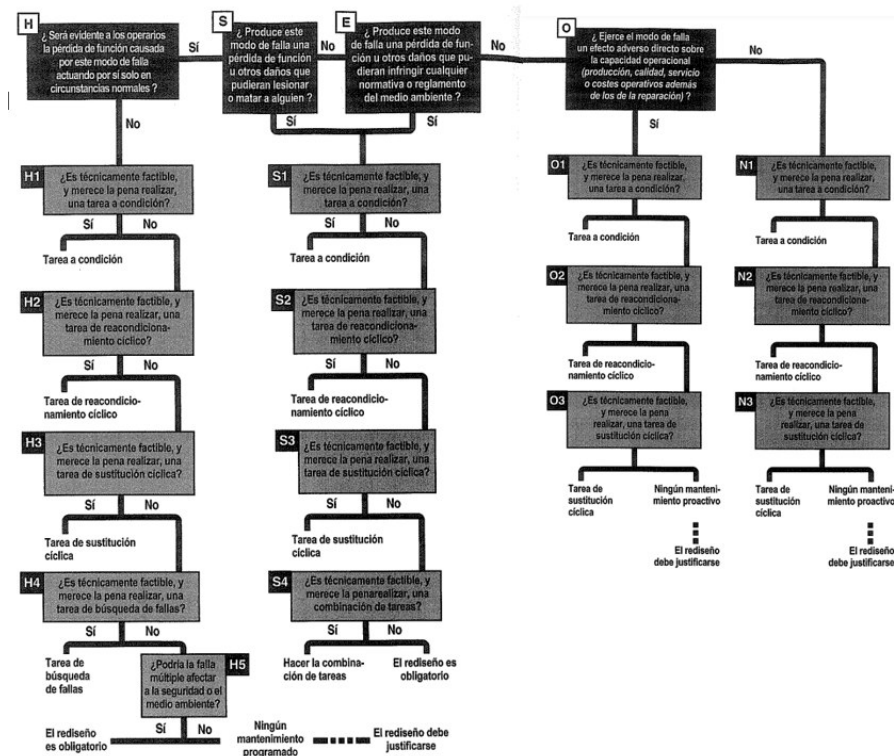


Figura 8: Diagrama de decisión RCM

Fuente: (Moubray, 2004)

Las tareas de mantenimiento a condición son el equivalente a las estrategias de mantenimiento predictivas las cuales han sido descritas anteriormente, a su vez las tareas de reacondicionamiento y sustitución cíclicos son estrategias de mantenimiento preventivas que constan de realizar actividades cíclicas para poder restablecer la capacidad de un activo.

Los intervalos de las tareas de mantenimiento a condición dependen del intervalo P-F que es el intervalo entre el momento en que ocurre una falla potencial y su decaimiento hasta convertirse en una falla funcional, mientras que los intervalos de las tareas de reacondicionamiento cíclico y sustitución dependen de la vida útil del elemento. (Moubray, 2004) [4]

3.4.2.20 Régimen de sanciones por parte de OSINERGMIN

Se debe tener en cuenta que el OSINERGMIN se centrara en dos aspectos importantes a la hora de supervisar las unidades de generación, las cuales son:

- Verificar la disponibilidad de las unidades térmicas a través de pruebas aleatorias.
- Controlar la ejecución de los trabajos de mantenimiento

Los propietarios de las unidades generadoras serán sancionados según las multas y sanciones de OSINERGMIN de acuerdo con lo siguiente: (OSINERGMIN, 2008) [5]

Casos de sanción en el marco del Procedimiento para la Supervisión de la disponibilidad y el estado operativo de las unidades de generación del SEIN	
Para el COES	Para los Titulares de Generación
(1) Cuando no remita la información requerida dentro del plazo y forma establecida o se presente de manera incompleta (2) Cuando no consigne en su página web la información requerida dentro del plazo establecido o se presente de manera incompleta. (3) Cuando su representante no suscriba las actas respectivas.	(1) Cuando la verificación de la prueba aleatoria no haya sido exitosa. (2) Cuando no se encuentre justificado técnicamente el motivo por el cual el mantenimiento programado no se concluyó. (3) Cuando no remita la justificación técnica o se remita fuera del plazo y/o en forma distinta a la establecida en este procedimiento. (4) Cuando exceda del plazo extendido para la actividad de mantenimiento. (5) Cuando no se encuentre disponible la unidad de generación, luego de haber sido convocada por requerimiento del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN). (6) Cuando no permita el ingreso de personal de OSINERGMIN a las instalaciones en donde se ubican las unidades de generación. (7) Cuando su representante no suscriba las actas respectivas.

Figura 9: Casos de sanciones de las unidades de generación

Fuente: Procedimiento N° 316-2005-OS/CD - OSINERGMIN

Para nuestro caso se tomará como objeto de estudio el caso 5 de la Figura 9 de las sanciones impuestas a los titulares de Generación donde la multa es igual a:

$$Multa = CVNC.h.P + \sum_h (CMPg_i - CMg_i) . 0.25.P \quad (1)$$

Donde:

$CVNC$: Costo variable no combustible de la unidad de generación, expresado en Nuevos Soles por MWh.

$CMPg_i$: Costo marginal promedio del SEIN (Sistema Eléctrico Interconectado Nacional) calculado cada quince minutos y aplicado al periodo h.

CMg_i : Costo marginal de la unidad de generación que excedió el plazo cada quince minutos y aplicado al periodo h .

h : Tiempo (en horas) que la unidad tarda en restablecer su disponibilidad.

P : Potencia Efectiva vigente en la unidad de generación (medida en MW).

Nota 1: Si el CMg_i es menor al $CMPg_i$, el sistema no tiene aumento de costo marginal. Por lo tanto, el segundo término de la ecuación de la multa es cero.

Nota 2: Las sanciones se cobrarán en Nuevos Soles y se aplicarán a cada infracción durante el trimestre, aplicándolas de forma acumulativa. (OSINERGMIN, 2008, págs. 20, 21) [5]

3.4.2.21 Costos de energía

3.4.2.21.1 Costo Fijo

Los costos fijos se definen como aquellos que no experimentan cambios en proporción a la variación en la producción. Es decir, son costos que permanecen constantes, independientemente de la cantidad de producción que se genere. (Sumar Gilt, 2009) [13]

3.4.2.21.2 Costo variable

Los costos variables se caracterizan por su dependencia directa respecto a la producción, es decir, varían en función de la cantidad de producción generada. Por ejemplo, la factura del gas consumido será variable, ya que su importe dependerá de la cantidad de unidades de gas quemadas. (Sumar Gilt, 2009) [13]

3.4.2.21.3 Costo total y costo total medio

El costo total se obtiene al sumar el costo fijo y el costo variable. En otras palabras, la suma de los costos que permanecen constantes independientemente de la cantidad de producción y aquellos que varían en proporción a la producción generada, respectivamente, mientras el costo total medio es el costo total medio se calcula al dividir el costo total entre el número de unidades de energía producidas. Es decir, este indicador representa el costo promedio por unidad de producción. (Sumar Gilt, 2009) [13]

3.4.2.21.4 Costo marginal

El costo marginal de la energía eléctrica es un elemento fundamental en la evaluación del mercado eléctrico, ya que proporciona una señal precisa del ajuste entre la oferta y la demanda en el corto plazo. Este indicador refleja el costo de suministrar una unidad adicional de energía eléctrica, es decir, un kilovatio hora (kWh), al sistema eléctrico en relación con la regla de despacho adoptada por cada sistema. (Sumar Gilt, 2009) [13]

$$CMgi = \frac{\Delta CT}{\Delta Q} \quad (2)$$

Donde:

ΔCT : Incremento del costo total

ΔQ : Incremento del producto

3.4.2.21.5 ¿Cuál es el rol de los costos marginales?

Los consumidores de energía eléctrica, incluyendo al Estado, desean pagar lo menos posible a los productores de energía. Sin embargo, el precio más bajo posible no puede ser menor al costo promedio mínimo, ya que esto resultaría en pérdidas para los productores, lo cual no es beneficioso para nadie. Cuando la demanda es de una cantidad específica como Q1, es óptimo que la capacidad de la planta y la tecnología sean ajustadas para que el costo promedio mínimo se logre exactamente al producir Q1. Si los costos promedio son más altos, puede haber un exceso o una insuficiencia de capacidad de producción.

Para prever la tendencia de los costos totales medios, el mercado necesita una señal que puede ser proporcionada por los costos marginales. De acuerdo con la Ley que los regula, los costos marginales son menores que los costos promedio en el segmento en el que los costos disminuyen a medida que aumenta la demanda, y son mayores en el segmento en el que los costos aumentan a medida que aumenta la demanda. Estas relaciones pueden ser comprobadas al observar la Figura 5. (Sumar Gilt, 2009) [13]

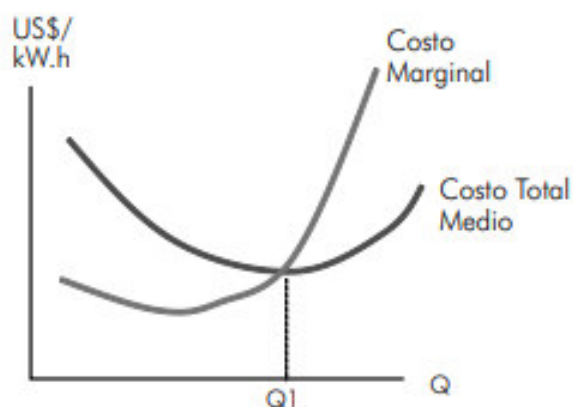


Figura 10: Ley de costos marginales

Fuente: Revista de derecho Administrativo

3.4.2.21.6 Cálculo del costo de la energía

De acuerdo con lo anterior mencionado para el cálculo del costo la energía se usará el costo marginal fijado en la barra de Fénix 500 los cuales según el COES varían cada 30 minutos, multiplicado a la energía proyectada que la central inyectara al sistema, por lo que tenemos lo siguiente:

$$Costo\ energia = \sum_h CMgi * 0.5P \quad (3)$$

Donde:

$CMgi$: Costo marginal fijado en la barra de Fenix 500 cada 30 minutos

h : es el tiempo (en horas) que la unidad tarda en restablecer su disponibilidad.

$0.5P$: Energía proyectada cada 30 minutos durante el tiempo en horas que la unidad estuvo indispueta.

3.5 Procedimiento

Para resolver la problemática planteada, es decir evitar paradas no programadas, reducir el mantenimiento correctivo, multas impuestas por el fiscalizador por indisponibilidad de la central y pérdidas económicas por despacho de energía, se aplicará la metodología optimización del mantenimiento planeado (PMO) el cual consta de nueve pasos los cuales se distribuirán de la siguiente manera:

ETAPA 1: EVALUACION DEL PLAN DE MANTENIMIENTO TRADICIONAL:

Se explicará en que consiste el plan de mantenimiento, así como también se detallara el alcance que tiene este para posteriormente analizar el historial de falla del 2019 y el motivo por el cual se decidió realizar una mejora al plan de mantenimiento tradicional.

ETAPA 2: MEJORA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO TRADICIONAL

En esta etapa se realizará los pasos 1 y 2 de la metodología PMO, se recopilarán las tareas descritas en el plan de mantenimiento tradicional y se listara los modos de fallas para cual estas tareas están hechas, luego se realizará los pasos 3, 4, 5, 6, 7 y 8 de la metodología PMO, se analizará los posibles modos de falla que podrían ocurrir así como también el modo de falla que ocasiono la desconexión de la unidad en julio del 2020, cada modo de falla estará ligado a una función que deja de realizar el sistema de excitación tras ocurrir este modo de falla.

En nuestro análisis también se realizará la división de los tipos de falla, sin son ocultas o evidentes, para poder realizar un análisis de consecuencia de falla, aplicando el diagrama de decisión del Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) así como también con la ayuda del fabricante se determinará las tareas propuestas para los modos de falla faltantes, así como también la evaluación de modificar alguna actividad del plan de mantenimiento tradicional.

Finalmente, luego de diseñar el nuevo plan de mantenimiento se realizará el traspaso de información hacia las áreas involucradas, se definirá las responsabilidades para la aplicación del nuevo plan y también la creación de los instructivos de mantenimiento, también se expondrá la presentación de los resultados, los cambios que se han realizado al plan tradicional, así como también la justificación de estos.

El paso 9 de la metodología se realizará a largo plazo, ya que la mejora continua se podrá aplicar con el tiempo verificando los resultados del plan de mantenimiento optimizado.

ETAPA 3: CALCULO DE LOS PERJUCIOS ECONOMICOS

Se calculará la multa que Fénix habría pagado por indisponibilidad de la unidad, así como también la pérdida económica de la energía que se deja de vender si es que no se implanta un plan de mantenimiento optimizado, para el cálculo de estos valores se tomara como referencia la falla ocurrida en el 2020, este cálculo se presentara en el numeral 4.1.1.

3.6 Resultado de la actividad

3.6.1 Evaluación del plan de mantenimiento tradicional

El plan de mantenimiento tradicional contempla dos sistemas en su alcance, el sistema de excitación y el sistema conmutador de carga invertida (LCI), está compuesta de estrategias de mantenimiento preventivas y predictivas basadas en horas de operación del sistema de excitacion. Ver Anexo N°1

En Julio del 2020 se produjo una falla a tierra en la unidad N°1, la cual conllevó un tiempo de reparación de 120 horas, esta falla fue la detonante para realizar una mejora en el plan de mantenimiento tradicional y replicarlas a las demás unidades de generación, ya que al momento de descubrir el modo de falla se llegó a la conclusión de que el plan de mantenimiento no contemplaba las actividades necesarias para prevenir este modo de falla por lo que se decidió realizar una mejora. Ver Anexo N°3

La justificación de la mejora se explicará en los pasos 1, 2 y 3.

3.6.1.1 Paso 1: Recopilación de tareas

Se recopilará todas las estrategias de mantenimiento descritas en el plan de mantenimiento tradicional, las cuales se han venido aplicando hasta ahora. Ver Anexo N°2

3.6.1.2 Paso 2: Análisis de modo de falla

En este paso se verificará para que modos de falla están plasmadas las tareas de mantenimiento descritas en el plan de mantenimiento tradicional, no se tomara en cuenta los equipos correspondientes al LCI, debido a que para efectos de la optimización del plan de mantenimiento tradicional se independizara el sistema de excitación del sistema conmutador de carga invertida (LCI).

Se tomará en cuenta los modos de falla más importantes, es decir los de probabilidad de ocurrencia más alta, de acuerdo con las sugerencias del fabricante y experiencia del personal de mantenimiento. Ver Anexo N°4

Paso 3: Racionalización y revisión del análisis de modos de falla

Del historial de fallas del Anexo N°3, se agregó el modo de falla de la falla ocurrida en el 2020, así como también posibles modos de falla que puedan ocurrir.

Así mismo durante la falla ocurrida en el julio del 2020, se pudo prever un modo de falla en el detector de tierra de campo o field ground detector (FGD) que sería una falla en el sistema de alarma y disparo del FGD que será considerado para la optimización del plan de mantenimiento. Ver Anexo N°5

3.6.2 Mejora del plan de mantenimiento de mantenimiento tradicional

Paso 4: Análisis Funcional

Se listará los modos de fallas los cuales no tengan una actividad definida en plan de mantenimiento tradicional, así como también las que necesiten ampliar su alcance, se considerara como un solo equipo el sistema AC y DC ya que comparten similares modos de falla. Ver Anexo N°6

Paso 5: Evaluación de competencias

Para determinar si los modos de fallas descritos anteriormente son la causa de una falla oculta o evidente se analizará el efecto que tiene cada modo de falla. Ver Anexo N°7

Debido a que todos los modos de falla son causas de una falla evidente, se realizara el análisis de riesgo y consecuencia de falla. Ver Anexo N°8

Paso 6: Definición de la política de mantenimiento

Se realizará el análisis de los dos modos de falla en base al diagrama de decisiones del Mantenimiento centrado en confiabilidad “RCM” y en conjunto con el fabricante se establecerá las estrategias de mantenimiento más adecuadas, así como también el intervalo de tiempo de ejecución de estas. Ver Anexo N°9

Paso 7: Agrupación y revisión

El plan de mantenimiento optimizado será ejecutado en su totalidad por personal propio y contratista de Fenix del área de mantenimiento

eléctrico y con apoyo del área de mantenimiento de instrumentación y control y Operaciones. Ver Anexo N°10

Se realizo el nuevo documento del plan de mantenimiento optimizado, así como también el instructivo de mantenimiento correspondiente.

Paso 8: Aprobación e implementación

Se presentará los principales cambios realizados al plan de mantenimiento tradicional y su justificación luego de haber sido aprobado por el jefe de mantenimiento. Ver Anexo N°11, 12 y 13

Paso 9: Programa dinámico

En este paso se realizará la mejora continua del plan de mantenimiento por lo que es un trabajo que se realizará a largo plazo, ya que en el futuro después de haber ejecutado varias veces el plan optimizado se podrá comprobar la efectividad del plan en base a las fallas que ocurrirán. El plan de mantenimiento optimizado se implementará a las tres unidades de generación de Fénix ya que cuentan con el mismo modelo de sistema de excitación.

CAPITULO IV: CONCLUSIONES

4.1 Justificación

La optimización del plan de mantenimiento se realizó principalmente debido a la falla a tierra ocurrida en julio del 2020 en la unidad N°1, ya que esta falla dio a conocer que el plan de mantenimiento tradicional no contemplaba actividades de mantenimiento para este modo de falla así como también el alcance de este no se consideraba otros componentes con alto potencial de falla, de esta manera se aumentó la confiabilidad, disponibilidad, se redujo las horas de mantenimiento correctivo, esta mejora beneficio principalmente a Fénix ya que de esta manera se evitaran multas por indisponibilidad a futuro.

4.1.1 Evaluación económica

4.1.1.1 Cálculo de los perjuicios económicos que trae consigo no optimizar el plan de mantenimiento tradicional

Tabla 1: Datos para cálculo de la posible multa impuesta por OSINERGMIN

CVNC (S/. /MWh)	P. Efectiva de la unidad (MW)	$\sum_h (CMP_{gi} - CM_{gi})$ (S/. /MWh)	Tiempo de falla (julio 2020)
11.83	190.2	560.272	120

Fuente: COES

Para el calculo de la multa que se implantaria a Fenix si esque no se aplica el nuevo plan de mantenimiento optimizado, se tomara como ejemplo la falla ocurrida en julio del 2020 la cual trajo consigo 120 horas de indisponibilidad de la unidad de generacion N°1, cabe recalcar que para cuando ocurrio esta falla, debido a la pandemia a causa del covid 19 la demanda de energia no era tan alta por lo que la multa no aplico.

Los datos de la tabla 14 se han extraido del COES, para el calculo de la sumatoria se ha tomado como referencia los costos marginales apartir del 05/07/2020 hasta el 10/05/2020 cada quince minutos, el detalle del calculo de la sumatoria de la resta del costo marginal

promedio del SEIN y el costo marginal de la barra Fenix 500 detallara en el anexo N°19.

Según la ecuacion (1) tenemos lo siguiente:

$$Multa = 11.83 * 120 * 190.2 + 560.272 * 0.25 * 190.2$$

$$Multa = S/ 296,648.9$$

Para el calculo de la energia que se deja de producir se realizara la sumatoria de la multiplicacion de la energia proyectada para cada intervalo de 30 minutos por el costo marginal en la barra de Fenix 500 tambien para cada intervalo de 30 minutos, desde que se desconecto la unidad N°1 hasta que volvio a entrar en operación.

Tabla 2: Energía proyectada de la unidad N°1 durante el tiempo que demoro la reparación de la falla

N° Dias de indisponibilidad de la unidad	Energia proyectada (MWh)
05/07/2020	2110
06/07/2020	0
07/07/2020	2175
08/07/2020	0
09/07/2020	0
10/07/2020	0
Total	4285

Fuente: COES

De acuerdo al cuadro anterior se tiene que los días 05 y 07 se esta previsto que la unidad N°1 realice el despacho de energia por lo que en la tabla del Anexo N°20 se detallaran los calculos

De acuerdo a la tabla anterior el costo de la energia no vendida por Fenix cuando la unidad N°1 salio fuera de servicio por la falla a tierra ocurrida en julio del 2020 es S/ 131,280.88.

Tabla 3: Perjuicios económicos totales

Multa	S/ 296,648.9
Costo de energia no producida	S/ 131,280.88
Total	S/ 428,155.55

Fuente: Elaboracion propia

4.2 Descripción de la implementación

La implementación del plan de mantenimiento optimizado se realizó a partir de agosto del 2020, y se aplicó al mantenimiento anual de la unidad N°2 en el mes de setiembre del 2020.

4.3 Conclusiones

- El plan de mantenimiento optimizado se implementará en las tres unidades de generación de Fenix, unidad N°1, 2 y 3 debido a que son del mismo fabricante y modelo.
- Si bien el plan de mantenimiento tradicional incluía tanto el sistema de excitación como el sistema conmutador de carga

invertida (LCI), al enfocarse en un solo sistema, se puede dedicar más tiempo y recursos para garantizar su correcto funcionamiento. Además, al mejorar la descripción de las

actividades en el plan de mantenimiento optimizado del sistema de excitación, se pueden identificar y resolver los problemas de manera más eficiente. En resumen, la decisión de enfocarse en un solo sistema en el plan de mantenimiento optimizado permitirá una mejor gestión del mantenimiento y una descripción más detallada de las actividades, lo que a su vez puede mejorar la eficiencia y reducir los costos de mantenimiento a largo plazo.

- El alcance de las actividades de mantenimiento para los módulos de conversión de potencia (PCM's) se ha expandido al incluir mediciones eléctricas de los equipos protectores y condensadores. Asimismo, la integración de estas actividades con la tarea destinada a prevenir las fallas a tierra en los circuitos AC y DC resultará en una optimización del tiempo, lo que no se conseguiría si se llevaran a cabo de manera independiente.
- La creación de una actividad de mantenimiento específica para prevenir fallas a tierra es una medida importante que puede ayudar a minimizar el riesgo de fallas y reducir el mantenimiento correctivo en el circuito AC y DC del sistema de excitación lo que mejorara significativamente la eficacia y eficiencia del plan de mantenimiento y ayudar a prevenir pérdidas materiales costosas.
- El "Field ground detector" (FGD) o protector de fallas contra tierra es un equipo importante en la prevención de grandes pérdidas materiales, por lo que es vital que se realicen acciones preventivas para garantizar su correcto

funcionamiento. La inclusión de la actividad de prueba de operación en el plan de mantenimiento es un paso importante

para proteger la inversión y minimizar el riesgo de pérdidas materiales.

- Se amplió el alcance de la primera actividad predictiva del plan de mantenimiento tradicional con el objetivo de detectar posibles fallas antes de que se conviertan en fallas funcionales y puedan afectar la operatividad del sistema de excitación.
- Después de la optimización del plan de mantenimiento, se notó que el Instructivo de mantenimiento del plan de mantenimiento tradicional era poco detallado y carecía de información relevante acerca de las actividades de mantenimiento. Por lo tanto, se tomó la decisión de crear un nuevo instructivo con más detalles que incluye valores de referencia para las mediciones eléctricas e imágenes referenciales que brindan una guía clara de las actividades de mantenimiento. Esto permitirá a los encargados del trabajo realizar las actividades de mantenimiento de manera eficiente.
- La multa propuesta por no implementar el plan de mantenimiento óptimo es alta, lo que indica la importancia de seguir los protocolos adecuados. Además, el costo de la energía no vendida debido a una falla puede tener un impacto significativo en los ingresos de Fenix. Por lo tanto, es importante que Fenix implemente y siga su plan de mantenimiento óptimo para evitar estos costos y garantizar su éxito a largo plazo.

CAPITULO V: RECOMENDACIONES

- Se debe considerar un análisis de datos mediante el uso de software de programación como Python, llevando un historial de las mediciones eléctricas de resistencia de aislamiento de los circuitos AC y DC a fin de analizar el patrón de la evolución de estos valores, para así programar el mantenimiento preventivo en el momento adecuado, lo que puede reducir los costos de mantenimiento a largo plazo y aumentar la confiabilidad.
- Se recomienda a Fenix que invierta en una estrategia de gestión de mantenimiento efectiva y que garantice que su plan de mantenimiento óptimo se siga rigurosamente. Además, es importante que Fenix realice regularmente revisiones de su plan de mantenimiento para asegurarse de que siga siendo eficiente y rentable. Esto permitirá que Fenix reduzca los costos de energía no vendida y optimice sus costos generales de energía, lo que contribuirá a su éxito a largo plazo.
- Evaluar la efectividad del plan optimizado a largo plazo en función de los indicadores de mantenimiento como la confiabilidad, disponibilidad y horas de mantenimiento correctivo vs horas de mantenimiento preventivo. (Sumar Gilt, 2009) [13]
- Establecer un plan de capacitación al personal nuevo a fin de dar a conocer el alcance del nuevo plan de mantenimiento.

CAPITULO VI: BIBLIOGRAFIA

- [1] Garay Bravo, C. A. (2009). RAZON DE ABSORCION DIELECTRICA PARA DIAGNOSTICAR EL ESTADO DE UNA AISLACION. MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL. UNIVERSIDAD DE CHILE, Santiago, Chile. Obtenido de https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103547/garay_c.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- [2] Ing. Diaz Navas, S. R. (2020). OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO E INVENTARIO DE REPUESTOS DEL AREA ELECTRICA DE LA CENTRAL HIDROELECTRICA ALAZAN, BASADO EN EL ANALISIS DE CRITICIDAD Y MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD. Trabajo de graduación previo a la obtención del título de Magíster en Gestion de Mantenimiento. Universidad del Azuay, Cuenca. Obtenido de <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/10534>
- [3] Meza Cruz, L. A. (2016). CONSTRUCCIÓN DE MONITOR DE FALLA A TIERRA PARA SISTEMAS DE C.A. Tesis de Ingenieria Electronica. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MEXICO, TOLUCA, MEXICO. Obtenido de <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/58261>
- [4] Moubray, J. (2004). Mantenimiento centrado en confiabilidad. Carolina del Norte: Ellmann, Sueiro y Asociados. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/174312426/Mantenimiento-Centrado-en-La-Confiabilidad-John-Moubray>
- [5] OSINERGMIN. (2008). Estudio de Multas del Sector Energia Volumen 2. Lima: OSINERGMIN. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/osinergmin/informes->

publicaciones/483430-estudio-de-multas-del-sector-energia-volumen-2-supervision-y-fiscalizacion-en-el-sub-sector-electricidad

- [6] Pine Tobar, W. R. (2019). Analisis del plan de mantenimiento preventivo para generadores de turbina a gas de hasta 5MW con base a la norma IEEE Std. 67. (Tesis de Ingenieria Electrica Mecanica). Universidad Catolica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/12742>
- [7] Ponce Mostacero, A. (2018). OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PLANEADO EN UNA LINEA DE PRODUCCION DE BEBIDAS CARBONATADAS. (Tesis de Ingenieria). Universidad de Piura, Piura. Obtenido de <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/3460>
- [8] Rodríguez Pozueta, M. A. (2015). AISLANTES Y CONDUCTORES UTILIZADOS EN LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS. Cantabria, España: Universidad de Cantabria. Obtenido de <https://personales.unican.es/rodrigma/primer/publicaciones.htm>
- [9] Rodríguez Pozueta, M. A. (2015). La máquina síncrona funcionando como alternador aislado. España: Universidad de Cantabria. Obtenido de <https://personales.unican.es/rodrigma/primer/publicaciones.htm>
- [10] Romero Guarín, A. J., & Soler Rodríguez, L. V. (2017). Diseño de un plan de mantenimiento predictivo para los generadores electricos de una central hidroelectrica. (Tesis de Ingenieria Industrial). Universidad Catolica de colombia, Bogota. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10983/14689>

- [11] SMRP. (2008). Guia de Estudio Revision detallada de contenidos de certificacion. KnAR.
- [12] Society for Maintenance and Reliability Professionals . (2011). SMRP Best Practices 3rd Edition, Maintenance and Reliability body of Knowledge.
- [13] Sumar Gilt, P. (2009). La Ley de costos marginales. Revista De Derecho Administrativo, 4. Obtenido de <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/derechoadministrativo/article/view/13999>
- [14] Universidad de Guanajuato. (22 de Diciembre de 2021). Clase digital 18. Regulación de voltaje y velocidad. Obtenido de Nodo Universitario: <https://blogs.ugto.mx/rea/clase-digital-18-regulacion-de-voltaje-y-velocidad/#:~:text=El%20control%20autom%C3%A1tico%20de%20la,corriente%20de%20excitaci%C3%B3n%20del%20generador.>
- [15] Electronics Hub. (16 de Junio de 2019). SCR Protection. Obtenido de Electronics Hub: <https://www.electronicshub.org/scr-protection/>
- [16] Eurofins Envira Ingenieros Asesores. (27 de Abril de 2021). Cómo crear un plan de mantenimiento preventivo. Obtenido de Actualidad, Noticias: <https://envira.es/es/como-crear-plan-mantenimiento-preventivo/>
- [17] Nuñez Mata, O. (Marzo de 2018). *REVISTA ELECTRO INDUSTRIA*. Obtenido de <https://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=3183&ni=experiencias-practicas-usando-la-prueba-de-tangente-delta-en-maquinas-rotativas>

CAPITULO VII: ANEXOS

Anexo N°1: Plan de mantenimiento tradicional

Item	Actividad de mantenimiento	Trimestral 2000h	Semestral 4000h	Anual 8000h
1	Análisis termográfico	X	X	X
2	Cambio de filtros de aire del sistema de excitación		X	X
3	Mantenimiento del sistema de refrigeración del sistema conmutador de carga invertida (LCI)			X
4	Inspección interna y limpieza de puentes de SCR's			X
5	Verificación de interruptores y transformadores internos de alimentación de ventiladores del sistema de excitación			X
6	Verificación de ventiladores del sistema de excitación			X
7	Verificación de ajuste de pernerías de las barras de fuerza			X
8	Limpieza interna de los gabinetes de control			X
9	Ajuste de bornes y conexiones en general			X

Fuente: Elaboracion Propia

Anexo N°2: Alcance del plan de mantenimiento tradicional en base al instructivo

Item	Actividad de mantenimiento	Alcance
1	Análisis termográfico	Puentes rectificadores controlados de silicio (SCR's) 1 y 2 y puente rectificador controlado de silicio del LCI
2	Cambio de filtros de aire del sistema de excitación	Filtros de aire de los puentes rectificadores de silicio (SCR's) 1 y 2
3	Mantenimiento del sistema de refrigeración del sistema conmutador de carga invertida (LCI)	Motor 1 y 2 del sistema de refrigeración del LCI
4	Inspección interna y limpieza de puentes de SCR's	Puentes rectificadores de silicio (SCR's) 1 y 2 del sistema de excitación, componentes electrónicos de potencia y puente rectificador controlado de silicio del LCI
5	Verificación de interruptores y transformadores internos de alimentación de ventiladores del sistema de excitación	Interruptores de potencia de los puentes rectificadores de silicio 1 y 2 Transformadores 1 y 2 de alimentación de los motores ventiladores de los puentes rectificadores de silicio 1 y 2
6	Verificación de ventiladores del sistema de excitación	6 motores ventiladores de refrigeración de los puentes

		rectificador controlado de silicio 1 y 2
		Interruptores centrífugos asociados a cada motor ventilador
7	Verificación de ajuste de pernerías de las barras de fuerza	Caja de conexiones del circuito AC y DC, conexiones entre el electroducto (bus way) y caja de conexiones
8	Limpieza interna de los gabinetes de control	Tarjetas electrónicas del Case 2 y 4
9	Ajuste de bornes y conexiones	Borneras de interruptores de potencia 1 y 2, contactos de los interruptores centrífugos y borneras de control del case 2 y 4

Fuente: Instructivo de mantenimiento del plan de mantenimiento tradicional

**Anexo N°3: Historial de fallas del sistema de excitación de la
unidad N°1 antes de optimizar el plan de mantenimiento**

Año	Periodo	N° de Fallas	Tiempo entre fallas $TBF_i(\text{hrs})$	Tiempo que demora la reparación $TTR_i(\text{hrs})$	Falla
2019	Jul-19	0	0	0	Sin falla
	Ago-19	0	0	0	
	Set-19	0	0	0	
	Oct-19	0	0	0	
	Nov-19	0	0	0	
	Dic-19	0	0	0	
2020	Ene-20	0	0	0	Sin falla
	Feb-20	0	0	0	
	Mar-20	0	0	0	
	Abr-20	0	0	0	
	May-20	0	0	0	
	Jun-20	0	0	0	
	Jul-20	1	2000	120	Falla a tierra en el circuito AC

Fuente: Fenix

Anexo N°4: Actividades de mantenimiento del plan de mantenimiento tradicional respecto a sus modos de falla

Item	Actividades de mantenimiento	Modos de falla
1	Análisis termográfico	Falso contactos en conexiones de los puentes de tiristores (Rectificadores controlados de silicio 1 y 2)
2	Cambio de filtros de aire del sistema de excitación	Cortocircuitos internos en componentes electrónicos.
3	Inspección interna y limpieza de puentes de SCR's	Sobrecalentamiento de los SCR's Mecanismo de apertura y cierre del interruptor de potencia en mal estado Pérdida de alimentación de una fase a los puentes tiristores por altas temperatura en terminal
4	Verificación de interruptores de potencia 1 y 2 y transformadores internos de alimentación de ventiladores del sistema de excitación	de conexión por falso contacto. Sobrecalentamiento de componentes electrónicos de potencia del sistema de excitación Pérdida de aislamiento en el transformador de alimentación de los ventiladores del sistema de excitación Sobrecalentamiento de componentes electrónicos de potencia del sistema de excitación
5	Verificación de ventiladores del sistema de excitación	Baja resistencia de aislamiento con respecto a tierra de los motores de ventilación Alta resistencia de contacto del interruptor centrifugo
6	Verificación de ajuste de pernerías de las barras de fuerza	Falso contacto en barras de la llegada (caja de conexiones) de la

		alimentación en AC y electroducto (busway)
		Falso contacto en barras de la salida (caja de conexiones) de la alimentación en DC y electroducto (busway)
7	Limpieza interna de los gabinetes de control	Sobrecalentamiento en tarjetas electrónicas del Case 2 y 4 debido a la polución
		Falsos contactos en bornes de los interruptores de potencia 1 y 2
8	Ajuste de bornes y conexiones	Falso contactos en los contactos de los interruptores centrífugos de los motores ventiladores
		Falso contacto en borneras de control del case 2 y 4

Fuente: Elaboracion Propia

Anexo N°5: Modos de fallas no considerados en el plan de mantenimiento tradicional

Item	Modo de falla	Motivo
1	Sistema de alarma y disparo del FGD inoperativos	No cuenta con una actividad
2	Baja resistencia de aislamiento en el sistema AC	No cuenta con una actividad
3	Baja resistencia de aislamiento en el sistema DC	No cuenta con una actividad
4	Falso contacto en bornes de conexión de los contactores DC	Se cuenta con una actividad predictiva Anexo N°4 - Item 1, pero esta no incluye este modo de falla
5	Falso contacto entre el borne de la fase R del interruptor y la barra de alimentación del puente de SCR's.	Solo cuenta con una actividad preventiva Anexo N°4 - Item 8
6	Falso contacto entre las conexiones de fuerza de las barras AC, antes y después del interruptor de potencia 1 y 2	Se cuenta con una actividad predictiva Anexo N°4 - Item 1, pero esta no incluye este modo de falla
7	Falso contacto en caja de bornes de los motores ventiladores	Se cuenta con una actividad predictiva Anexo N°4 - Item 1, pero esta no incluye este modo de falla
8	Sobrecalentamiento de los devanados de los motores	Se cuenta con una actividad predictiva Anexo N°4 - Item 1,

	ventiladores debido a sobretensiones o subtensiones	pero esta no incluye este modo de falla
9	Sobrecalentamiento en los contactos de los interruptores centrífugos de los motores ventiladores	Solo cuenta con una actividad preventiva Anexo N°4 -Item 8 Se cuenta con una actividad predictiva
10	Falso contacto entre las conexiones de fuerza de las barras DC	Anexo N°4 - Item 1, pero esta no incluye este modo de falla Se cuenta con una actividad predictiva
11	Sobrecarga o cortocircuito en tarjetas electrónicas en el Case 2 y 4	Anexo N°4 - Item 1, pero esta no incluye este modo de falla Solo cuenta con una actividad preventiva
12	Falso contactos en bornes de control del Case 2 y 4	Anexo N°4 - Item 8 Se cuenta con una actividad predictiva
13	Falso contactos en bornes de los transformadores de 480/460V de la alimentación de los ventiladores,	Anexo N°4 - Item 1, pero esta no incluye este modo de falla Se cuenta con una actividad predictiva
14	Sobrecalentamiento de los devanados del transformador de 480/460V debido a sobretensiones	Anexo N°4 - Item 1, pero esta no incluye este modo de falla
15	Circuito abierto, cortocircuito o deterioro físico interno de los	No cuenta con una actividad

	capacitores de los módulos de conversión de potencia 1 y 2(PCM's)	
16	Protistores en circuito abierto de los módulos de conversión de potencia (PCM's) 1 y 2	No cuenta con una actividad
17	Sobrecalentamiento de protistores y capacitores	No cuenta con una actividad

Fuente: Elaboracion Propia

Anexo N°6: Análisis de los modos de falla respecto a la función y falla funcional

Equipo	Función	Sub equipo	Función	Falla funcional	Modo de falla
Sistema de excitación		Detector de tierra de campo o de falla a tierra	Dar aviso de alarma a la sala de control tras una caída en la resistencia de aislamiento del circuito DC del sistema de excitación y ordenar disparar el interruptor de potencia que alimenta al puente de rectificadores controlados de silicio (SCR) tras una caída de resistencia de aislamiento del circuito DC, por debajo del valor de alarma.	No proporcionar el aviso de alarma y orden de disparo tras una caída de resistencia de aislamiento del circuito DC del sistema de excitación	Sistema de alarma y disparo del FGD inoperativos
		Circuito AC y DC del sistema de excitación	Proporcionar la corriente alterna necesaria para realizar la rectificación de la corriente mediante el puente de tiristores o rectificadores controlados de silicio (SCR) para la excitación del devanado de campo del generador síncrono	No proporcionar la corriente alterna en su totalidad al puente rectificador de tiristores para que pueda ser inyectada al devanado del rotor del generador síncrono	Baja resistencia de aislamiento en el sistema AC y/o DC Falso contacto entre las conexiones de fuerza de las barras AC, antes y después del interruptor de potencia 1 y 2 Falso contacto entre las conexiones de fuerza de las barras DC Falso contacto en bornes de conexión de los contactores DC
	Proveer de la corriente continua de campo necesaria al devanado del rotor del generador síncrono a fin de crear un campo magnético para la generación de energía eléctrica	Interruptor de potencia 1 y 2	Proteger a los puentes rectificadores de silicio (SCR) 1 y 2 ante un cortocircuito y realizar el corte de energía durante un mantenimiento	No proteger a los puentes rectificadores de silicio (SCR's) 1 y 2 tras un cortocircuito	Falso contacto entre el borne de la fase R de los interruptores de potencia 1 y 2 y la barra de alimentación del puente de SCR's Falso contacto en caja de bornes de los motores ventiladores
		Motores ventiladores del sistema de excitación	Mantener la temperatura adecuada de los puentes rectificadores de silicio (SCR) 1 y 2 mediante el enfriamiento del aire del medio ambiente	No realizar la ventilación adecuada hacia los puentes rectificadores de silicio 1 y 2	Sobrecalentamiento de los devanados de los motores ventiladores debido a sobretensiones o subtensiones Sobrecalentamiento en los contactos de los interruptores centrífugos de los motores ventiladores
		Transformadores de 480/460V para alimentación de los ventiladores	Proporcionar la tensión de necesaria de 460V de operación para el buen funcionamiento de los motores ventiladores.	No proporcionar la tensión necesaria para la alimentación de los motores ventiladores	Falso contactos en bornes de los transformadores de 480/460V de la alimentación de los ventiladores, Sobrecalentamiento de los devanados del transformador de 480/460V debido a sobretensiones
		Tarjetas electrónicas del Case 2 y 4	Conversión de señales analógicas a digitales, así como también sirven de interfaz para la conexión del sistema de control con los componentes del sistema de excitación como los puentes rectificadores de silicio (SCR)	No realizar la conversión de señales analógicas ni de interfaz para la conexión entre el sistema de control y los componentes del sistema de excitación.	Sobrecarga o cortocircuito en tarjetas electrónicas en el Case 2 y 4
					Falso contacto en bornes de control del Case 2 y 4

Módulos de conversión de potencia (PCM's) 1 y 2	Realizar la rectificación de corriente alterna a continua para la excitación del devanado del campo del generador	No realizar la rectificación de corriente alterna a continua	Circuito abierto, cortocircuito o deterioro físico interno de los capacitores de los módulos de conversión de potencia 1 y 2(PCM's) Protistores en circuito abierto de los módulos de conversión de potencia (PCM's) 1 y 2 Sobrecalentamiento de protistores y capacitores
---	---	--	--

Fuente: Elaboracion Propia

Anexo N°7: Análisis de los modos de falla respecto al efecto y tipo de falla

Equipo	Función	Sub equipo	Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla	Tipo de falla
Sistema de excitación	Proveer de la corriente continua de campo necesaria al devanado del rotor del generador síncrono a fin de crear un campo magnético para la generación de energía eléctrica	Detector de tierra de campo o de falla a tierra	Dar aviso de alarma a la sala de control tras una caída en la resistencia de aislamiento del sistema DC del sistema de excitación y ordenar disparar el interruptor de potencia que alimenta al puente de rectificadores controlados de silicio (SCR) tras una caída de resistencia de aislamiento del circuito DC, por debajo del valor de alarma.	No proporcionar el aviso de alarma y orden de disparo tras una caída de resistencia de aislamiento del circuito DC del sistema de excitación	Sistema de alarma y disparo del FGD inoperativos	Cortocircuito en el sistema DC del sistema de excitación	Falla evidente
			Proporcionar la corriente alterna necesaria para realizar la rectificación de la corriente mediante el puente de tiristores o rectificadores controlados de silicio (SCR) para la excitación del devanado de campo del generador síncrono	No proporcionar la corriente alterna en su totalidad al puente rectificador de tiristores para que pueda ser inyectada al devanado del rotor del generador síncrono	Baja resistencia de aislamiento en el sistema AC y/o DC	Activación de alarma por baja resistencia de aislamiento en el centro de control	Falla evidente
					Falso contacto entre las conexiones de fuerza de las barras AC, antes y después del interruptor de potencia 1 y 2	Puntos calientes en las conexiones de fuerza de las barras AC	Falla evidente
					Falso contacto entre las conexiones de fuerza de las barras DC	Puntos calientes en las conexiones de fuerza de las barras DC	Falla evidente
					Falso contacto en bornes de conexión de los contactores DC	Punto caliente en bornes de conexión de los contactores DC	Falla evidente
			Proteger a los puentes rectificadores de silicio (SCR) 1 y 2 ante un cortocircuito y realizar el corte de energía durante un mantenimiento	No proteger a los puentes rectificadores de silicio (SCR's) 1 y 2 tras un cortocircuito	Falso contacto entre el borne de la fase R de los interruptores de potencia 1 y 2 y la barra de alimentación del puente de SCR's	Punto caliente en bornes del interruptor de potencia	Falla evidente
		Motores ventiladores del sistema de excitación	Mantener la temperatura adecuada de los puentes rectificadores de	No realizar la ventilación adecuada hacia los puentes	Falso contacto en caja de bornes de los motores ventiladores	Punto caliente en la conexión en caja de bornes de los motores	Falla evidente

		silicio (SCR) 1 y 2 mediante el enfriamiento del aire del medio ambiente	rectificadores de silicio 1 y 2	Sobrecalentamiento de los devanados de los motores ventiladores debido a sobretensiones o subtensiones	Punto caliente en la carcasa del motor	Falla evidente
				Sobrecalentamiento en los contactos de los interruptores centrífugos de los motores ventiladores	Punto caliente en los contactos de los interruptores centrífugos	Falla evidente
Transformadores de 480/460V para alimentación de los ventiladores		Proporcionar la tensión de 460V necesaria de operación para el buen funcionamiento de los motores ventiladores.	No proporcionar la tensión necesaria para la alimentación de los motores ventiladores	Falso contactos en bornes de los transformadores de 480/460V de la alimentación de los ventiladores, Sobrecalentamiento de los devanados del transformador de 480/460V debido a sobretensiones	Punto caliente en la conexión en caja de bornes del transformador	Falla evidente
Tarjetas electrónicas del Case 2 y 4		Conversión de señales analógicas a digitales, así como también sirven de interfaz para la conexión del sistema de control con los componentes del sistema de excitación como los puentes rectificadores de silicio (SCR)	No realizar la conversión de señales analógicas ni de interfaz para la conexión entre el sistema de control y los componentes del sistema de excitación.	Sobrecarga o cortocircuito en tarjetas electrónicas en el Case 2 y 4	Punto caliente en las pistas de las tarjetas electrónicas y/o componentes electrónicos	Falla evidente
				Falso contacto en bornes de control del Case 2 y 4	Punto caliente en bornes de control del Case 2 y 4	Falla evidente
Módulos de conversión de potencia (PCM's) 1 y 2		Realizar la rectificación de corriente alterna a continua para la excitación del devanado del campo del generador	No realizar la rectificación de corriente alterna a continua	Circuito abierto, cortocircuito o deterioro fisco interno de los capacitores de los módulos de conversión de potencia 1 y 2(PCM's)	Prostistores fundidos, cambio en el valor de capacitancia, activación de alarma por falla en el módulo de potencia	Falla evidente
				Prostistores en circuito abierto de los módulos de conversión de potencia (PCM's) 1 y 2	Activación de alarma por falla en el módulo de potencia	Falla evidente
				Sobrecalentamiento de protistores y capacitores	Temperatura elevada en los PCM's	Falla evidente

Fuente: Elaboracion Propia

Anexo N°8: Análisis de los modos de falla respecto a la consecuencia de falla

Equipo	Función	Sub equipo	Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla	Consecuencia de falla
Sistema de excitación	Proveer de la corriente continua de campo necesaria al devanado del rotor del generador síncrono a fin de crear un campo magnético para la generación de energía eléctrica	Detector de tierra de campo o de falla a tierra	1 Dar aviso de alarma a la sala de control tras una caída en la resistencia de aislamiento del sistema DC del sistema de excitación y ordenar disparar el interruptor de potencia que alimenta al puente de rectificadores controlados de silicio (SCR) tras una caída de resistencia de aislamiento del sistema DC, por debajo del valor de alarma.	No proporcionar el aviso de alarma y orden de disparo tras una caída de resistencia de aislamiento del circuito DC del sistema de excitación	1 Sistema de alarma y disparo del FGD inoperativos	Cortocircuito en el sistema DC del sistema de excitación	Operacional
		Sistema AC y DC del sistema de excitación	2 Proporcionar la corriente alterna necesaria para realizar la rectificación de la corriente mediante el puente de tiristores o rectificadores controlados de silicio (SCR) para la excitación del devanado de campo del generador síncrono	No proporcionar la corriente alterna en su totalidad al puente rectificador de tiristores para que pueda ser inyectada al devanado del rotor del generador síncrono	1 Baja resistencia de aislamiento en el sistema AC y/o DC	Activación de alarma por baja resistencia de aislamiento en el centro de control	Operacional
					2 Falso contacto entre las conexiones de fuerza de las barras AC, antes y después del interruptor de potencia 1 y 2	Puntos calientes en las conexiones de fuerza de las barras AC	Operacional
					3 Falso contacto entre las conexiones de fuerza de las barras DC	Puntos calientes en las conexiones de fuerza de las barras DC	Operacional
					4 Falso contacto en bornes de conexión de los contactores DC	Punto caliente en bornes de conexión de los contactores DC	Operacional
		Interruptor de potencia 1 y 2	3 Proteger a los puentes rectificadores de silicio (SCR) 1 y 2 ante un cortocircuito y realizar el corte de energía durante un mantenimiento	No proteger a los puentes rectificadores de silicio (SCR's) 1 y 2 tras un cortocircuito	1 Falso contacto entre el borne de la fase R de los interruptores de potencia 1 y 2 y la barra de alimentación del puente de SCR's	Punto caliente en bornes del interruptor de potencia	Operacional
		Motores ventiladores del sistema de excitación	4 Mantener la temperatura adecuada de los puentes	No realizar la ventilación adecuada hacia los	1 Falso contacto en caja de bornes de los motores ventiladores	Punto caliente en la conexión en caja de	Operacional

		rectificadores de silicio (SCR) 1 y 2 mediante el enfriamiento del aire del medio ambiente		puentes rectificadores de silicio 1 y 2		Sobrecalentamiento de los devanados de los motores ventiladores debido a sobretensiones o subtensiones		bornes de los motores		Punto caliente en la carcasa del motor	Operacional
							2				
						Sobrecalentamiento en los contactos de los interruptores centrífugos de los motores ventiladores	3			Punto caliente en los contactos de los interruptores centrífugos	Operacional
						Falso contactos en bornes de los transformadores de 480/460V de la alimentación de los ventiladores,	1			Punto caliente en la conexión en caja de bornes del transformador	Operacional
						Sobrecalentamiento de los devanados del transformador de 480/460V debido a sobretensiones	2			Punto caliente en la parte activa del transformador	Operacional
						Sobrecarga o cortocircuito en tarjetas electrónicas en el Case 4	1			Punto caliente en las pistas de las tarjetas electrónicas y/o componentes electrónicos	Operacional
						Falso contacto en bornes de control del Case 2 y 4	2			Punto caliente en bornes de control del Case 2 y 4	Operacional
						Circuito abierto, o deterioro físico interno de los capacitores de los módulos de conversión de potencia 1 y 2(PCM's)	1			Prostistores fundidos, cambio en el valor de capacitancia, activación de alarma por falla en el módulo de potencia	Operacional
						Prostistores en circuito abierto de los módulos de conversión de potencia (PCM's) 1 y 2	2			Activación de alarma por falla en el módulo de potencia	Operacional
						Sobrecalentamiento de protistores y capacitores	3			Temperatura elevada en los PCM's	Operacional
Transformadores de 480/460V para alimentación de los ventiladores	5	Proporcionar la tensión de necesaria de 460V de operación para el buen funcionamiento de los motores ventiladores.	A	No proporcionar la tensión necesaria para la alimentación de los motores ventiladores							
Tarjetas electrónicas del Case 2 y 4	6	Conversión de señales analógicas a digitales, así como también sirven de interfaz para la conexión del sistema de control con los componentes del sistema de excitación como los puentes rectificadores de silicio (SCR)	A	No realizar la conversión de señales analógicas ni de interfaz para la conexión entre el sistema de control y los componentes del sistema de excitación							
Módulos de conversión de potencia (PCM's) 1 y 2	7	Realizar la rectificación de corriente alterna a continua para la excitación del devanado del campo del generador	A	No realizar la rectificación de corriente alterna a continua							

Fuente: Elaboracion Propia

Anexo N°9: Tareas propuestas de acuerdo con el análisis de los modos de falla en base al diagrama de decisión del RCM

Referencia de información			Evaluación de consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a falta de			Tarea propuesta	Intervalo inicial	A realizarse por
F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4			
1	A	1	S	N	N	S	N	S					Realizar la prueba de alarma y disparo del Detector de tierra de campo o falla a tierra	Anual	Ingeniero electricista o supervisor electricista
2	A	1	S	N	N	S	N	S					Inspección, limpieza, medición de aislamiento de los circuitos AC y DC	Anual	3 técnicos electricistas e Ingeniero electricista o supervisor electricista
2	A	2	S	N	N	S	S						Inspección termográfica	Trimestral	1 técnico electricista
2	A	3	S	N	N	S	S						Inspección termográfica	Trimestral	1 técnico electricista
2	A	4	S	N	N	S	S						Inspección termográfica	Trimestral	1 técnico electricista
3	A	1	S	N	N	S	S						Inspección termográfica	Trimestral	1 técnico electricista
4	A	1	S	N	N	S	S						Inspección termográfica	Trimestral	1 técnico electricista
4	A	2	S	N	N	S	S						Inspección termográfica	Trimestral	1 técnico electricista
4	A	3	S	N	N	S	S						Inspección termográfica	Trimestral	1 técnico electricista
5	A	1	S	N	N	S	S						Inspección termográfica	Trimestral	1 técnico electricista

5	A	2	S	N	N	S	S	Inspección termográfica	Trimestral	1 técnico electricista
6	A	1	S	N	N	S	S	Inspección termográfica	Trimestral	1 técnico electricista
6	A	2	S	N	N	S	S	Inspección termográfica	Trimestral	1 técnico electricista
7	A	1	S	N	N	S	N	Medición de capacitancia de los condensadores de los módulos de conversión de potencia (PCM's) 1 y 2	Anual	1 técnico electricista
7	A	2	S	N	N	S	N	Medición de continuidad de los protistores asociados a los módulos de conversión de potencia (PCM's) 1 y 2	Anual	1 técnico electricista
7	A	3	S	N	N	S	N	Limpieza exhaustiva con paño y alcohol isopropílico		1 técnico electricista

Fuente: Elaboracion Propia

Donde:

F: Función

FF: Falla funcional

MF: Modo de falla

H: Falla oculta

S: Consecuencia para la seguridad

E: Consecuencia para el medio ambiente

O: Consecuencias operacionales

H1/S1/O1/N1: Tarea a condición

H2/S2/O2/N2: Tarea de reacondicionamiento programado

H3/S3/O3/N3: Tarea de sustitución cíclica

H4: Tarea de búsqueda de falla

H5: Rediseño obligatorio

S4: Combinación de dos o más tareas proactivas

El intervalo propuesto para 1-A-1 se escogió de acuerdo con las recomendaciones del fabricante ya que esta prueba se realiza con el equipo energizado, pero fuera de operación.

El intervalo propuesto para 2-A-1 se escogió de acuerdo con las recomendaciones del fabricante ya que esta actividad conlleva muchas horas de trabajo.

Para 7-A-1, 7-A-2 y 7-A-3 se respetó el intervalo de tiempo inicial de la actividad 4 de la tabla del Anexo N°1, solo se modificó la actividad.

Para 2-A-2 hasta 6-A-2 se respecto el intervalo inicial de la actividad 1 de la tabla del Anexo N°1.

Anexo N°10: Responsabilidades de cada área con respecto al plan de mantenimiento optimizado

Mantenimiento	Responsable
Trimestral	Área de mantenimiento eléctrico: 01 Técnico electricista de Fénix
Semestral	Área de mantenimiento eléctrico: 01 técnico electricista contratista o de Fénix y 01 Supervisor electricista de Fénix
Anual	Área de mantenimiento eléctrico, instrumentación y control y Operaciones: 03 técnicos electricistas contratista o de Fénix, 01 Supervisor electricista de Fénix, 01 técnico de instrumentación y control de Fénix y 01 operador de sala de control para pruebas del FGD.

Fuente: Elaboracion Propia

Anexo N°11: Plan de mantenimiento optimizado

Item	Actividad de mantenimiento	Trimestral 2000h	Semestral 4000h	Anual 8000h
1	Análisis termográfico	X	X	X
2	Cambio de filtros de aire del sistema de excitación		X	X
3	Inspección, limpieza, medición de aislamiento y parámetros eléctricos de los módulos de conversión de potencia (PCM's) 1 y 2 y circuitos AC y DC			X
4	Verificación de interruptores y transformadores internos de alimentación de ventiladores del sistema de excitación			X
5	Verificación de ventiladores del sistema de excitación			X
6	Verificación de ajuste de pernerías de las barras de fuerza			X
7	Limpieza interna de los gabinetes de control			X
8	Ajuste de bornes y conexiones en general			X
9	Prueba de alarma y disparo del detector de tierra de campo (FGD)			X

Fuente: Elaboracion Propia

Anexo N°12: Alcance del plan de mantenimiento optimizado

Item	Actividad de mantenimiento	Alcance
1	Análisis termográfico	• Puentes rectificadores controlados de silicio (SCR's) 1 y 2 • Interruptores de potencia 1 y 2 • Barras AC antes y después de Interruptores 1 y 2. • Motores de Ventiladores ubicados en las partes inferiores de los puentes 1 y 2. • Interruptores centrífugos de los motores ventiladores • Barras DC • Contactores DC • Tarjetas electrónicas de CASE 2 y 4. • Transformadores de alimentación de 480/460V ubicadas en el CASE4.
2	Cambio de filtros de aire del sistema de excitación	Filtros de aire de los puentes rectificadores controlados de silicio (SCR's) 1 y 2
3	Inspección, limpieza, medición de aislamiento y parámetros eléctricos de los	Tramo 1: Tramo del Circuito AC que va desde la Caja de Conexiones de 480V hasta la entrada de

módulos de los Interruptores de cada conversión de puente.

potencia (PCM's) 1 y 2 y circuitos AC y DC

Tramo 2. Tramo en el Puente 1. Desde la salida del Interruptor de potencia 1 de 480V hasta el ingreso al conjunto de SCR del mismo puente.

Tramo 3: Tramo en el Puente 2. Desde la salida del Interruptor de potencia 2 de 480V hasta el ingreso al conjunto de SCR del mismo puente.

Tramo 4: Tramo íntegro del circuito DC. Este circuito va desde la salida del SCR de los Puentes 1 y 2 hasta la caja de conexiones DC, incluyendo contactores DC.

Módulo de conversión de potencia (PCM), rectificadores controlados de silicio 1 y 2, estos incluyen puentes rectificadores controlados de silicio 1 y 2, protistores y condensadores.

- 4 Verificación de interruptores y transformadores
- Interruptores de potencia de los puentes

	internos de alimentación de ventiladores del sistema de excitación	rectificadores controlados de silicio 1 y 2
		- Transformadores 1 y 2 de alimentación de los motores ventiladores de los puentes rectificadores 1 y 2 6 motores ventiladores de refrigeración de los puentes rectificadores controlado de silicio 1 y 2 - Interruptores centrífugos asociados a cada motor ventilador
5	Verificación de ventiladores del sistema de excitación	
6	Verificación de ajuste de pernerías de las barras de fuerza	Caja de conexiones del circuito AC y DC, conexiones entre el electroducto (bus way) y caja de conexiones
7	Limpieza interna de los gabinetes de control	Tarjetas electrónicas del Case 2 y 4
8	Ajuste de bornes y conexiones en general	Borneras de interruptores de potencia 1 y 2, contactos de los interruptores centrífugos y

borneras de control del
case 2 y 4

9 Prueba de alarma
y disparo del Detector de tierra de
detector de tierra campo (FGD)
de campo (FGD)

Fuente: Elaboracion Propia

Anexo N°13: Comparativa del plan de mantenimiento tradicional vs el optimizado

Item	Plan de mantenimiento tradicional	Plan de mantenimiento optimizado	Justificación
1	En su alcance estaba incluido el sistema de excitación y el sistema conmutador de carga invertida (LCI)	El alcance del nuevo plan de mantenimiento solo incluye el sistema de excitación	Cubrir todos los componentes con potencial de falla del sistema de excitación ya que el plan tradicional debido a que incluía dos sistemas no describía las actividades necesarias.
2	El plan de mantenimiento tradicional no incluía actividades de mantenimiento para fallas a tierra como la ocurrida en julio del 2020	Se creo una actividad de mantenimiento para prevenir las fallas a tierra como la falla ocurrida en julio del 2020, se consideró también dentro del alcance el circuito DC	Disminuir el mantenimiento correctivo debido a fallas a tierra.

		Se aumento el alcance de esta actividad, se agregó los	
3	De los módulos PCM solo se consideraba actividades de limpieza e inspección para los puentes rectificadores silicio 1 y 2. Tabla 2-item 4	equipos Ser más efectivos a la hora de prevenir fallas en los módulos de PCM, así como Se unió esta actividad con la tarea propuesta para las fallas a tierra de los circuitos AC y DC. Tabla 13-item 3	
4	No contemplaba el modo de falla respecto al detector de tierra de campo o falla a tierra (FGD)	Se agrego una actividad rutinaria de manera anual para el modo de falla del FGD	Se debe de asegurar que el sistema de protección contra fallas a tierra este operando en optimizas condiciones ya que la falla de este equipo podría traer grandes pérdidas materiales.

5	El ítem 1 perteneciente al plan de mantenimiento tradicional, no contemplaba en su alcance los demás equipos del sistema de excitación como barras del circuito AC y DC, solo incluía los puentes rectificadores controlados de silicio (SCR's)	Se agrego al alcance del ítem 1 los equipos del sistema de excitación de acuerdo a la tabla 13-ítem 1	Identificar fallas potenciales antes de que se vuelvan fallas funcionales y puedan dejar inoperativo el sistema de excitación, mediante la termografía.
6	Instructivo de mantenimiento poco detallado sin información relevante acerca de las actividades de mantenimiento.	Instructivo de mantenimiento con más detalles, se incluyeron valores de referencia respecto a las mediciones y las eléctricas, así como también imágenes referenciales.	Brindar una guía detallada del alcance de cada actividad, cómo realizar las actividades de mantenimiento y las consideraciones a tener al personal encargado del trabajo.

Fuente: Elaboracion Propia

Anexo N°14: Documento digital Plan de mantenimiento tradicional

N° MAN-2.3.0-PP-020											
PLAN DE MANTENIMIENTO											
GRUPO DE GENERACION:		Generadores 1, 2, 3 y LCI									
SISTEMA:											
SUBSISTEMA:											
EQUIPO:		Sistemas de Excitación y LCI									
TAG (S):		EXCT&LCI									
ESPECIALIDAD:		MANT. ELECTRICO				SOLICITANTE: A. OLIVA					
FECHA DE SOLICITUD:											
NOMBRE DEL PLAN Y PERIODO DE INTERVENCIÓN TAREA A REALIZAR		SUSTENTO			CONDICION	MANTO MENSUAL	MANTO TRIMESTRAL	MANTO SEMESTRAL	MANTO ANUAL	MANTO TRIANUAL	HORAS HOMBRE POR ACTIVIDAD
		FAB	EXP	F/E		MENS. 700h	TRIM. 2000h	SEMES. 4000h	ANUAL 8000h	TRIANU. 24000h	
1	Análisis Termográfico		X		E/S		X	X	X		1
2	Cambio de filtros de aire del sistema de excitación		X		F/S				X		2
3	Mantenimiento del sistema de refrigeración del LCI		X		F/S			X			3
4	Inspección interna y limpieza de Diodos y SCR		X		F/S				X		3
5	Verificación de interruptores y transformadores internos de alimentación de ventiladores		X		F/S				X		1
6	Verificación de ventiladores del sistema de excitación		X		F/S				X		2
7	Verificación de ajuste de pernerías de los componentes de fuerza		X		F/S				X		1
8	Limpieza interna del gabinete del sistema de excitación		X		F/S				X		1
9	Ajuste de bornas y conexiones en general		X		F/S				X		2
10											
11											
12											
13											
14											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
22											
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29											
30											
HORAS HOMBRE TOTALES						0.00	1.00	3.00	16.00	0.00	
NECESIDAD: ☒ INCORPORACION AL PLAN ☐ MODIFICACION DEL PLAN											
OBSERVACIONES: MANTTO MENSUAL N/A MANTTO TRIANUAL N/A											
V°B° JEFE DE MANTENIMIENTO						Firma y fecha de recepción Planificación					
Fecha de Aprobación						Fecha de Implementación					

Anexo N°15: Documento digital Plan de mantenimiento optimizado

PLAN DE MANTENIMIENTO													
N° MAN-2.3.0-PP-020.1													
GRUPO DE GENERACION: Generadores 1, 2 y 3													
SISTEMA:													
SUBSISTEMA:													
EQUIPO: Sistemas de Excitación													
TAG (S): EXCT1													
ESPECIALIDAD: MANT. ELECTRICO SOLICITANTE: A. OLIVA													
FECHA DE SOLICITUD:													
NOMBRE DEL PLAN Y PERIODO DE INTERVENCIÓN		TAREA A REALIZAR			CONDICION			HORAS HOMBRE POR ACTIVIDAD					
					SUSTENTO			MANTO MENSUAL	MANTO TRIMESTRAL	MANTO SEMESTRAL	MANTO ANUAL	MANTO TRIANUAL	
					FAB	EXP	F/E	MENS. 700h	TRIM. 2000h	SEMES. 4000h	ANUAL 8000h	TRIANU. 24000h	
1	Análisis Termográfico		X	E/S					X	X	X		3
2	Cambio de Filtros de Aire de Sistemas de Excitación		X	F/S						X	X		2
3	Inspección, limpieza, medición de aislamiento y parámetros eléctricos de los módulos de	X		F/S							X		16
4	Verificación de interruptores y transformadores internos de alimentación de ventiladores		X	F/S							X		5
5	Verificación de ventiladores del sistema de excitación		X	F/S							X		5
6	Verificación de ajuste de penerías de las barras de fuerza		X	F/S							X		5
7	Limpieza interna de los gabinetes de control		X	F/S							X		4
8	Ajuste de bornes y conexiones en general		X	F/S							X		3
9	Prueba de alarma y disparo del detector de tierra de campo (FGD)	X		F/S							X		2
10													
11													
12													
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													
20													
21													
22													
23													
24													
25													
26													
27													
28													
HORAS HOMBRE TOTALES									3.00	5.00	45.00		
NECESIDAD:													
☒ INCORPORACION AL PLAN ☐ MODIFICACION DEL PLAN													
OBSERVACIONES:													
MANTO MENSUAL N/A													
MANTO TRIANUAL N/A													
V°B° JEFE DE MANTENIMIENTO Firma y fecha de recepción Planificación 5 de Setiembre de 2020 Fecha de Aprobación 5 de Setiembre de 2020 Fecha de Implementación													

Anexo N°16: Instructivo del plan de mantenimiento tradicional

	Mantenimiento Sistemas de excitación y LCI	MAN-2.3.0-PP-002	
		Página 1 de 6	Versión 01
Grupo (s): Generadores 1, 2, 3 y LCI		Sistema (s): Reguladores de voltaje 1, 2, 3 y SCR	

1. OBJETIVO:

Detallar las actividades de Mantenimiento Eléctrico necesarias para asegurar el adecuado funcionamiento y disponibilidad de los sistemas de excitación y del LCI en la Central Térmica Fénix. La actividad se realizará cumpliendo las políticas de seguridad y medio ambiente de la empresa.

2. ALCANCE:

El alcance de aplicación de este instructivo comprende a todos los reguladores de voltaje de los 3 generadores y el SCR de la Central Térmica Fénix según la tabla adjunta.
Se Aplica a todos los colaboradores de Mantenimiento Eléctrico.

3. DEFINICIONES y ABREVIATURAS:

EPP: Elemento de protección personal.
ATS: Análisis de Trabajo Seguro.

4. RECURSOS:

4.1 Supervisor de ME.
4.2 Personal de logística FPP
4.3 Técnicos de M.E.
4.4 Empresa contratista. Empresa especializada y/o fabricante de los equipos mencionados

5. RESPONSABLES:

5.1. Es responsabilidad del Supervisor Eléctrico hacer cumplir, divulgar y coordinar la actualización del presente instructivo.
5.2. Es responsabilidad de todos los cargos descritos en el numeral ocho (8) ejecutar las actividades asignadas en el presente instructivo.

6. CONSIDERACIONES MEDIO AMBIENTALES:

Referirse a la Matriz de Aspectos e Impactos Ambientales (AIA).

7. CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD INDUSTRIAL:

- ◆ Referirse a la Matriz IPER-C.
- ◆ Se usarán mantas dieléctricas como protección a descargas eléctricas indirectas.
- ◆ Los EPPs asociados serán revisados antes de realizar cualquier actividad.

8. DESCRIPCION DE ACTIVIDADES:

8.1 MANTENIMIENTO TRIMESTRAL.

Las actividades para el mantenimiento mensual serán las siguientes:

 Fenix Power PERU	Mantenimiento Sistemas de excitación y LCI	MAN-2.3.0-PP-002	
		Página 1 de 6	Versión 01
Grupo (s): Generadores 1, 2, 3 y LCI		Sistema (s): Reguladores de voltaje 1, 2, 3 y SCR	

1. Análisis Termográfico.

Se realizará inspección termográfica a puentes 1 y 2 de los sistemas de excitación de los 3 generadores y del SCR del LCI.

Si se encuentra observaciones se debe coordinar con operaciones para programar intervención.

8.2 MANTENIMIENTO SEMESTRAL

Las actividades para el mantenimiento semestral serán las siguientes:

1. Análisis Termográfico.
2. Cambio de Filtros de Aire de Sistemas de Excitación.

El ítem N° 1 se realizará de acuerdo con 8.1.

2. Con los rectificadores en servicio realizar cambio de filtros en los puentes 1 y 2 de los sistemas de excitación de los 3 generadores, estos filtros están ubicados en las puertas de los rectificadores.

8.3 MANTENIMIENTO ANUAL

Las actividades para el mantenimiento anual serán las siguientes:

1. Análisis Termográfico.
2. Cambio de Filtros de Aire de Sistemas de Excitación.
3. Mantenimiento del Sistema de Refrigeración del LCI.
4. Inspección Interna
5. Verificación de Interruptores y Transformadores Internos.
6. Verificación de Ventiladores de Excitación.
7. Verificación de Conexiones Eléctricas Internas.
8. Limpieza Interna de Gabinete.
9. Ajuste de Bornes y Conexiones.

Los ítems 1 y 2 se realizarán de acuerdo con 8.2.

Para la intervención anual se deberá realizar actividades de bloqueo:

- El personal técnico debe usar todos los implementos de seguridad indicados en el numeral 7 del presente instructivo.
 - Elaborar la ATS de la actividad de mantenimiento a realizar.
 - Solicitar el permiso de trabajo al jefe de turno del área de operaciones y obtener las aprobaciones correspondientes para efectuar el mantenimiento del equipo solicitado.
 - Con el operador de campo dirigirse al punto de bloqueo del equipo.
 - Efectuar los bloqueos como se indica en el permiso de trabajo. Los bloqueos deben ser por medio de tarjetas y candados de seguridad.
3. Realizar el mantenimiento a los 2 motores del sistema de refrigeración del LCI, medir

	Mantenimiento Sistemas de excitación y LCI	MAN-2.3.0-PP-002	
		Página 1 de 6	Versión 01
Grupo (s): Generadores 1, 2, 3 y LCI		Sistema (s): Reguladores de voltaje 1, 2, 3 y SCR	

resistencia de bobinado de motores y resistencia de aislamiento.

Verificar estado de los guardamotors, realizar ajustes de bornes.

Revisar tuberías de cobre (picaduras), verificar fugas de agua, revisar estado de diodos y componentes electrónicos de potencia.

4. Realizar la inspección y limpieza exhaustiva de los componentes electrónicos de potencia, los diodos de los puentes rectificadores y del SCR.

- Limpiar con brocha y aire seco comprimido.
- Revisar las tarjetas electrónicas, verificar estado de componentes.

5. Inspeccionar y realizar ajustes en los interruptores de potencia, accionar ON – OFF para verificar correcto funcionamiento.

- En los puentes 1 y 2 del sistema de excitación realizar mantenimiento del transformador que alimenta a los 6 ventiladores de enfriamiento.
- Medir resistencia de bobina y aislamiento en lados de alta y baja tensión.

6. Medición la resistencia de bobina y aislamiento de los 6 ventiladores, revisar los fusibles y su continuidad.

- Los ventiladores tienen interruptores centrífugos, medir la resistencia de contacto, no deberá tener un valor mayor a 1 ohmio, si el valor es alto se deberá retirar el ventilador para realizar mantenimiento al interruptor centrífugo, limpieza y ajustes.

7. Inspeccionar y realizar ajustes en todos los componentes de fuerza, los pernos M19 deben ser torquados a 85 Nm.

8. Realizar limpieza exhaustiva interna del gabinete, utilizar solo trapo y alcohol, las tarjetas electrónicas solo deberán ser limpiadas con aire comprimido en botella y brochas.

9. Revisar ajustes de bornes en interruptores, tarjetas electrónicas, borneras de control, etc.

8.5 Gestionar el cierre del permiso.

Los resultados y trabajos realizados deben registrarse en el reporte de mantenimiento que sirve luego para el historial del equipo. Los trabajos y observaciones se registran en la base de datos del Software de Mantenimiento.

9. FORMATOS ASOCIADOS y ANEXOS:

9.1. MAN-2.3.0-FR-031: Reporte de mantenimiento eléctrico.

9.2. MAN-2.3.0-PP-020: Plan de mantenimiento.

9.3. HSE-2.6.1-FR-001: Matriz IPER.

9.4. HSE-3.2.1-FR-001: Matriz AIA.

9.5. OPE-6.0.0-FR-001: Permiso de trabajo.

	Mantenimiento Sistemas de excitación y LCI	MAN-2.3.0-PP-002	
		Página 1 de 6	Versión 01
Grupo (s): Generadores 1, 2, 3 y LCI		Sistema (s): Reguladores de voltaje 1, 2, 3 y SCR	

10. HISTORIAL DE CAMBIOS:

VERSIÓN	FECHA	NUMERAL MODIFICADO	DESCRIPCIÓN DEL CAMBIO

Elaborado por: FERNANDO ESTRADA TECNICO ELECTRICISTA	Revisado por: ALBERTO OLIVA SUPERVISOR DE MANTENIMIENTO ELECTRICO	Aprobado por: JEFE DE MANTENIMIENTO	Fecha de Emisión: 12/06/2018
--	---	---	--

Anexo N°17: Instructivo del plan de mantenimiento optimizado

	Mantenimiento Sistemas de Excitación	Código MAN-2.3.0-PP-002	
		Pag. 1 de 28	Versión: 02
Proceso: Mantenimiento Eléctrico		Sub-proceso: Mantenimiento de Sistemas de Excitación	

Fecha de emisión: 04/09/2020			
1. TITULO DEL FORMATO			
Código:		Descripción:	Instructivo Mantenimiento de Sistemas de Excitación.
2. OBJETIVOS (GENERALES Y ESPECÍFICOS)			
Objetivo General. Detallar las actividades de Mantenimiento Eléctrico necesarias para asegurar la adecuada operación, confiabilidad y disponibilidad de los Sistemas de Excitación en la Central Térmica Fénix. La actividad se ejecutará cumpliendo siempre las Políticas de Seguridad y Medio Ambiente de la empresa.			
3. ALCANCE DEL FORMATO			
El alcance de aplicación de este instructivo comprende a todos los Sistemas de Excitación de la Central Térmica Fénix. La ejecución del presente Documento aplica a todos los colaboradores de Mantenimiento Eléctrico.			
4. ANTECEDENTES			
No aplica.			
5. ESPECIFICACIONES, NORMAS Y DOCUMENTOS DE APLICACIÓN			
Los documentos aplicados a esta intervención son los siguientes: a) MAN-2.3.0-FR-031: Reporte de mantenimiento eléctrico. b) MAN-2.3.0-PP-020.1: Plan de mantenimiento. c) Planos del Sistema de Excitación GE 389B1714AE			
6. DESCRIPCIÓN DE LA INTERVENCIÓN			
6.1 Metodología y procedimientos para la Intervención			
6.1.1. Mantenimiento Trimestral Este mantenimiento podrá ser ejecutado tanto con las Unidades en servicio como fuera de servicio. Las actividades para el Mantenimiento Trimestral serán las siguientes: Análisis Termográfico. Se realizará inspección termográfica a los Puentes 1 (CASE 2) y 2 (CASE 1) incluyendo al CASE 4 tomando en cuenta que solo se abrirá las puertas externas de cada Gabinete llegando a la condición mostrada en la Figura N°1.			
Se tendrá especial monitoreo a los siguientes equipos: ✓ Interruptores DISC 1 y DISC 2. ✓ Barras AC antes y después de Interruptores DISC1 y DISC2. ✓ Motores de Ventiladores ubicados en las partes inferiores de los Puentes 1 y 2. ✓ Barras DC antes y después de los Contactores DC. ✓ Equipos y tarjetas del CASE4. ✓ TRX de 480/460V ubicadas en el CASE4.			
Se realizarán siempre las coordinaciones con el Jefe de Turno y con el Operador de Control al momento de abrir las puertas de los Gabinetes de tal forma de evidenciar algún cambio en la operación del sistema. Si			

	Mantenimiento Sistemas de Excitación	Código MAN-2.3.0-PP-002	
		Pag. 3 de 28	Versión: 02
Proceso: Mantenimiento Eléctrico		Sub-proceso: Mantenimiento de Sistemas de Excitación	

- 6.1.3.4 Verificación de interruptores y transformadores internos de alimentación de ventiladores del sistema de excitación.
- 6.1.3.5 Verificación de ventiladores del sistema de excitación
- 6.1.3.6 Verificación de ajuste de pernerías de las barras de fuerza
- 6.1.3.7 Limpieza interna de los gabinetes de control
- 6.1.3.8 Ajuste de bornes y conexiones en general
- 6.1.3.9 Prueba de alarma y disparo del detector de tierra de campo (FGD)

Actividades previas (Normativas y de HSE) del trabajo a ejecutar:

- a) El personal técnico debe usar todos los implementos de seguridad indicados en el numeral 7 del presente instructivo.
- b) Elaborar la ATS de la actividad de mantenimiento a realizar.
- c) Solicitar el Permiso de Trabajo (PT) al Jefe de Turno y obtener las aprobaciones correspondientes para efectuar el mantenimiento del equipo solicitado.
- d) Con el Operador de Campo dirigirse al punto de bloqueo del equipo para asegurar el correcto bloqueo y etiquetado.
- e) Efectuar los bloqueos como se indica en el PT. Los bloqueos deben ser por medio de tarjetas y candados de seguridad.

Descripción de actividades a ejecutar:

El ítem 6.1.3.1 se realizará de acuerdo con 6.1.1.

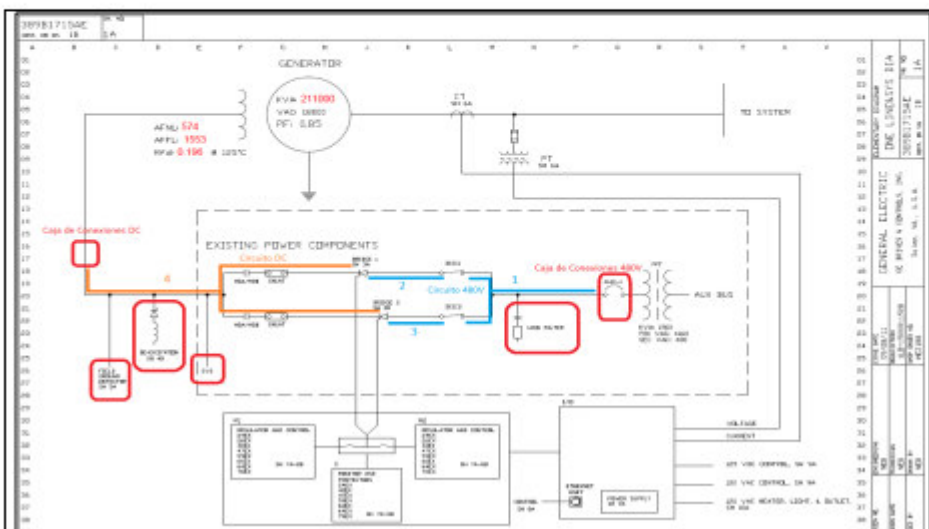
El ítem 6.1.3.2 se realizará de acuerdo con 6.1.2.

Para el ítem 6.1.3.3, se realizará la inspección, limpieza exhaustiva, Medición de Resistencias de Aislamiento (MRA) de las Barras, de los Tiristores (SCR) y sus disipadores de calor, a su vez se realizará la medición de continuidad de los 12 protistores y medición de capacitancia de los 6 condensadores asociados a los SCR's de cada puente.

Se dividirá el Sistema de Excitación en 4 tramos según la Figura N°2.

Figura N°2

	Mantenimiento Sistemas de Excitación	Código MAN-2.3.0-PP-002	
		Pag. 4 de 28	Versión: 02
Proceso: Mantenimiento Eléctrico		Sub-proceso: Mantenimiento de Sistemas de Excitación	



Donde cada tramo es identificado de la siguiente manera:

Tramo 1. Tramo del Circuito AC que va desde la Caja de Conexiones de 480V hasta la entrada de los Interruptores de cada Puente (DISC1 y DISC2).

Tramo 2. Tramo en el Puente N°1 (BRIDGE 1). Desde la salida del Interruptor 1 de 480V (DISC1) hasta el ingreso al conjunto de SCR del mismo Puente.

Tramo 3: Tramo en el Puente N°2 (BRIDGE 2). Desde la salida del Interruptor 2 de 480V (DISC2) hasta el ingreso al conjunto de SCR del mismo Puente.

Tramo 4: Tramo íntegro del circuito DC. Este circuito va desde la salida del SCR de los Puentes N°1 y N°2 hasta la caja de conexiones DC.

Para poder tener los 04 tramos definidos eléctricamente, se realizará las desconexiones de acuerdo con la Figura N°2.

Como complemento, se realizarán las MRA de los Cables de 480V que llegan desde el Transformador (TRX) de Excitación hasta la Caja de Conexiones de 480 V del Sistema de Excitación. Este trabajo se podrá realizar con los cables conectados a los bornes de 480V del TRX o también desconectados. Si se detectará bajos niveles de aislamiento en las mediciones, lo recomendable es separar los circuitos eléctricos desconectando los cables del TRX. Lo importante es tener buenos niveles de aislamiento sea individualmente o en conjunto.

Ejecución de trabajos de Desconexión

Tramo 1. Tramo del Circuito AC que va desde la Caja de Conexiones de 480V hasta la entrada de los Interruptores de cada Puente (DISC1 y DISC2).

Para poder realizar las inspecciones, limpieza y MRA, se ejecutarán las siguientes desconexiones:

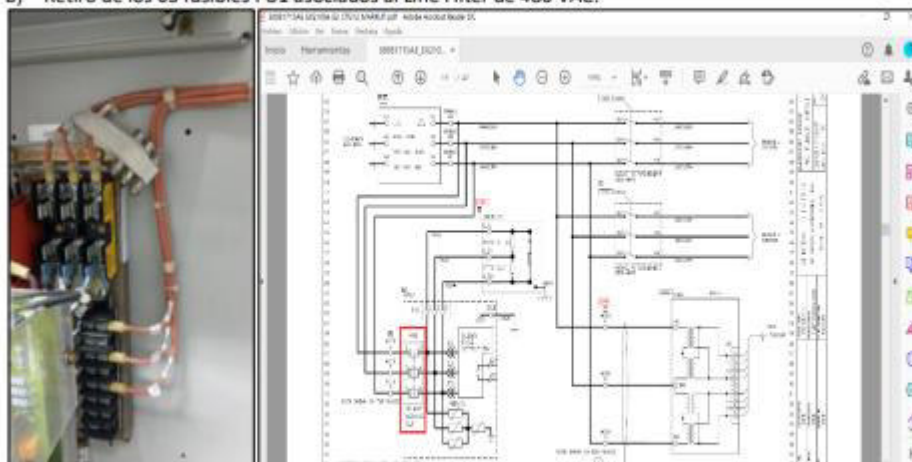
- Desconexión de cables de Caja de Conexiones de 480 VAC.

	Mantenimiento Sistemas de Excitación	Código MAN-2.3.0-PP-002	
		Pag. 5 de 28	Versión: 02
Proceso: Mantenimiento Eléctrico		Sub-proceso: Mantenimiento de Sistemas de Excitación	


Nota 2

Proteger la Caja de Conexiones AC con plástico para evitar el ingreso de humedad sobre las Barras y Aisladores de no ejecutar trabajos en esta área.

b) Retiro de los 03 fusibles FU1 asociados al Line Filter de 480 VAC.

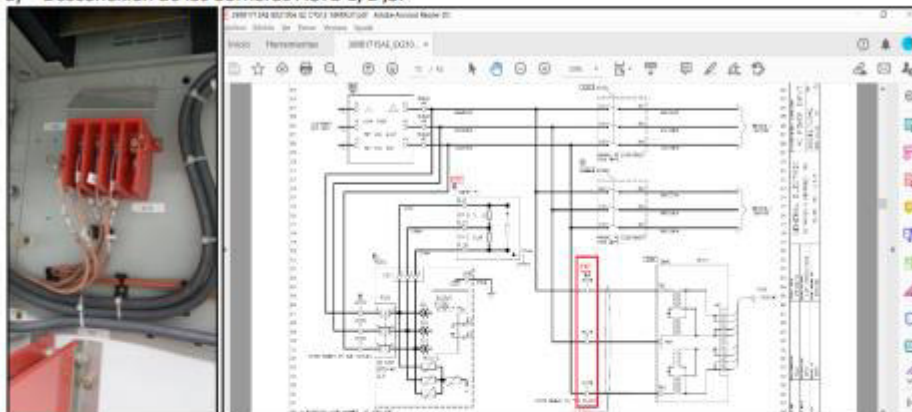


c) Interruptores DISC 1 y DISC 2 abiertos.

	Mantenimiento Sistemas de Excitación	Código MAN-2.3.0-PP-002	
		Pag. 6 de 28	Versión: 02
Proceso: Mantenimiento Eléctrico		Sub-proceso: Mantenimiento de Sistemas de Excitación	



d) Desconexión de las borneras ACTB 1, 2, 3.

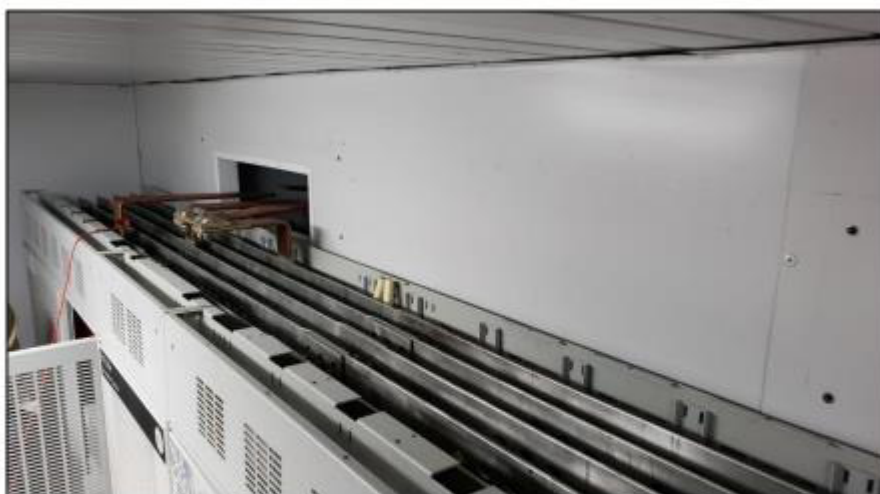


Una vez realizadas las desconexiones, se procederá con una MRA inicial @ 500V y 1 minuto. Estas mediciones servirán como referencia para las mediciones posteriores después de la inspección y limpieza de los circuitos, equipos y aisladores de este Tramo.

Para continuar con los trabajos, realizar la Inspección y limpieza exhaustiva de barras y aisladores de 480V y barras del Sistema DC ubicados en la parte superior de los Gabinetes de Excitación incluyendo los

	Mantenimiento Sistemas de Excitación	Código MAN-2.3.0-PP-002	
		Pag. 7 de 28	Versión: 02
Proceso: Mantenimiento Eléctrico		Sub-proceso: Mantenimiento de Sistemas de Excitación	

sujetadores de barras (Aisladores de color negro), el interior de la Caja de Conexiones en AC, las barras de 480V y aisladores ubicados aguas arriba de DISC1 y DISC2 y parte superior de los mismos DISC1 y DISC2.



Luego de la limpieza, realizar las siguientes MRA considerando que cada Fase es llamada como L1, L2 y L3 respectivamente. Las mediciones obtenidas se llenarán en los Formatos correspondientes. MRA @ 500V y 1 minuto.

- ✓ L1 vs Tierra
- ✓ L2 vs Tierra
- ✓ L3 vs Tierra

	Mantenimiento Sistemas de Excitación	Código MAN-2.3.0-PP-002	
		Pag. 8 de 28	Versión: 02
Proceso: Mantenimiento Eléctrico		Sub-proceso: Mantenimiento de Sistemas de Excitación	

- ✓ L1 vs L2
- ✓ L2 vs L3
- ✓ L1 vs L3
- ✓ L1+L2+L3 vs Tierra

Nota 3

Cuando se realice la medición de aislamiento de Fase versus Tierra, NO conectar las otras 2 Fases a Tierra.

Nota 4

Si los valores medidos están por encima de los 5 MΩ (propuesto por GE), comenzar con la reconexión del sistema, sino se supera este valor mínimo exigido, continuar con la limpieza usando paños y alcohol isopropílico sobre aisladores principalmente. Dejar instaladas luminarias incandescentes en los puntos observados por el lapso de 8 horas aproximadamente con el fin de aumentar el valor de Resistencia de Aislamiento.

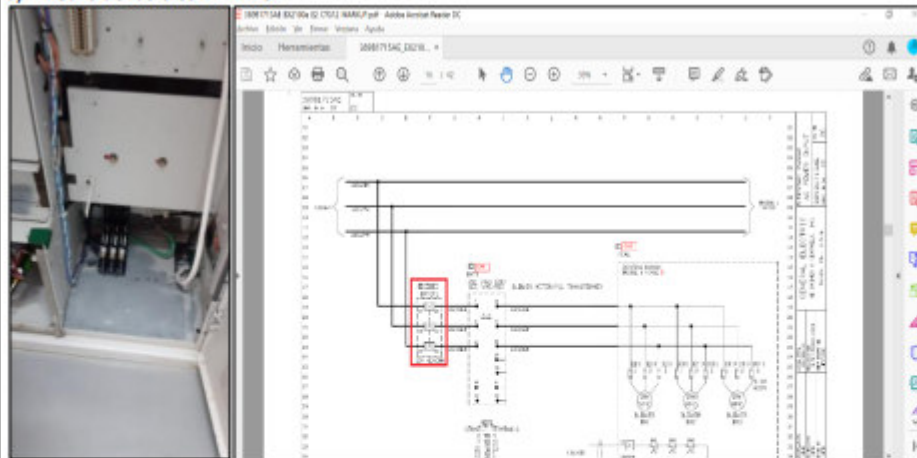
Nota 5

Finalmente retirar las luminarias incandescentes y realizar MRA final, tomar en cuenta la Nota 4.

Tramo 2. Tramo en el Puente N°1 (BRIDGE 1). Desde la salida del Interruptor 1 de 480V (DISC1) hasta el ingreso al conjunto de SCR del mismo Puente.

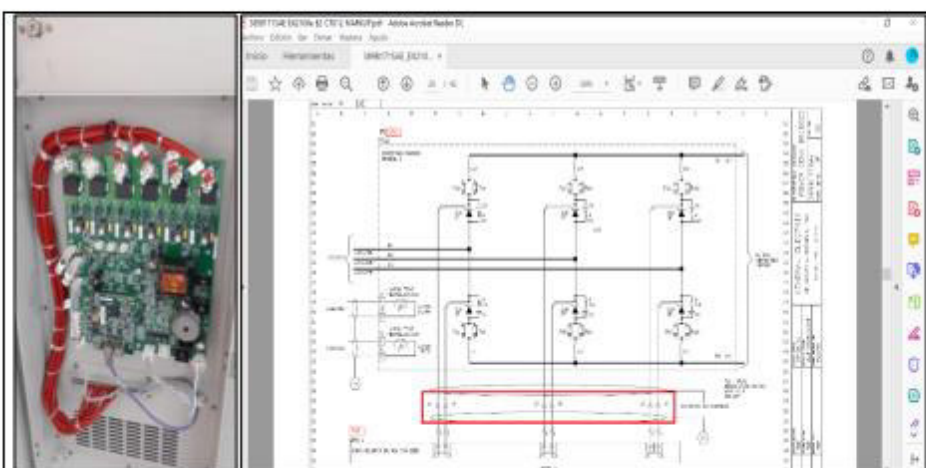
Para poder realizar las inspecciones, limpieza y MRA, se ejecutarán las siguientes desconexiones:

a) Retiro de fusibles BMT1FU.

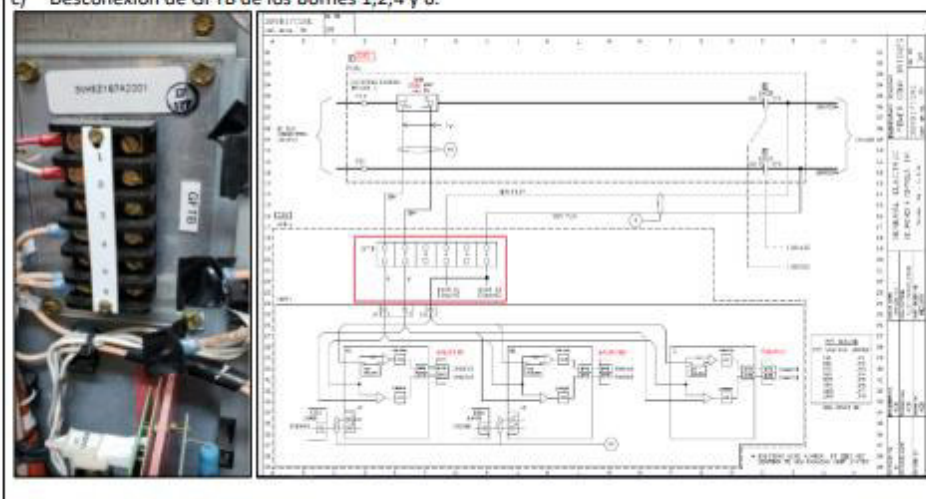


b) Desconexión de J1 hasta J6 en la tarjeta EBRG-1.

	Mantenimiento Sistemas de Excitación	Código MAN-2.3.0-PP-002	
		Pag. 9 de 28	Versión: 02
Proceso: Mantenimiento Eléctrico		Sub-proceso: Mantenimiento de Sistemas de Excitación	

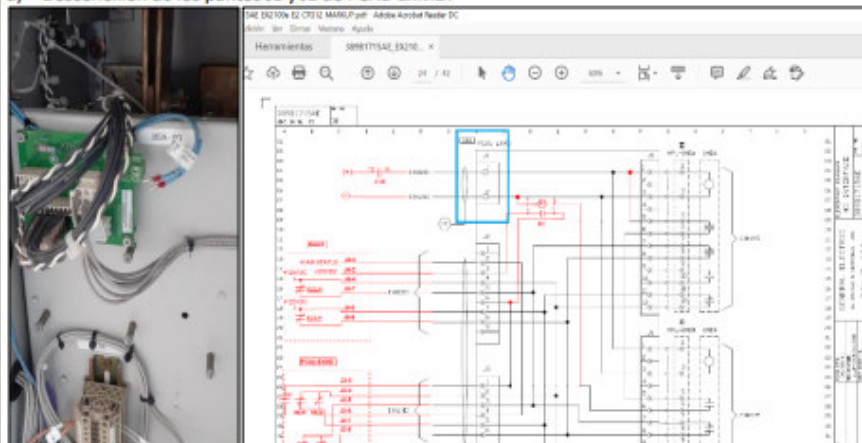


c) Desconexión de GFTB de los bornes 1,2,4 y 6.



	Mantenimiento Sistemas de Excitación	Código MAN-2.3.0-PP-002	
		Pag. 10 de 28	Versión: 02
Proceso: Mantenimiento Eléctrico		Sub-proceso: Mantenimiento de Sistemas de Excitación	

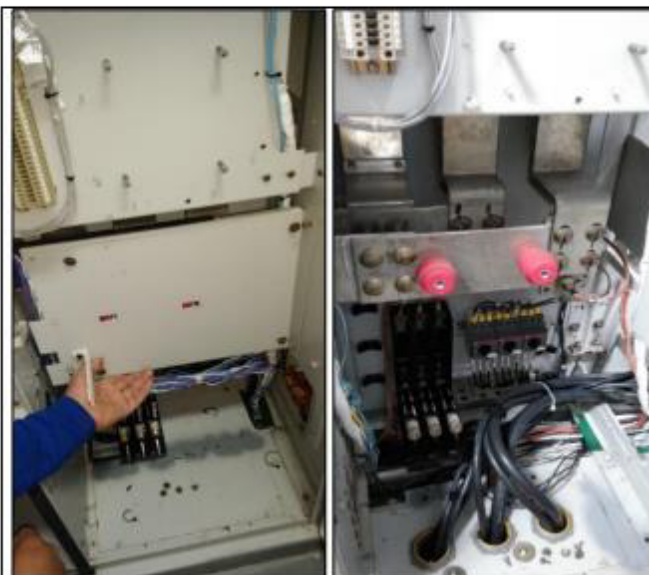
d) Desconexión de los puntos J1 y J2 de PCA1-EXMD.



Una vez realizadas las desconexiones, se procederá con una MRA inicial @ 500V y 1 minuto. Estas mediciones servirán como referencia para las mediciones posteriores después de la inspección y limpieza de los circuitos, equipos y aisladores de este Tramo. Las mediciones obtenidas se llenarán en los Formatos correspondientes.

Para efectos de las inspecciones y posterior limpieza, se deberán retirar tapas de protección y aislamiento de las barras de 480V según el mostrado a continuación:

	Mantenimiento Sistemas de Excitación	Código MAN-2.3.0-PP-002	
		Pag. 11 de 28	Versión: 02
Proceso: Mantenimiento Eléctrico		Sub-proceso: Mantenimiento de Sistemas de Excitación	



Para efectos de la limpieza, se ejecutarán las siguientes actividades:

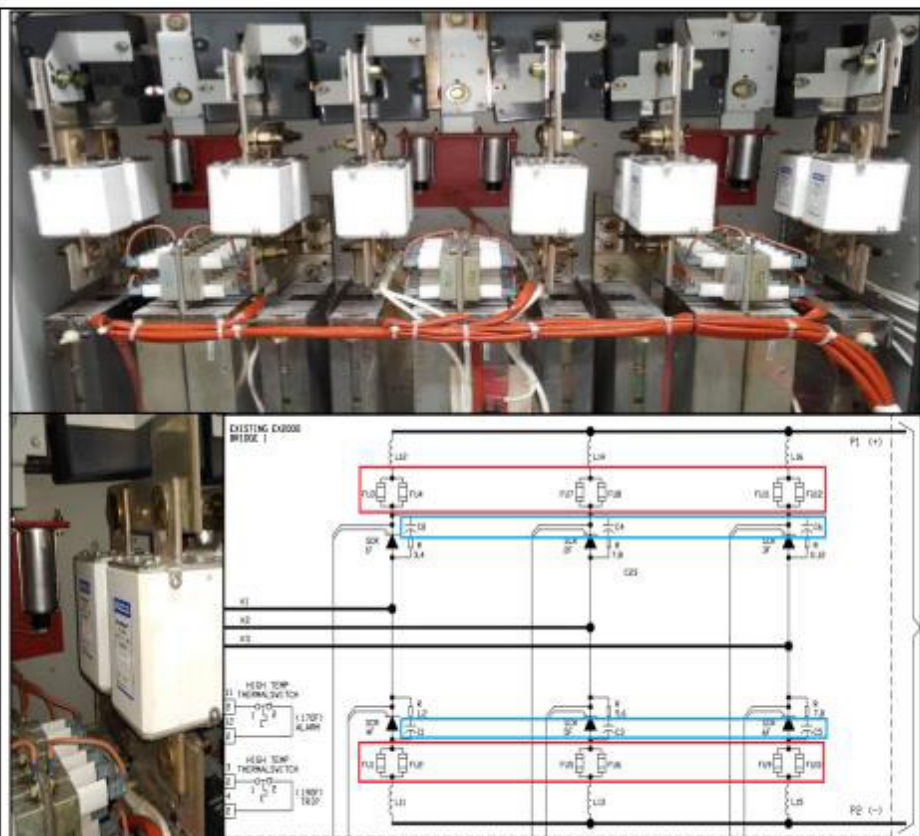
- ✓ Ejecutar una limpieza integral de las Barras y sus soportes incidiendo principalmente sobre los aisladores rojos ubicados en todo el recorrido de las barras de 480V. Como ejemplo se muestra un par de aisladores en la figura anterior.
- ✓ Ejecuta limpieza de la parte inferior de los Interruptores DISC1.
- ✓ Ejecutar limpieza de los disipadores de temperatura de los SCR.
- ✓ Para ambas acciones, usar aspiradoras para partículas y polvo y paños con alcohol isopropílico.

Como trabajo complementario, se deberá retirar la tapa metálica correspondientes al puente 1 y realizar lo siguiente:

- ✓ Realizar la medición de capacitancia de los condensadores C1, C2, C3, C4, C5 y C6 correspondientes a cada SCR del puente 1. (Ver Figura N°3), ver datos de placa y comparar con mediciones anteriores.
- ✓ Realizar la medición de continuidad de los protistores FU1, FU2, FU3, FU4, FU5, FU6, FU7, FU8, FU9, FU10, FU11 y FU12 asociados a los SCRs del puente 1. (Ver Figura N°3)

Figura N°3

	Mantenimiento Sistemas de Excitación	Código MAN-2.3.0-PP-002	
		Pag. 12 de 28	Versión: 02
Proceso: Mantenimiento Eléctrico		Sub-proceso: Mantenimiento de Sistemas de Excitación	



Luego de la limpieza, realizar las siguientes MRA considerando que cada Fase es llamada como L1, L2 y L3 respectivamente. Las mediciones obtenidas se llenarán en los Formatos correspondientes. MRA @ 500V y 1 minuto.

- ✓ L1 vs Tierra
- ✓ L2 vs Tierra
- ✓ L3 vs Tierra
- ✓ L1 vs L2
- ✓ L2 vs L3
- ✓ L1 vs L3
- ✓ L1+L2+L3 vs Tierra

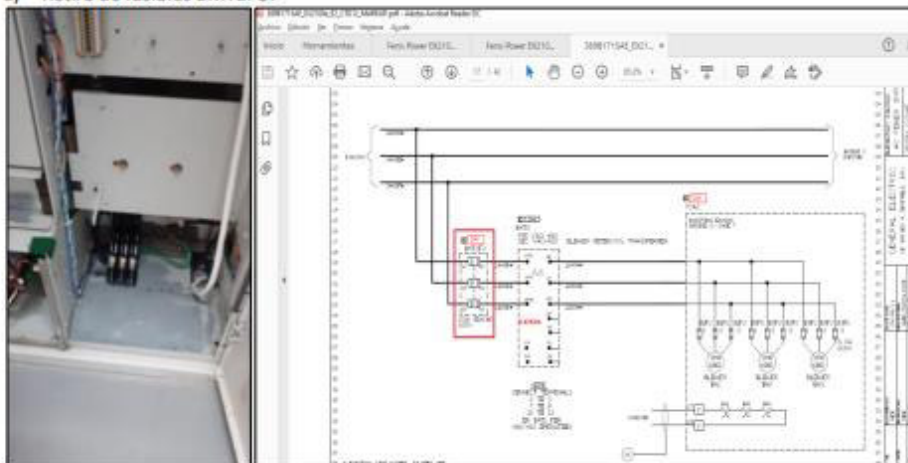
Tomar en cuenta las Notas 3, 4 y 5.

	Mantenimiento Sistemas de Excitación	Código MAN-2.3.0-PP-002	
		Pag. 13 de 28	Versión: 02
Proceso: Mantenimiento Eléctrico		Sub-proceso: Mantenimiento de Sistemas de Excitación	

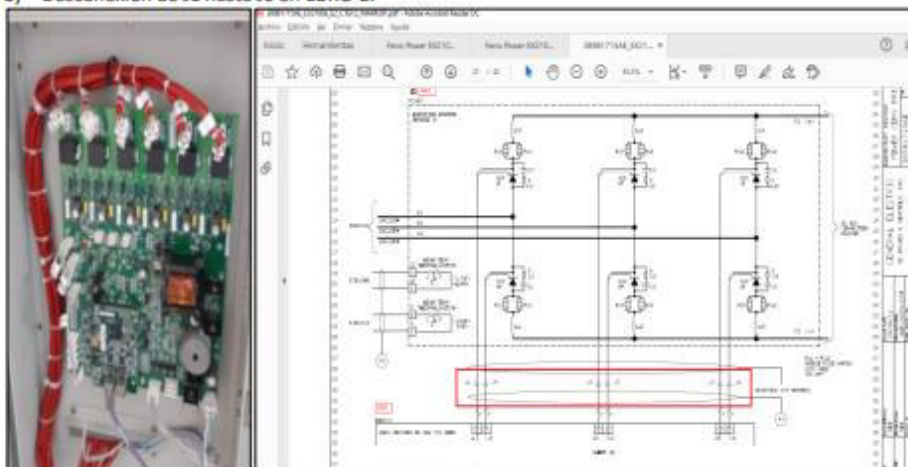
Tramo 3: Tramo en el Puente N°2 (BRIDGE 2). Desde la salida del Interruptor 2 de 480V (DISC2) hasta el ingreso al conjunto de SCR del mismo Puente.

Para poder realizar las inspecciones, limpieza y MRA, se ejecutarán las siguientes desconexiones:

a) Retiro de fusibles BMT2FU.

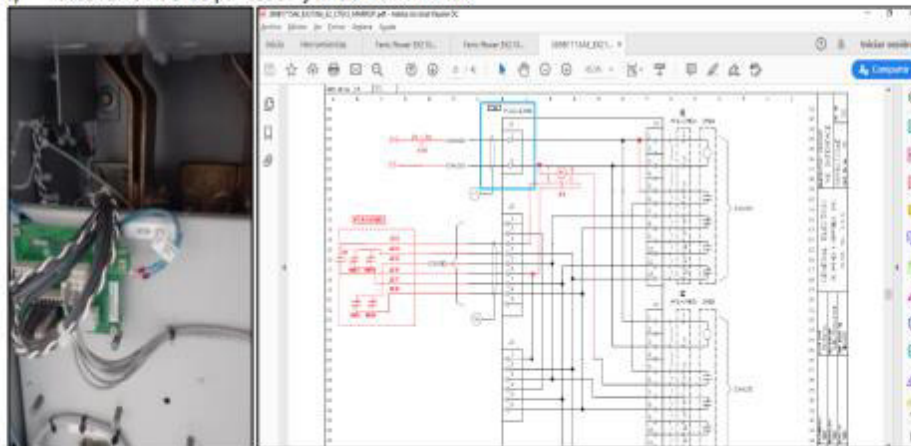


b) Desconexión de J1 hasta J6 en EBRG-2.



	Mantenimiento Sistemas de Excitación	Código MAN-2.3.0-PP-002	
		Pag. 14 de 28	Versión: 02
Proceso: Mantenimiento Eléctrico		Sub-proceso: Mantenimiento de Sistemas de Excitación	

c) Desconexión de los puntos J1 y J2 de PCA2-EXMD.



Una vez realizadas las desconexiones, se procederá con una MRA inicial @ 500V y 1 minuto. Estas mediciones servirán como referencia para las mediciones posteriores después de la inspección y limpieza de los circuitos, equipos y aisladores de este Tramo. Las mediciones obtenidas se llenarán en los Formatos correspondientes.

Para efectos de las inspecciones y posterior limpieza, se deberán retirar tapas de protección y aislamiento de las barras de 480V según el mostrado a continuación:



	Mantenimiento Sistemas de Excitación	Código MAN-2.3.0-PP-002	
		Pag. 15 de 28	Versión: 02
Proceso: Mantenimiento Eléctrico		Sub-proceso: Mantenimiento de Sistemas de Excitación	

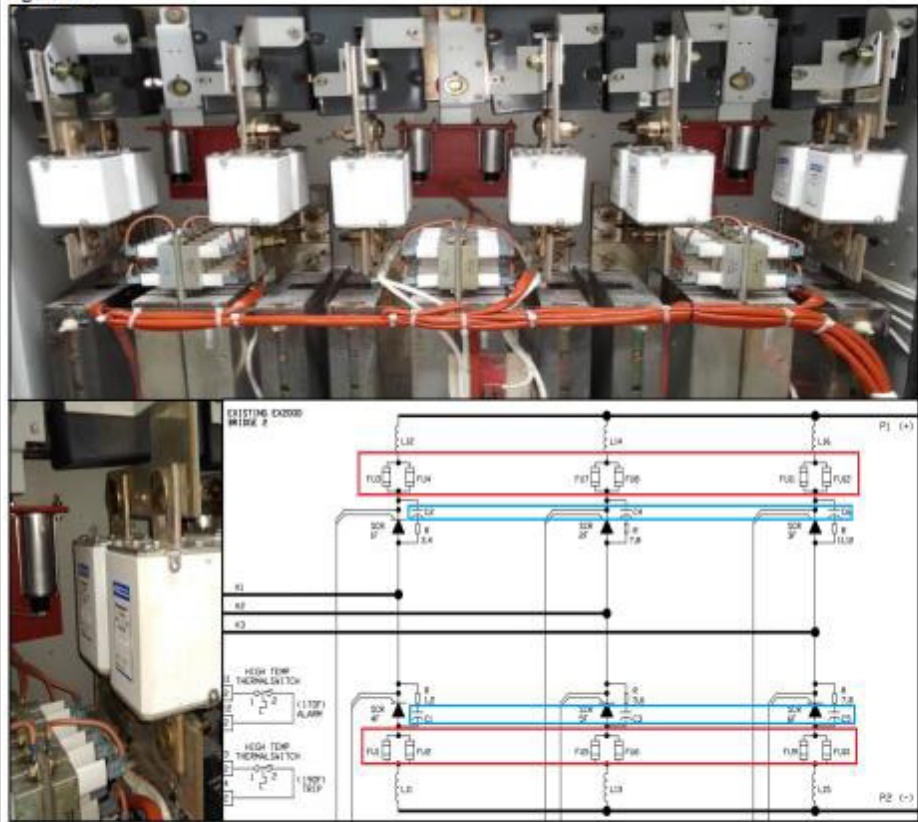
Para efectos de la limpieza, se ejecutarán las siguientes actividades:

- ✓ Ejecutar una limpieza integral de las Barras y sus soportes incidiendo principalmente sobre los aisladores rojos ubicados en todo el recorrido de las barras de 480V. Como ejemplo se muestra un par de aisladores en la figura anterior.
- ✓ Ejecuta limpieza de la parte inferior de los Interruptores DISC2.
- ✓ Ejecutar limpieza de los disipadores de temperatura de los SCR.
- ✓ Para ambas acciones, usar aspiradoras para partículas y polvo y paños con alcohol isopropílico.

Como trabajo complementario, se deberá retirar la tapa metálica correspondientes al puente 1 y realizar lo siguiente:

- ✓ Realizar la medición de capacitancia de los condensadores C1, C2, C3, C4, C5 y C6 correspondientes a cada SCR del puente 2. (Ver Figura N°4)
- ✓ Realizar la medición de continuidad de los protistores FU1, FU2, FU3, FU4, FU5, FU6, FU7, FU8, FU9, FU10, FU11 y FU12 asociados a los SCR's del puente 2. (Ver Figura N°4)

Figura N°4



	Mantenimiento Sistemas de Excitación	Código MAN-2.3.0-PP-002	
		Pag. 16 de 28	Versión: 02
Proceso: Mantenimiento Eléctrico		Sub-proceso: Mantenimiento de Sistemas de Excitación	

Luego de la limpieza, realizar las siguientes MRA considerando que cada Fase es llamada como L1, L2 y L3 respectivamente. Las mediciones obtenidas se llenarán en los Formatos correspondientes. MRA @ 500V y 1 minuto.

- ✓ L1 vs Tierra
- ✓ L2 vs Tierra
- ✓ L3 vs Tierra
- ✓ L1 vs L2
- ✓ L2 vs L3
- ✓ L1 vs L3
- ✓ L1+L2+L3 vs Tierra

Tomar en cuenta la Nota 3, 4 y 5.

Tramo 4: Tramo íntegro del circuito DC. Este circuito va desde la salida de los SCR de los Puentes N°1 y N°2 hasta la Caja de Conexiones DC.

Para poder realizar las inspecciones, limpieza y MRA, se ejecutarán las siguientes desconexiones:

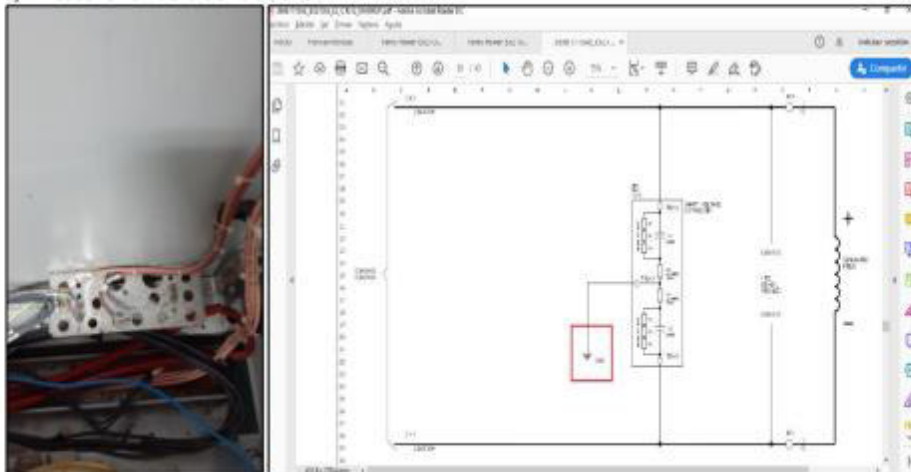
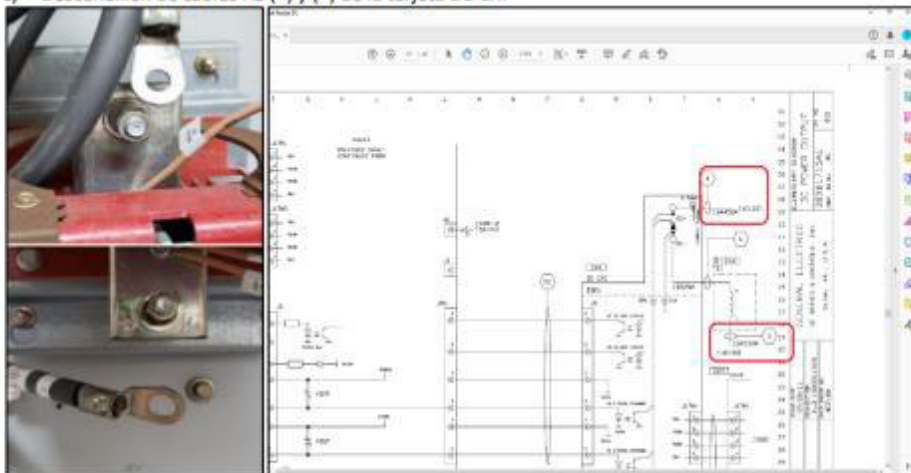
- a) Desconexión de cables de caja de conexiones en DC.



Nota 6

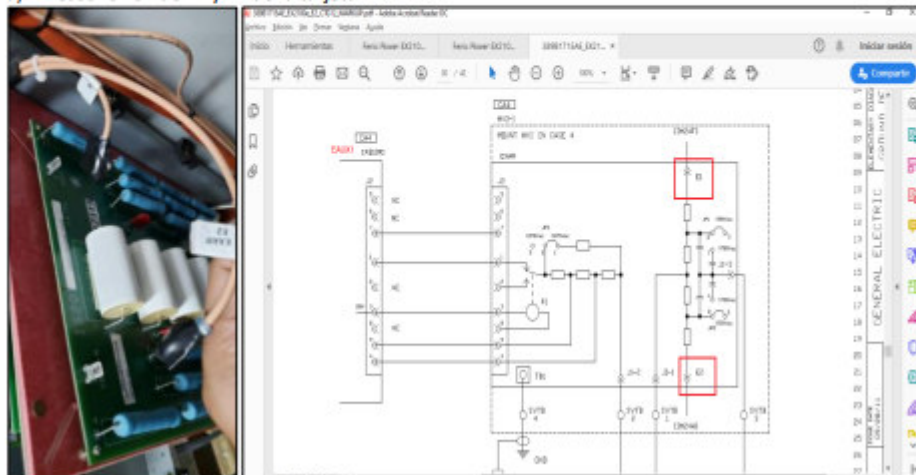
Proteger la Caja de conexiones DC con plástico para evitar el ingreso de humedad sobre las Barras y Aisladores de no ejecutar trabajos en esta área.

	Mantenimiento Sistemas de Excitación	Código MAN-2.3.0-PP-002	
		Pag. 17 de 28	Versión: 02
Proceso: Mantenimiento Eléctrico		Sub-proceso: Mantenimiento de Sistemas de Excitación	

b) Desconexión de la tierra de SVS.

c) Desconexión de cables HS (+) y (-) de la tarjeta DE-EX.


	Mantenimiento Sistemas de Excitación	Código MAN-2.3.0-PP-002	
		Pag. 18 de 28	Versión: 02
Proceso: Mantenimiento Eléctrico		Sub-proceso: Mantenimiento de Sistemas de Excitación	

d) Desconexión de E1 y E2 de la tarjeta EXAM.



Una vez realizadas las desconexiones, se procederá con una MRA inicial @ 500V y 1 minuto. Estas mediciones servirán como referencia para las mediciones posteriores después de la inspección y limpieza de los circuitos, equipos y aisladores de este Tramo.

Durante la inspección y limpieza de barras y aisladores de 480V del Tramo 1, también se realizó la inspección y limpieza del Circuito DC en la parte superior de los Gabinetes de Excitación. Se debe asegurar que estas actividades se realizaron de manera efectiva de tal forma de obtener buenos resultados en los MRA.

Luego de la limpieza, Realizar las siguientes MRA considerando que cada polo de la barra DC es llamado DC(+) y DC(-). MRA @ 500V y 1 minuto.

- ✓ DC(+) vs Tierra
- ✓ DC(-) vs Tierra
- ✓ DC(+) vs DC(-)
- ✓ DC(+) + DC(-) vs Tierra

Tomar en cuenta las Notas 3, 4 y 5.

Ejecución de trabajos de Normalización

Una vez se tengan los valores de MRA por encima de 5MΩ para los 04 Tramos, se procederá a la normalización de los circuitos desconectados. Para ello, realizar la reconexión de los circuitos desconectados anteriormente según lo siguiente:

Tramo 1. Tramo del Circuito AC que va desde la Caja de Conexiones de 480V hasta la entrada de los Interruptores de cada Puente (DISC1 y DISC2).

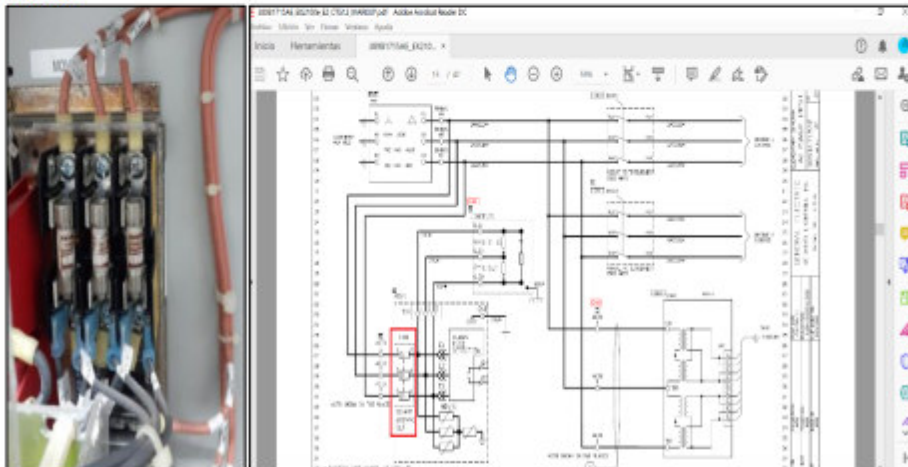
Acciones para ejecutar:

	Mantenimiento Sistemas de Excitación	Código MAN-2.3.0-PP-002	
		Pag. 19 de 28	Versión: 02
Proceso: Mantenimiento Eléctrico		Sub-proceso: Mantenimiento de Sistemas de Excitación	

a) Conexión y aplicación de Torque a los cables de fuerza en la Caja de Conexiones de 480 VAC. Cerrar tapa aplicando silicona para hermetizar contra la humedad.

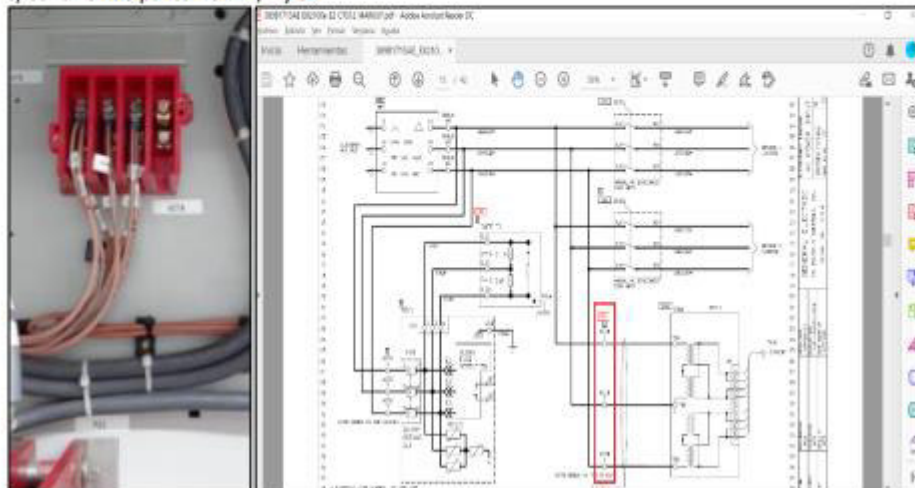


b) Reposición de fusibles FU1 asociados al LINE FILTER de 480 VAC previa verificación de continuidad de los mismos.



	Mantenimiento Sistemas de Excitación	Código MAN-2.3.0-PP-002	
		Pag. 20 de 28	Versión: 02
Proceso: Mantenimiento Eléctrico		Sub-proceso: Mantenimiento de Sistemas de Excitación	

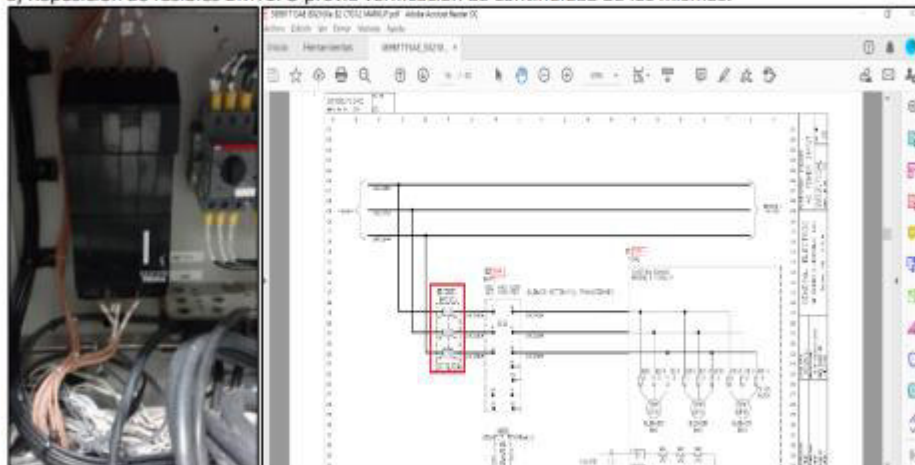
c) Conexión de punto ACTB 1, 2 y 3.



Tramo 2. Tramo en el Puente N°1 (BRIDGE 1). Desde la salida del Interruptor 1 de 480V (DISC1) hasta el ingreso al conjunto de SCR del mismo Puente.

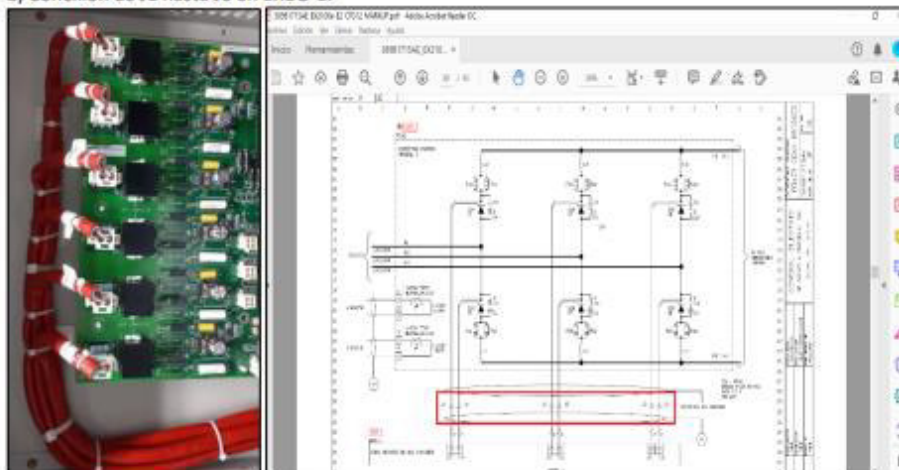
Reconexiones por ejecutar:

a) Reposición de fusibles BMT1FU previa verificación de continuidad de los mismos.

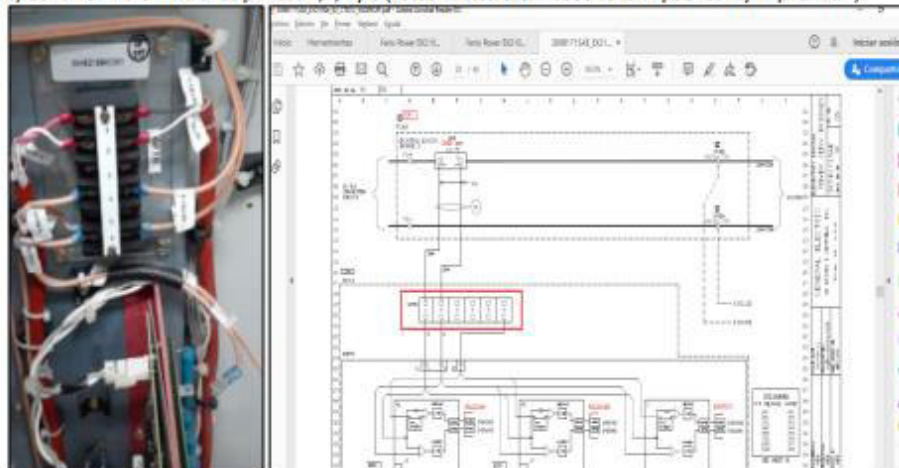


	Mantenimiento Sistemas de Excitación	Código MAN-2.3.0-PP-002	
		Pag. 21 de 28	Versión: 02
Proceso: Mantenimiento Eléctrico		Sub-proceso: Mantenimiento de Sistemas de Excitación	

b) Conexión de J1 hasta J6 en ERBG-1.

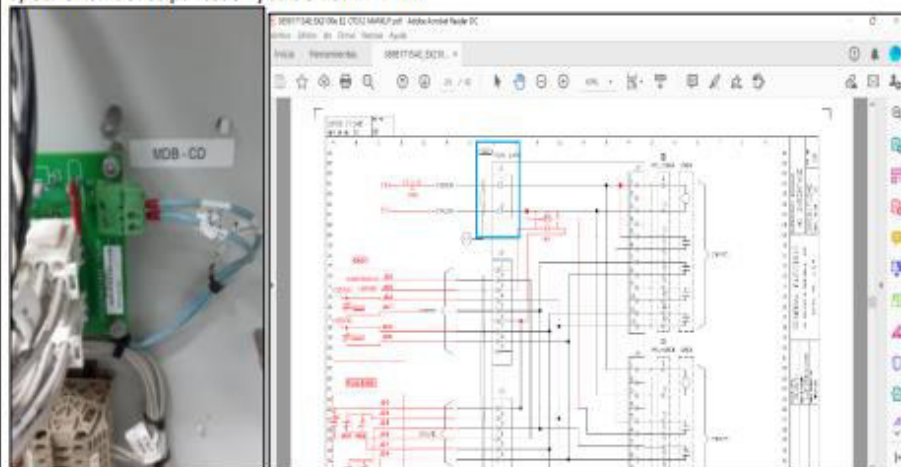


c) Conexión de GFTB de los puntos 1,2,4 y 6 (Estos cables están asociados al puente 1 y al puente 2).



	Mantenimiento Sistemas de Excitación	Código MAN-2.3.0-PP-002	
		Pag. 22 de 28	Versión: 02
Proceso: Mantenimiento Eléctrico		Sub-proceso: Mantenimiento de Sistemas de Excitación	

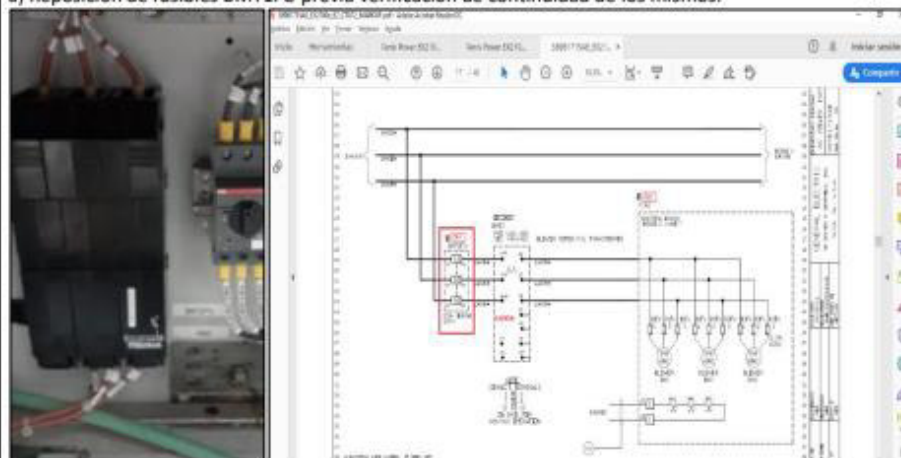
d) Conexión de los puntos J1 y J2 de PCA1-EXMD.



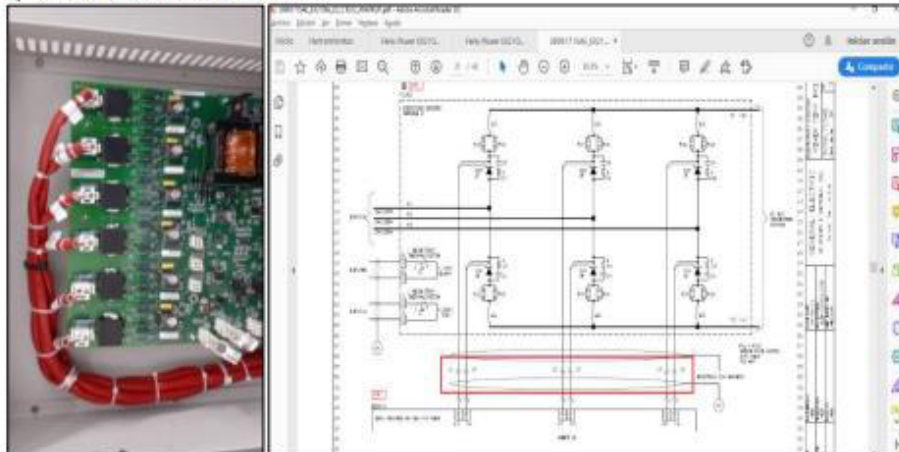
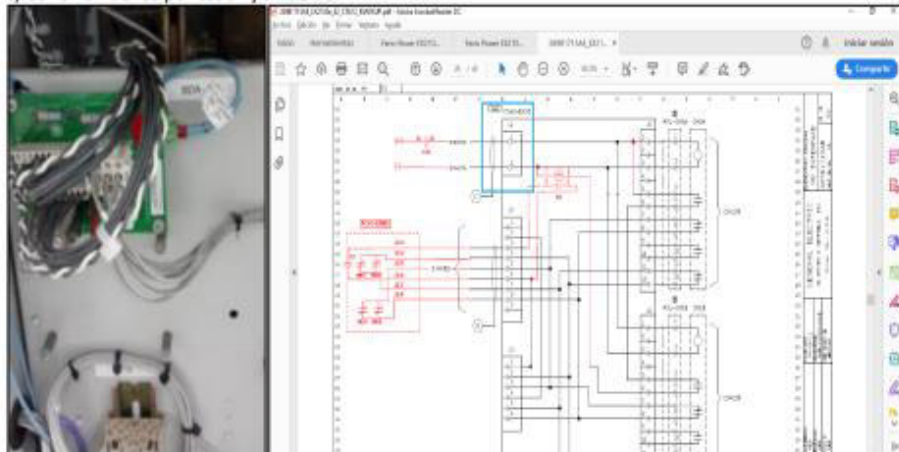
Tramo 3. Tramo en el Puente N°2 (BRIDGE 2). Desde la salida del Interruptor 2 de 480V (DISC2) hasta el ingreso al conjunto de SCR del mismo Puente.

Reconexiones por ejecutar:

a) Reposición de fusibles BMT1FU previa verificación de continuidad de los mismos.



	Mantenimiento Sistemas de Excitación	Código MAN-2.3.0-PP-002	
		Pag. 23 de 28	Versión: 02
Proceso: Mantenimiento Eléctrico		Sub-proceso: Mantenimiento de Sistemas de Excitación	

b) Conexión de J1 hasta J6 en ERBG-2.

c) Conexión de los puntos J1 y J2 de PCA2-EXMD.


Tramo 4. Tramo íntegro del circuito DC. Este circuito va desde la salida del SCR de los Puentes N°1 y N°2 hasta la caja de conexiones DC.

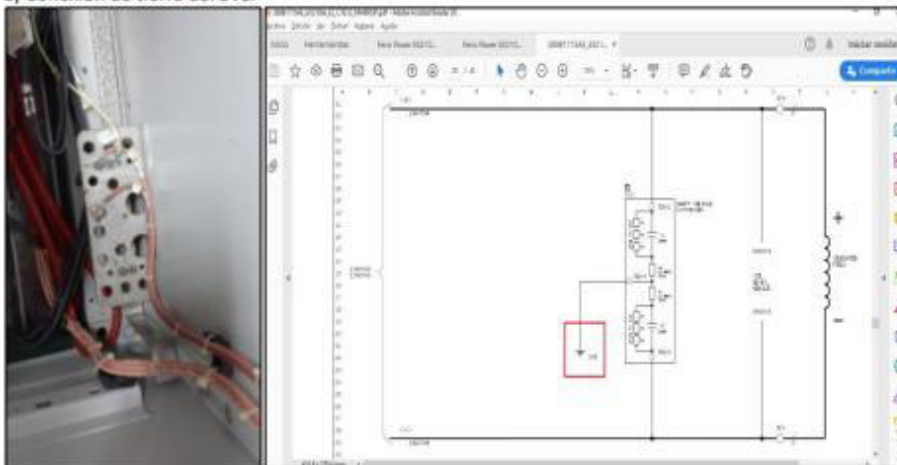
Reconexiones por ejecutar:

	Mantenimiento Sistemas de Excitación	Código MAN-2.3.0-PP-002	
		Pag. 24 de 28	Versión: 02
Proceso: Mantenimiento Eléctrico		Sub-proceso: Mantenimiento de Sistemas de Excitación	

a) Conexión de cables y tapa de caja de conexiones DC.

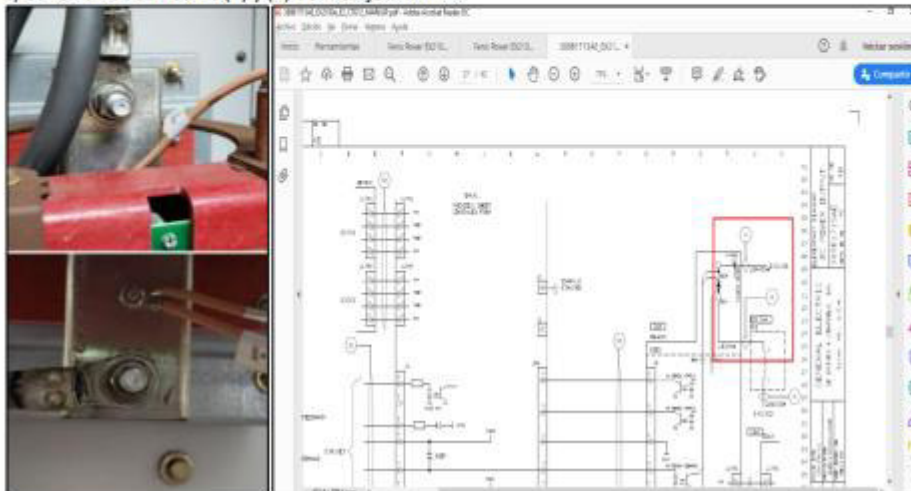


b) Conexión de tierra del SVS.

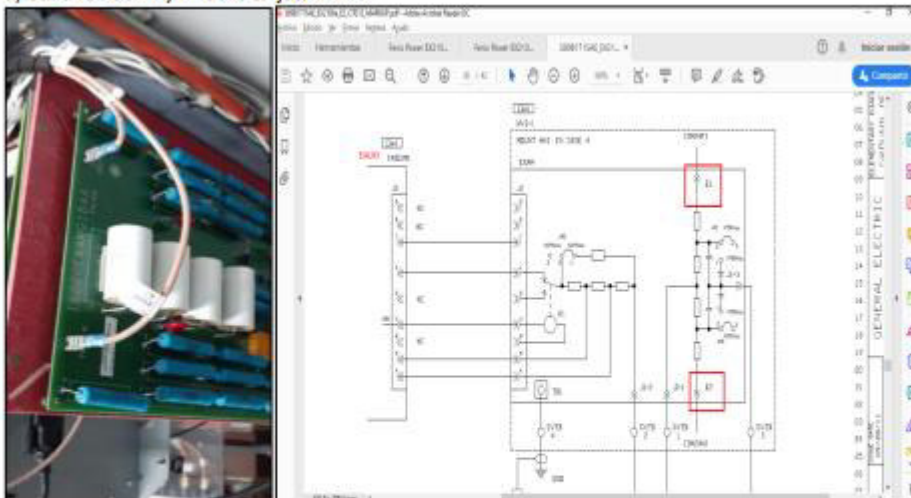


	Mantenimiento Sistemas de Excitación	Código MAN-2.3.0-PP-002	
		Pag. 25 de 28	Versión: 02
Proceso: Mantenimiento Eléctrico		Sub-proceso: Mantenimiento de Sistemas de Excitación	

c) Conexión de cables HS (+) y (-) de la tarjeta DE-EX.



d) Conexión de E1 y E2 de la tarjeta EXAM.



Para el ítem 6.1.3.4, se realizará las siguientes actividades:

Interruptores de Potencia

- ✓ Inspección y ajustes de pernos de Interruptores.
- ✓ Accionamiento (ON – OFF) para verificar correcto funcionamiento.
- ✓ Medición de Resistencia de Contacto de las 03 Fases del Interruptor en posición de Cerrado.

	Mantenimiento Sistemas de Excitación	Código MAN-2.3.0-PP-002	
		Pag. 26 de 28	Versión: 02
Proceso: Mantenimiento Eléctrico		Sub-proceso: Mantenimiento de Sistemas de Excitación	

Transformadores (TRX) de 480/460V

- ✓ Limpieza de externa e interna de TRX. Limpieza cuidadosa de ranuras de refrigeración de TRX. Aplicar nitrógeno si amerita.
- ✓ Medición de Resistencia de Bobina y MRA en lados Primario y Secundario.

Para el ítem 6.1.3.5, se realizará las siguientes actividades:

- ✓ Medición de Resistencia de Bobina y MRA de los 06 Motores.
- ✓ Revisar sus fusibles asociados y su continuidad.
- ✓ Medir la resistencia de contacto de los interruptores centrífugos de cada Motor. Estos no deberán superar un valor mayor a 1Ω. Si el valor es alto, se deberá retirar el ventilador para realizar el mantenimiento al interruptor centrífugo realizando limpieza y ajustes. Este contacto de los ventiladores centrífugos lleva una señal de alarma al MarkVIe como falla de ventiladores.

Nota 7

El valor de la resistencia de aislamiento de los motores de los ventiladores no debe ser menor a 5MΩ.

Para el ítem 6.1.3.6, se realizará la inspección y ajustes en todas las barras de fuerza, considerar las cajas de conexiones del circuito AC y DC, conexiones entre el electroducto y caja de conexiones.

Nota 8

Los pernos M19 deben ser ajustados con un torque de 85 Nm.

Para el ítem 6.1.3.7, se realizará la limpieza exhaustiva de las tarjetas electrónicas del case 2 y 4.

Para el ítem 6.1.3.8, se realizará el ajuste de bornes de los interruptores de potencia de los puentes 1 y 2, contacto de los interruptores centrífugos y borneras del case 2 y 4.

Nota 8

Para el ítem 6.1.3.7 y 6.1.3.8, se coordinará con el área de I&C.

Para el ítem 6.1.3.9, se realizará la prueba de acuerdo al documento MAN-2.0.0-PP-001(Formato de Intervención para Prueba de Alarma y Trip del FGD (Excitación Unidad N°1, 2 y 3).

6.2 Recursos técnicos
Mantenimiento Trimestral

- ✓ 01 técnico Fenix.

Mantenimiento Semestral

- ✓ 01 supervisor Fenix.
- ✓ 01 técnico electricista de Contratista.

Mantenimiento Anual

- ✓ 01 supervisor de Fenix. (Supervisión Dedicada)
- ✓ 03 técnicos electricistas de Contratista
- ✓ 01 técnico de fénix
- ✓ 01 operador de sala de control de fénix

6.3 Materiales, herramientas y suministros a emplear

	Mantenimiento Sistemas de Excitación	Código MAN-2.3.0-PP-002	
		Pag. 27 de 28	Versión: 02
Proceso: Mantenimiento Eléctrico		Sub-proceso: Mantenimiento de Sistemas de Excitación	

Considerar los siguientes equipos, herramientas y consumibles:

Equipos/Herramientas

- ✓ Multímetro digital Fluke 179.
- ✓ Medidor de aislamiento Megger mit1025-us.
- ✓ Luminarias incandescentes.
- ✓ Escaleras tijera 8 pasos.
- ✓ Aspiradora industrial.
- ✓ Juego de llaves Ratchet.

Consumibles. Materiales en SAP

- ✓ 137315. Precision Duster LPS 05710. Aire comprimido.
- ✓ 139852. Paños blancos industriales. Paño que no produce pelusas.
- ✓ 137394. Scotch Brite Marrón.
- ✓ 137644. Alcohol isopropílico.
- ✓ 113959. Nitrógeno gaseoso.

6.4 Equipos y herramientas para la ejecución del servicio

Ver ítem 6.3

6.5 Coordinación, supervisión y control

Se deberá contemplar tener vigente los siguientes documentos:

- ✓ ATS
- ✓ HSE-2.6.1-FR-001: Matriz IPER.
- ✓ HSE-3.2.1-FR-001: Matriz AIA.
- ✓ OPE-6.0.0-FR-001: Permiso de trabajo

6.6 Plazo y cronograma de ejecución

Se considera lo siguiente según el plan de mantenimiento MAN-2.3.0-PP-020.1 (Sistemas de Excitación).

- ✓ El plazo de ejecución para el Mantenimiento Trimestral y Semestral será de 3 y 5 HH respectivamente.
- ✓ El plazo máximo de ejecución para el Mantenimiento Anual será de 150 HH.

7 REQUISITOS DE SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE (HSE)

El trabajo se realizará con el soporte de una Empresa Contratista la cual debe cumplir con el ítem 6.5 y el Formato HSE 2.1.2 FR-001 de Fénix.

Entre otros requerimientos contenidos en los documentos del párrafo anterior, se cumplirá con usar y contar con lo siguiente:

EPP

- Ropa de trabajo. Pantalón de algodón y camisa o polos de algodón con manga larga.
- Lentes y/o sobre lentes de seguridad. Color claro.
- Casco de seguridad.
- Zapatos de seguridad.
- Guantes de cuero o de material sintético resistente a esfuerzos mecánicos.

Necesidades Normativas

- Charla de Inducción del personal designado al Servicio.

	Mantenimiento Sistemas de Excitación	Código MAN-2.3.0-PP-002	
		Pag. 28 de 28	Versión: 02
Proceso: Mantenimiento Eléctrico		Sub-proceso: Mantenimiento de Sistemas de Excitación	

- Seguro Complementario de Trabajo Riesgo SCTR.
- Aptitud médica del personal.
- Procedimientos de Seguridad.
- Plan de Contingencias.

8 ENTREGABLES

Reporte y Formato de actividades de Mantenimiento del Sistema de Excitación.

9 Control de Cambios

Versión	Fecha	Numeral Modificado	Descripción del Cambio
01	12/06/2018	No Aplica (NA)	Documento nuevo
02	04/09/2020	No Aplica (NA)	Mantenimiento anual modificado

10 AUTORIZACIONES

Realizado por: Alonso Guzman Garcia
 Revisado por: Alberto Oliva Fuentes
 Fecha: 04/09/2020

Aprobado por: jefe de
 mantenimiento

Fecha: 04/09/2020

Anexo N°18: Prueba de alarma y disparo del Detector de tierra de campo (FGD)

	Formato de Intervención para Prueba de Alarma y Trip del FGD (Excitación Unidad N°1, 2 y 3).	Código MAN-2.0.0-PP-001	
		Pag. 1 de 9	Versión: 04
Proceso: Mantenimiento Eléctrico		Sub-proceso:	

Fecha de emisión: 08/09/2020			
1. TITULO DEL FORMATO			
Código:		Descripción:	Prueba de Alarma y Trip del FGD (Field Ground Detector) del Sistema de Excitación.
2. OBJETIVOS (GENERALES Y ESPECÍFICOS)			
Objetivo General. Proteger a los Sistemas de Excitación y al Generadores de la CT Fenix.			
Objetivo Específico. Verificar que las protecciones del sistema de excitación, en referencia al monitoreo de su Sistema DC y al Bobinado del Rotor del Generador, estén operando adecuadamente.			
3. ALCANCE DEL FORMATO			
El alcance del siguiente Procedimiento contempla a los Sistemas de Excitación de la Unidad N°1, 2 y 3 de la CT Fenix.			
4. ANTECEDENTES			
1. El día 10/10/19 se realizó por primera vez la prueba del FGD en el sistema de excitación de la Unidad N°1.			
5. ESPECIFICACIONES, NORMAS Y DOCUMENTOS DE APLICACIÓN			
Los documentos aplicados a esta intervención son los siguientes: a) MAN-2.3.0-PP-020.1: Plan de mantenimiento. b) Planos del Sistema de Excitación GE 389B1714AE			
6. DESCRIPCIÓN DE LA INTERVENCIÓN			
6.1 Metodología y procedimientos para la Intervención			
Condiciones del Sistema de Excitación: a. El sistema de control del EX2100e debe estar energizado. b. Todos los circuitos deben estar conectados y operativos tanto en AC como en DC.			
Se deben ejecutar las siguientes actividades para efectos de la presente Intervención 1. De acuerdo con la Figura N°1, medir el voltaje DC con un multímetro digital conectando un terminal a E1 o E2 de la tarjeta EXAM y el otro a tierra, luego observar el ciclo de voltaje en el multímetro el cual tiene que ser aproximadamente 50V a -50V (Ver Figura N°2) cada 10 segundos, este voltaje debe estar presente para que funcione el detector de tierra.			

	Formato de Intervención para Prueba de Alarma y Trip del FGD (Excitación Unidad N°1, 2 y 3).	Código MAN-2.0.0-PP-001	
		Pag. 2 de 9	Versión: 04
Proceso: Mantenimiento Eléctrico		Sub-proceso:	

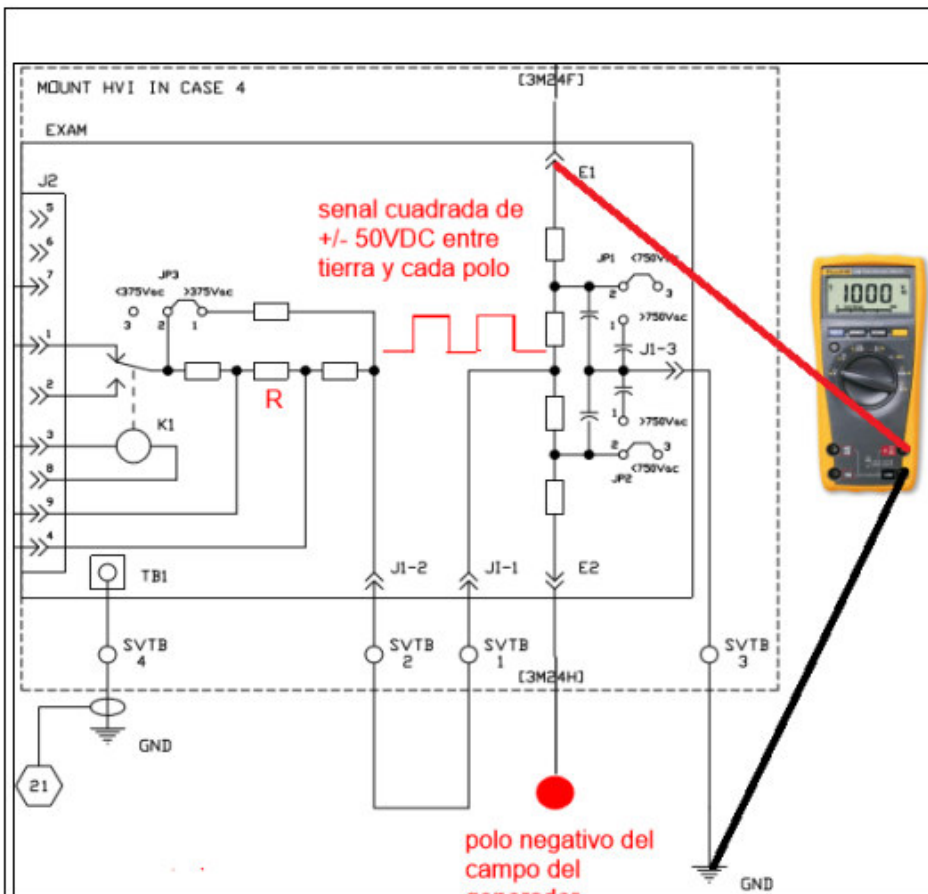


Figura N°1: Diagrama de conexión de multímetro

	Formato de Intervención para Prueba de Alarma y Trip del FGD (Excitación Unidad N°1, 2 y 3).	Código MAN-2.0.0-PP-001	
		Pag. 3 de 9	Versión: 04
Proceso: Mantenimiento Eléctrico		Sub-proceso:	



Figura N°2: Voltaje medido entre el terminal E1 y tierra

2. Con el sistema de control del EX2100e energizado, monitorear la resistencia de aislamiento **Fid Grd Ohms** actual en el HMI del gabinete (Ver Figura N° 3), luego sin desconectar los terminales E1 y E2 de la tarjeta EXAM conectar un terminal la caja de resistencia de década a la barra de salida en DC (barra donde se conecta los terminales E1 y E2) y el otro terminal a tierra (Ver Nota 1), la resistencia visualizada en el HMI del gabinete debe cambiar al valor de la resistencia de la década establecida.

Nota 1: Por motivos de contar solo con una década de 1100 Ohmios, para la prueba de alarma se conectó en serie a la década, 4 resistencias de 1000 Ohmios de 0.5 W de tal manera que se pudo llegar a un valor de 5100 Ohmios y para la prueba de trip se conectó en serie a la década, una resistencia de 1000 Ohmios de 0.5 W de tal manera que se pudo llegar a un valor de 2100 Ohmios (Ver Figura N° 5 y 6).

	Formato de Intervención para Prueba de Alarma y Trip del FGD (Excitación Unidad N°1, 2 y 3).	Código MAN-2.0.0-PP-001	
		Pag. 4 de 9	Versión: 04
Proceso: Mantenimiento Eléctrico		Sub-proceso:	

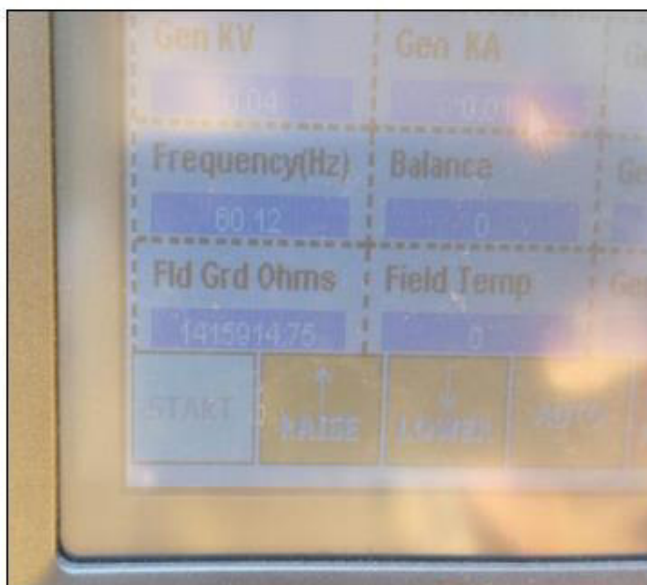


Figura N°3: Resistencia visualizada en el HMI del gabinete antes de conectar la década de resistencia



Figura N°4: Barra de los polos positivo y negativo del campo del generador

	Formato de Intervención para Prueba de Alarma y Trip del FGD (Excitación Unidad N°1, 2 y 3).	Código MAN-2.0.0-PP-001	
		Pag. 5 de 9	Versión: 04
Proceso: Mantenimiento Eléctrico		Sub-proceso:	

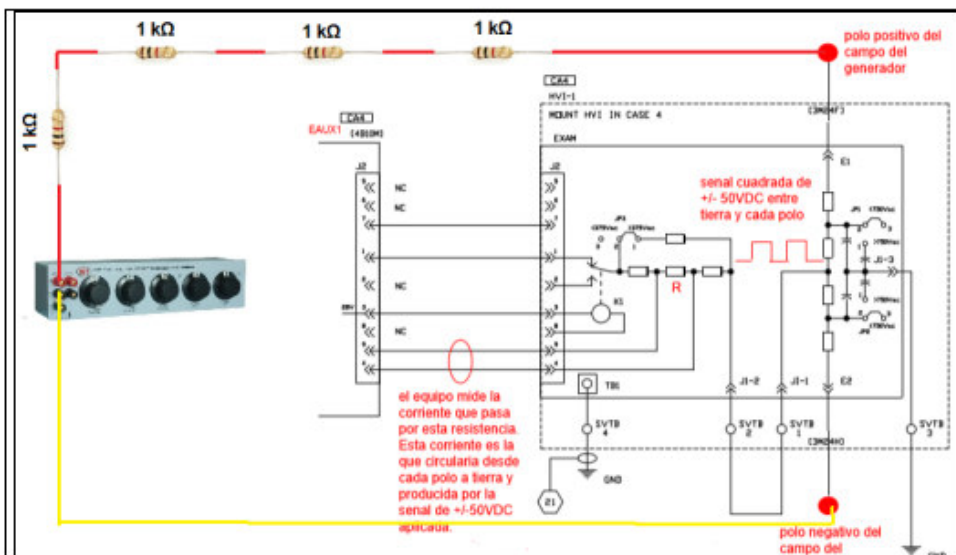


Figura N°5: Diagrama de conexión de resistencias para prueba de alarma

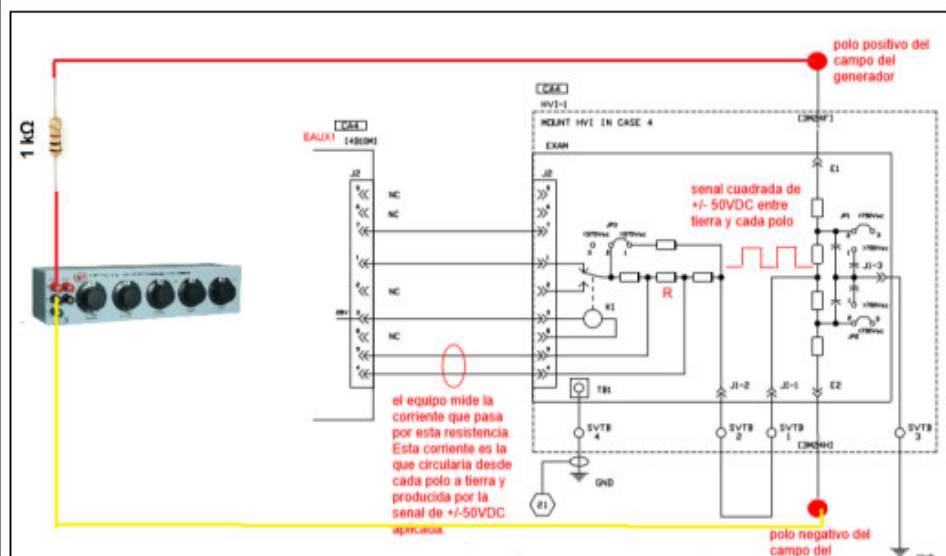


Figura N°6: Diagrama de conexión de resistencias para prueba de trip

	Formato de Intervención para Prueba de Alarma y Trip del FGD (Excitación Unidad N°1, 2 y 3).	Código MAN-2.0.0-PP-001	
		Pag. 6 de 9	Versión: 04
Proceso: Mantenimiento Eléctrico		Sub-proceso:	

Nota 2:

Según indicaciones enviadas por GE, el cálculo de la resistencia de tierra debe estar dentro del 10% de la resistencia aplicada de la caja de la década.

3. Disminuir la resistencia del conjunto de resistencias en serie a un valor inferior a **FGD ALARM RESISTANCE** establecido en 5000 Ohmios. Esto debería generar una alarma del detector de tierra de campo **Gen Gnd Fit Alm** (Ver Figura N°8), que no se reiniciara hasta que la resistencia de la década se establezca por encima del punto de ajuste de la alarma, ósea un valor mayor a 5000 Ohmios.



Figura N°7: Valor de resistencia inicial del conjunto de resistencias para la prueba de Alarma del FGD visualizado en el HMI del gabinete

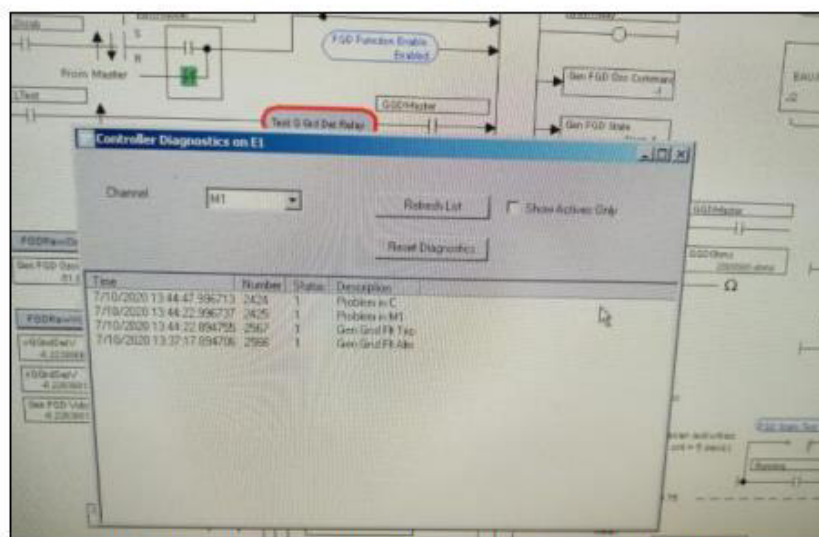


Figura N°8: Alarma visualizada por resistencia de aislamiento debajo de 5000 Ohmios

	Formato de Intervención para Prueba de Alarma y Trip del FGD (Excitación Unidad N°1, 2 y 3).	Código MAN-2.0.0-PP-001	
		Pag. 7 de 9	Versión: 04
		Proceso: Mantenimiento Eléctrico	
Sub-proceso:			

4. Disminuir la resistencia del conjunto de resistencias en serie a un valor inferior **FGD TRIP RESISTANCE** establecido en 2000 Ohmios. Esto debería generar un Trip del detector de tierra de campo junto con dos problemas los cuales son: **Problem in C, Problem in M1 y Gen Gnd Flt Trip** (Ver Figura N°10), que no se reiniciara hasta que la resistencia de la década se establezca por encima del punto de ajuste del Trip, ósea un valor mayor a 2000 Ohmios.



Figura N°9: Valor de resistencia inicial del conjunto de resistencias en serie para la prueba de Trip del FGD visualizada en el HMI del gabinete

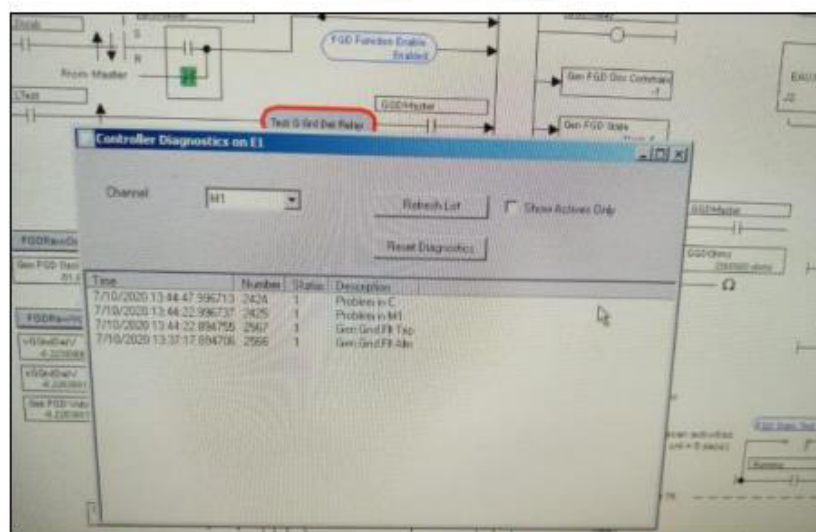


Figura N°10: Trip y problemas visualizados por resistencia de aislamiento debajo de 2000 Ohmios

	Formato de Intervención para Prueba de Alarma y Trip del FGD (Excitación Unidad N°1, 2 y 3).	Código MAN-2.0.0-PP-001	
		Pag. 8 de 9	Versión: 04
Proceso: Mantenimiento Eléctrico		Sub-proceso:	
5. Repita los pasos del 1 al 4 con M2 como maestro principal. Retire la caja de la década y borre las alarmas y Trips cuando se complete la prueba del detector de tierra.			
6.2 Recursos técnicos			
✓ 01 supervisor de fénix. (Supervisión Dedicada) ✓ 01 técnico electricistas de fénix ✓ 01 operador de sala de control de fénix			
6.3 Materiales y suministros a emplear			
a) Multímetro digital Fluke 179 b) Década de resistencia de 1.1 kΩ marca IET LABS INC modelo HARS-X-6-0.001 c) 4 resistencias de 1 kΩ de 0.5 W. d) Cables conectores.			
6.4 Equipos y herramientas para la ejecución del servicio			
Ver ítem 6.3			
6.5 Coordinación, supervisión y control			
Se deberá contemplar tener vigente los siguientes documentos: ✓ ATS ✓ HSE-2.6.1-FR-001: Matriz IPER. ✓ HSE-3.2.1-FR-001: Matriz AIA. ✓ OPE-6.0.0-FR-001: Permiso de trabajo			
6.6 Plazo y cronograma de ejecución			
Se considera lo siguiente según el plan de mantenimiento MAN-2.3.0-PP-020.1 (Sistemas de Excitación). ✓ El plazo de ejecución para la prueba será de 2 HH.			
6.7 Trabajos Pendientes			
6.8 Certificaciones de calidad			
6.9 Observaciones adicionales			
Para la ejecución de la prueba se debe coordinar con el área de operaciones a fin de verificar la visualización de las alarmas descritas en la figura N°8 y 10.			
7 REQUISITOS DE SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE (HSE)			
Ver el ítem 6.5 y el Formato HSE 2.1.2 FR-001 de Fénix.			
8 ENTREGABLES			
Reporte de actividades de Mantenimiento del Sistema de Excitación.			

	Formato de Intervención para Prueba de Alarma y Trip del FGD (Excitación Unidad N°1, 2 y 3).	Código MAN-2.0.0-PP-001	
		Pag. 9 de 9	Versión: 04
Proceso: Mantenimiento Eléctrico		Sub-proceso:	

9 TEMAS ADICIONALES 1
10 Control de Cambios

Versión	Fecha	Numeral Modificado	Descripción del Cambio
01	08/09/2020	No Aplica (NA)	Documento nuevo

11 AUTORIZACIONES

Realizado por: Alonso Guzman García
 Revisado por: Alberto Oliva
 Fecha: 08/09/2020

Aprobado por: Jefe de mantenimiento
 Fecha: 08/09/2020

Anexo N°19: Calculo de la sumatoria de la resta del CMPgi del SEIN y el CMgi de la barra Fenix 500

Fecha	Costo marginal promedio - CMPgi (S/ /MWh)	Costo marginal en la barra Fenix 500 - CMgi (S/ /MWh)	CMPgi-Cmgi (S/ /MWh)
05/07/2020 10:15:00	30.69	29.78	0.91
05/07/2020 10:30:00	30.69	29.78	0.91
05/07/2020 10:45:00	30.95	30.00	0.95
05/07/2020 11:00:00	30.95	30.00	0.95
05/07/2020 11:15:00	30.88	29.97	0.91
05/07/2020 11:30:00	30.88	29.97	0.91
05/07/2020 11:45:00	30.97	30.05	0.92
05/07/2020 12:00:00	30.97	30.05	0.92
05/07/2020 12:15:00	31.64	30.67	0.98
05/07/2020 12:30:00	31.64	30.67	0.98
05/07/2020 12:45:00	30.94	30.10	0.84
05/07/2020 13:00:00	30.94	30.10	0.84
05/07/2020 13:15:00	31.67	30.63	1.04
05/07/2020 13:30:00	31.67	30.63	1.04
05/07/2020 13:45:00	30.90	29.94	0.97
05/07/2020 14:00:00	30.90	29.94	0.97
05/07/2020 14:15:00	31.67	30.58	1.09
05/07/2020 14:30:00	31.67	30.58	1.09
05/07/2020 14:45:00	31.67	30.56	1.11
05/07/2020 15:00:00	31.67	30.56	1.11
05/07/2020 15:15:00	31.59	30.48	1.11
05/07/2020 15:30:00	31.59	30.48	1.11
05/07/2020 15:45:00	31.72	30.55	1.17
05/07/2020 16:00:00	31.72	30.55	1.17
05/07/2020 16:15:00	31.79	30.63	1.17
05/07/2020 16:30:00	31.79	30.63	1.17
05/07/2020 16:45:00	31.72	30.53	1.19
05/07/2020 17:00:00	31.72	30.53	1.19
05/07/2020 17:15:00	31.81	30.58	1.24
05/07/2020 17:30:00	31.81	30.58	1.24
05/07/2020 17:45:00	32.55	31.31	1.24
05/07/2020 18:00:00	32.55	31.31	1.24
05/07/2020 18:15:00	32.51	31.32	1.19
05/07/2020 18:30:00	32.51	31.32	1.19
05/07/2020 18:45:00	32.76	31.71	1.05
05/07/2020 19:00:00	32.76	31.71	1.05
05/07/2020 19:15:00	32.61	31.44	1.17
05/07/2020 19:30:00	32.61	31.44	1.17
05/07/2020 19:45:00	32.55	31.48	1.07
05/07/2020 20:00:00	32.55	31.48	1.07
05/07/2020 20:15:00	32.28	31.17	1.11
05/07/2020 20:30:00	32.28	31.17	1.11

05/07/2020 20:45:00	32.39	31.31	1.08
05/07/2020 21:00:00	32.39	31.31	1.08
05/07/2020 21:15:00	31.91	30.82	1.09
05/07/2020 21:30:00	31.91	30.82	1.09
05/07/2020 21:45:00	32.06	30.96	1.10
05/07/2020 22:00:00	32.06	30.96	1.10
05/07/2020 22:15:00	31.73	30.57	1.16
05/07/2020 22:30:00	31.73	30.57	1.16
05/07/2020 22:45:00	31.54	30.46	1.08
05/07/2020 23:00:00	31.54	30.46	1.08
05/07/2020 23:15:00	31.50	30.45	1.05
05/07/2020 23:30:00	31.50	30.45	1.05
05/07/2020 23:45:00	31.06	29.96	1.10
06/07/2020 00:00:00	31.06	29.96	1.10
06/07/2020 00:15:00	34.11	33.01	1.10
06/07/2020 00:30:00	34.11	33.01	1.10
06/07/2020 00:45:00	34.21	33.09	1.12
06/07/2020 01:00:00	34.21	33.09	1.12
06/07/2020 01:15:00	34.22	33.04	1.18
06/07/2020 01:30:00	34.22	33.04	1.18
06/07/2020 01:45:00	34.04	32.90	1.14
06/07/2020 02:00:00	34.04	32.90	1.14
06/07/2020 02:15:00	34.13	32.96	1.18
06/07/2020 02:30:00	34.13	32.96	1.18
06/07/2020 02:45:00	34.05	32.83	1.22
06/07/2020 03:00:00	34.05	32.83	1.22
06/07/2020 03:15:00	34.06	32.84	1.22
06/07/2020 03:30:00	34.06	32.84	1.22
06/07/2020 03:45:00	32.11	30.98	1.13
06/07/2020 04:00:00	32.11	30.98	1.13
06/07/2020 04:15:00	31.99	30.83	1.16
06/07/2020 04:30:00	31.99	30.83	1.16
06/07/2020 04:45:00	32.06	30.85	1.21
06/07/2020 05:00:00	32.06	30.85	1.21
06/07/2020 05:15:00	31.61	30.31	1.30
06/07/2020 05:30:00	31.61	30.31	1.30
06/07/2020 05:45:00	31.86	30.61	1.25
06/07/2020 06:00:00	31.86	30.61	1.25
06/07/2020 06:15:00	31.72	30.56	1.16
06/07/2020 06:30:00	31.72	30.56	1.16
06/07/2020 06:45:00	31.69	30.56	1.13
06/07/2020 07:00:00	31.69	30.56	1.13
06/07/2020 07:15:00	31.72	30.62	1.11
06/07/2020 07:30:00	31.72	30.62	1.11
06/07/2020 07:45:00	31.82	30.78	1.04
06/07/2020 08:00:00	31.82	30.78	1.04
06/07/2020 08:15:00	32.28	31.11	1.16
06/07/2020 08:30:00	32.28	31.11	1.16

06/07/2020 08:45:00	32.37	31.19	1.18
06/07/2020 09:00:00	32.37	31.19	1.18
06/07/2020 09:15:00	31.90	30.85	1.05
06/07/2020 09:30:00	31.90	30.85	1.05
06/07/2020 09:45:00	32.07	31.03	1.04
06/07/2020 10:00:00	32.07	31.03	1.04
06/07/2020 10:15:00	32.16	31.13	1.03
06/07/2020 10:30:00	32.16	31.13	1.03
06/07/2020 10:45:00	32.07	31.07	1.01
06/07/2020 11:00:00	32.07	31.07	1.01
06/07/2020 11:15:00	32.66	31.69	0.98
06/07/2020 11:30:00	32.66	31.69	0.98
06/07/2020 11:45:00	32.51	31.54	0.97
06/07/2020 12:00:00	32.51	31.54	0.97
06/07/2020 12:15:00	32.19	31.23	0.96
06/07/2020 12:30:00	32.19	31.23	0.96
06/07/2020 12:45:00	32.21	31.23	0.98
06/07/2020 13:00:00	32.21	31.23	0.98
06/07/2020 13:15:00	32.15	31.20	0.96
06/07/2020 13:30:00	32.15	31.20	0.96
06/07/2020 13:45:00	32.02	30.96	1.07
06/07/2020 14:00:00	32.02	30.96	1.07
06/07/2020 14:15:00	31.71	30.62	1.09
06/07/2020 14:30:00	31.71	30.62	1.09
06/07/2020 14:45:00	31.70	30.59	1.11
06/07/2020 15:00:00	31.70	30.59	1.11
06/07/2020 15:15:00	31.74	30.66	1.08
06/07/2020 15:30:00	31.74	30.66	1.08
06/07/2020 15:45:00	31.83	30.71	1.11
06/07/2020 16:00:00	31.83	30.71	1.11
06/07/2020 16:15:00	31.61	30.48	1.13
06/07/2020 16:30:00	31.61	30.48	1.13
06/07/2020 16:45:00	31.54	30.47	1.07
06/07/2020 17:00:00	31.54	30.47	1.07
06/07/2020 17:15:00	31.55	30.47	1.08
06/07/2020 17:30:00	31.55	30.47	1.08
06/07/2020 17:45:00	31.66	30.56	1.09
06/07/2020 18:00:00	31.66	30.56	1.09
06/07/2020 18:15:00	31.96	30.74	1.22
06/07/2020 18:30:00	31.96	30.74	1.22
06/07/2020 18:45:00	31.78	30.57	1.21
06/07/2020 19:00:00	31.78	30.57	1.21
06/07/2020 19:15:00	32.89	31.63	1.27
06/07/2020 19:30:00	32.89	31.63	1.27
06/07/2020 19:45:00	31.75	30.54	1.21
06/07/2020 20:00:00	31.75	30.54	1.21
06/07/2020 20:15:00	31.91	30.62	1.29
06/07/2020 20:30:00	31.91	30.62	1.29

06/07/2020 20:45:00	31.67	30.52	1.15
06/07/2020 21:00:00	31.67	30.52	1.15
06/07/2020 21:15:00	31.75	30.64	1.12
06/07/2020 21:30:00	31.75	30.64	1.12
06/07/2020 21:45:00	31.62	30.49	1.13
06/07/2020 22:00:00	31.62	30.49	1.13
06/07/2020 22:15:00	31.73	30.51	1.22
06/07/2020 22:30:00	31.73	30.51	1.22
06/07/2020 22:45:00	31.89	30.59	1.30
06/07/2020 23:00:00	31.89	30.59	1.30
06/07/2020 23:15:00	31.45	30.46	0.99
06/07/2020 23:30:00	31.45	30.46	0.99
06/07/2020 23:45:00	31.40	30.44	0.96
07/07/2020 00:00:00	31.40	30.44	0.96
07/07/2020 00:15:00	31.77	30.56	1.21
07/07/2020 00:30:00	31.77	30.56	1.21
07/07/2020 00:45:00	31.76	30.54	1.22
07/07/2020 01:00:00	31.76	30.54	1.22
07/07/2020 01:15:00	31.73	30.52	1.20
07/07/2020 01:30:00	31.73	30.52	1.20
07/07/2020 01:45:00	31.71	30.49	1.22
07/07/2020 02:00:00	31.71	30.49	1.22
07/07/2020 02:15:00	31.73	30.51	1.22
07/07/2020 02:30:00	31.73	30.51	1.22
07/07/2020 02:45:00	31.69	30.49	1.20
07/07/2020 03:00:00	31.69	30.49	1.20
07/07/2020 03:15:00	31.71	30.50	1.21
07/07/2020 03:30:00	31.71	30.50	1.21
07/07/2020 03:45:00	31.79	30.53	1.25
07/07/2020 04:00:00	31.79	30.53	1.25
07/07/2020 04:15:00	31.83	30.56	1.27
07/07/2020 04:30:00	31.83	30.56	1.27
07/07/2020 04:45:00	31.85	30.57	1.28
07/07/2020 05:00:00	31.85	30.57	1.28
07/07/2020 05:15:00	31.90	30.60	1.30
07/07/2020 05:30:00	31.90	30.60	1.30
07/07/2020 05:45:00	31.74	30.59	1.15
07/07/2020 06:00:00	31.74	30.59	1.15
07/07/2020 06:15:00	31.58	30.51	1.07
07/07/2020 06:30:00	31.58	30.51	1.07
07/07/2020 06:45:00	31.61	30.62	0.99
07/07/2020 07:00:00	31.61	30.62	0.99
07/07/2020 07:15:00	31.79	30.75	1.03
07/07/2020 07:30:00	31.79	30.75	1.03
07/07/2020 07:45:00	31.88	30.84	1.04
07/07/2020 08:00:00	31.88	30.84	1.04
07/07/2020 08:15:00	32.26	31.19	1.07
07/07/2020 08:30:00	32.26	31.19	1.07

07/07/2020 08:45:00	32.23	31.16	1.07
07/07/2020 09:00:00	32.23	31.16	1.07
07/07/2020 09:15:00	32.16	31.07	1.09
07/07/2020 09:30:00	32.16	31.07	1.09
07/07/2020 09:45:00	32.26	31.17	1.10
07/07/2020 10:00:00	32.26	31.17	1.10
07/07/2020 10:15:00	32.10	31.06	1.04
07/07/2020 10:30:00	32.10	31.06	1.04
07/07/2020 10:45:00	31.94	30.87	1.06
07/07/2020 11:00:00	31.94	30.87	1.06
07/07/2020 11:15:00	31.91	30.90	1.01
07/07/2020 11:30:00	31.91	30.90	1.01
07/07/2020 11:45:00	31.80	30.81	1.00
07/07/2020 12:00:00	31.80	30.81	1.00
07/07/2020 12:15:00	31.52	30.48	1.04
07/07/2020 12:30:00	31.52	30.48	1.04
07/07/2020 12:45:00	31.91	30.81	1.10
07/07/2020 13:00:00	31.91	30.81	1.10
07/07/2020 13:15:00	31.66	30.56	1.09
07/07/2020 13:30:00	31.66	30.56	1.09
07/07/2020 13:45:00	31.59	30.50	1.10
07/07/2020 14:00:00	31.59	30.50	1.10
07/07/2020 14:15:00	31.44	30.53	0.91
07/07/2020 14:30:00	31.44	30.53	0.91
07/07/2020 14:45:00	31.44	30.55	0.89
07/07/2020 15:00:00	31.44	30.55	0.89
07/07/2020 15:15:00	31.56	30.55	1.01
07/07/2020 15:30:00	31.56	30.55	1.01
07/07/2020 15:45:00	31.49	30.46	1.03
07/07/2020 16:00:00	31.49	30.46	1.03
07/07/2020 16:15:00	31.55	30.46	1.09
07/07/2020 16:30:00	31.55	30.46	1.09
07/07/2020 16:45:00	31.54	30.46	1.08
07/07/2020 17:00:00	31.54	30.46	1.08
07/07/2020 17:15:00	31.57	30.51	1.06
07/07/2020 17:30:00	31.57	30.51	1.06
07/07/2020 17:45:00	31.64	30.50	1.14
07/07/2020 18:00:00	31.64	30.50	1.14
07/07/2020 18:15:00	31.77	30.66	1.11
07/07/2020 18:30:00	31.77	30.66	1.11
07/07/2020 18:45:00	31.84	30.73	1.11
07/07/2020 19:00:00	31.84	30.73	1.11
07/07/2020 19:15:00	31.74	30.66	1.09
07/07/2020 19:30:00	31.74	30.66	1.09
07/07/2020 19:45:00	31.88	30.77	1.11
07/07/2020 20:00:00	31.88	30.77	1.11
07/07/2020 20:15:00	31.69	30.60	1.09
07/07/2020 20:30:00	31.69	30.60	1.09

07/07/2020 20:45:00	31.72	30.65	1.07
07/07/2020 21:00:00	31.72	30.65	1.07
07/07/2020 21:15:00	31.61	30.62	0.98
07/07/2020 21:30:00	31.61	30.62	0.98
07/07/2020 21:45:00	31.49	30.56	0.94
07/07/2020 22:00:00	31.49	30.56	0.94
07/07/2020 22:15:00	31.57	30.56	1.01
07/07/2020 22:30:00	31.57	30.56	1.01
07/07/2020 22:45:00	31.78	30.74	1.04
07/07/2020 23:00:00	31.78	30.74	1.04
07/07/2020 23:15:00	31.45	30.46	0.99
07/07/2020 23:30:00	31.45	30.46	0.99
07/07/2020 23:45:00	31.86	30.62	1.24
08/07/2020 00:00:00	31.86	30.62	1.24
08/07/2020 00:15:00	31.78	30.67	1.12
08/07/2020 00:30:00	31.78	30.67	1.12
08/07/2020 00:45:00	31.72	30.57	1.14
08/07/2020 01:00:00	31.72	30.57	1.14
08/07/2020 01:15:00	31.71	30.50	1.21
08/07/2020 01:30:00	31.71	30.50	1.21
08/07/2020 01:45:00	31.87	30.60	1.27
08/07/2020 02:00:00	31.87	30.60	1.27
08/07/2020 02:15:00	31.85	30.62	1.23
08/07/2020 02:30:00	31.85	30.62	1.23
08/07/2020 02:45:00	31.82	30.58	1.24
08/07/2020 03:00:00	31.82	30.58	1.24
08/07/2020 03:15:00	31.94	30.65	1.29
08/07/2020 03:30:00	31.94	30.65	1.29
08/07/2020 03:45:00	31.99	30.70	1.29
08/07/2020 04:00:00	31.99	30.70	1.29
08/07/2020 04:15:00	31.99	30.72	1.27
08/07/2020 04:30:00	31.99	30.72	1.27
08/07/2020 04:45:00	32.16	30.82	1.34
08/07/2020 05:00:00	32.16	30.82	1.34
08/07/2020 05:15:00	31.99	30.72	1.28
08/07/2020 05:30:00	31.99	30.72	1.28
08/07/2020 05:45:00	31.92	30.69	1.23
08/07/2020 06:00:00	31.92	30.69	1.23
08/07/2020 06:15:00	31.92	30.78	1.15
08/07/2020 06:30:00	31.92	30.78	1.15
08/07/2020 06:45:00	32.07	30.88	1.19
08/07/2020 07:00:00	32.07	30.88	1.19
08/07/2020 07:15:00	31.86	30.73	1.13
08/07/2020 07:30:00	31.86	30.73	1.13
08/07/2020 07:45:00	32.34	31.04	1.31
08/07/2020 08:00:00	32.34	31.04	1.31
08/07/2020 08:15:00	32.08	30.81	1.27
08/07/2020 08:30:00	32.08	30.81	1.27

08/07/2020 08:45:00	32.05	30.80	1.25
08/07/2020 09:00:00	32.05	30.80	1.25
08/07/2020 09:15:00	32.32	30.96	1.36
08/07/2020 09:30:00	32.32	30.96	1.36
08/07/2020 09:45:00	32.34	31.10	1.25
08/07/2020 10:00:00	32.34	31.10	1.25
08/07/2020 10:15:00	32.26	31.03	1.23
08/07/2020 10:30:00	32.26	31.03	1.23
08/07/2020 10:45:00	32.10	30.82	1.27
08/07/2020 11:00:00	32.10	30.82	1.27
08/07/2020 11:15:00	31.98	30.78	1.20
08/07/2020 11:30:00	31.98	30.78	1.20
08/07/2020 11:45:00	32.05	30.85	1.20
08/07/2020 12:00:00	32.05	30.85	1.20
08/07/2020 12:15:00	32.02	30.81	1.22
08/07/2020 12:30:00	32.02	30.81	1.22
08/07/2020 12:45:00	31.82	30.64	1.18
08/07/2020 13:00:00	31.82	30.64	1.18
08/07/2020 13:15:00	31.91	30.70	1.20
08/07/2020 13:30:00	31.91	30.70	1.20
08/07/2020 13:45:00	31.87	30.65	1.22
08/07/2020 14:00:00	31.87	30.65	1.22
08/07/2020 14:15:00	31.77	30.60	1.17
08/07/2020 14:30:00	31.77	30.60	1.17
08/07/2020 14:45:00	31.90	30.74	1.16
08/07/2020 15:00:00	31.90	30.74	1.16
08/07/2020 15:15:00	31.78	30.55	1.23
08/07/2020 15:30:00	31.78	30.55	1.23
08/07/2020 15:45:00	31.80	30.60	1.20
08/07/2020 16:00:00	31.80	30.60	1.20
08/07/2020 16:15:00	31.98	30.75	1.23
08/07/2020 16:30:00	31.98	30.75	1.23
08/07/2020 16:45:00	32.03	30.79	1.24
08/07/2020 17:00:00	32.03	30.79	1.24
08/07/2020 17:15:00	32.13	30.99	1.14
08/07/2020 17:30:00	32.13	30.99	1.14
08/07/2020 17:45:00	32.27	31.10	1.17
08/07/2020 18:00:00	32.27	31.10	1.17
08/07/2020 18:15:00	32.48	31.25	1.23
08/07/2020 18:30:00	32.48	31.25	1.23
08/07/2020 18:45:00	32.40	31.17	1.23
08/07/2020 19:00:00	32.40	31.17	1.23
08/07/2020 19:15:00	32.39	31.18	1.20
08/07/2020 19:30:00	32.39	31.18	1.20
08/07/2020 19:45:00	32.25	31.08	1.17
08/07/2020 20:00:00	32.25	31.08	1.17
08/07/2020 20:15:00	32.34	31.15	1.19
08/07/2020 20:30:00	32.34	31.15	1.19

08/07/2020 20:45:00	32.19	30.98	1.21
08/07/2020 21:00:00	32.19	30.98	1.21
08/07/2020 21:15:00	32.15	30.97	1.18
08/07/2020 21:30:00	32.15	30.97	1.18
08/07/2020 21:45:00	32.41	31.24	1.17
08/07/2020 22:00:00	32.41	31.24	1.17
08/07/2020 22:15:00	31.93	30.65	1.28
08/07/2020 22:30:00	31.93	30.65	1.28
08/07/2020 22:45:00	32.05	30.77	1.27
08/07/2020 23:00:00	32.05	30.77	1.27
08/07/2020 23:15:00	31.76	30.51	1.25
08/07/2020 23:30:00	31.76	30.51	1.25
08/07/2020 23:45:00	31.83	30.52	1.31
09/07/2020 00:00:00	31.83	30.52	1.31
09/07/2020 00:15:00	31.92	30.71	1.22
09/07/2020 00:30:00	31.92	30.71	1.22
09/07/2020 00:45:00	31.96	30.73	1.23
09/07/2020 01:00:00	31.96	30.73	1.23
09/07/2020 01:15:00	31.95	30.72	1.23
09/07/2020 01:30:00	31.95	30.72	1.23
09/07/2020 01:45:00	32.06	30.82	1.24
09/07/2020 02:00:00	32.06	30.82	1.24
09/07/2020 02:15:00	31.86	30.59	1.27
09/07/2020 02:30:00	31.86	30.59	1.27
09/07/2020 02:45:00	32.14	30.83	1.31
09/07/2020 03:00:00	32.14	30.83	1.31
09/07/2020 03:15:00	31.92	30.68	1.25
09/07/2020 03:30:00	31.92	30.68	1.25
09/07/2020 03:45:00	31.90	30.64	1.26
09/07/2020 04:00:00	31.90	30.64	1.26
09/07/2020 04:15:00	31.82	30.59	1.23
09/07/2020 04:30:00	31.82	30.59	1.23
09/07/2020 04:45:00	31.73	30.54	1.19
09/07/2020 05:00:00	31.73	30.54	1.19
09/07/2020 05:15:00	31.78	30.55	1.23
09/07/2020 05:30:00	31.78	30.55	1.23
09/07/2020 05:45:00	31.67	30.51	1.17
09/07/2020 06:00:00	31.67	30.51	1.17
09/07/2020 06:15:00	31.72	30.51	1.21
09/07/2020 06:30:00	31.72	30.51	1.21
09/07/2020 06:45:00	31.32	30.23	1.09
09/07/2020 07:00:00	31.32	30.23	1.09
09/07/2020 07:15:00	31.48	30.41	1.08
09/07/2020 07:30:00	31.48	30.41	1.08
09/07/2020 07:45:00	31.60	30.48	1.12
09/07/2020 08:00:00	31.60	30.48	1.12
09/07/2020 08:15:00	31.57	30.44	1.13
09/07/2020 08:30:00	31.57	30.44	1.13

09/07/2020 08:45:00	31.66	30.47	1.18
09/07/2020 09:00:00	31.66	30.47	1.18
09/07/2020 09:15:00	31.69	30.50	1.19
09/07/2020 09:30:00	31.69	30.50	1.19
09/07/2020 09:45:00	31.60	30.48	1.13
09/07/2020 10:00:00	31.60	30.48	1.13
09/07/2020 10:15:00	31.56	30.46	1.10
09/07/2020 10:30:00	31.56	30.46	1.10
09/07/2020 10:45:00	31.56	30.45	1.11
09/07/2020 11:00:00	31.56	30.45	1.11
09/07/2020 11:15:00	31.62	30.47	1.14
09/07/2020 11:30:00	31.62	30.47	1.14
09/07/2020 11:45:00	31.69	30.62	1.06
09/07/2020 12:00:00	31.69	30.62	1.06
09/07/2020 12:15:00	31.44	30.47	0.97
09/07/2020 12:30:00	31.44	30.47	0.97
09/07/2020 12:45:00	31.47	30.47	1.00
09/07/2020 13:00:00	31.47	30.47	1.00
09/07/2020 13:15:00	31.49	30.47	1.02
09/07/2020 13:30:00	31.49	30.47	1.02
09/07/2020 13:45:00	31.45	30.47	0.97
09/07/2020 14:00:00	31.45	30.47	0.97
09/07/2020 14:15:00	31.35	30.40	0.95
09/07/2020 14:30:00	31.35	30.40	0.95
09/07/2020 14:45:00	31.41	30.41	1.00
09/07/2020 15:00:00	31.41	30.41	1.00
09/07/2020 15:15:00	31.31	30.33	0.98
09/07/2020 15:30:00	31.31	30.33	0.98
09/07/2020 15:45:00	31.40	30.37	1.03
09/07/2020 16:00:00	31.40	30.37	1.03
09/07/2020 16:15:00	31.31	30.33	0.98
09/07/2020 16:30:00	31.31	30.33	0.98
09/07/2020 16:45:00	31.59	30.50	1.09
09/07/2020 17:00:00	31.59	30.50	1.09
09/07/2020 17:15:00	31.62	30.53	1.09
09/07/2020 17:30:00	31.62	30.53	1.09
09/07/2020 17:45:00	31.57	30.58	1.00
09/07/2020 18:00:00	31.57	30.58	1.00
09/07/2020 18:15:00	31.64	30.47	1.17
09/07/2020 18:30:00	31.64	30.47	1.17
09/07/2020 18:45:00	31.69	30.58	1.11
09/07/2020 19:00:00	31.69	30.58	1.11
09/07/2020 19:15:00	31.75	30.57	1.18
09/07/2020 19:30:00	31.75	30.57	1.18
09/07/2020 19:45:00	31.65	30.49	1.15
09/07/2020 20:00:00	31.65	30.49	1.15
09/07/2020 20:15:00	31.56	30.46	1.10
09/07/2020 20:30:00	31.56	30.46	1.10

09/07/2020 20:45:00	31.92	30.73	1.19
09/07/2020 21:00:00	31.92	30.73	1.19
09/07/2020 21:15:00	31.80	30.56	1.24
09/07/2020 21:30:00	31.80	30.56	1.24
09/07/2020 21:45:00	31.65	30.51	1.14
09/07/2020 22:00:00	31.65	30.51	1.14
09/07/2020 22:15:00	31.74	30.55	1.18
09/07/2020 22:30:00	31.74	30.55	1.18
09/07/2020 22:45:00	31.64	30.48	1.16
09/07/2020 23:00:00	31.64	30.48	1.16
09/07/2020 23:15:00	31.68	30.49	1.19
09/07/2020 23:30:00	31.68	30.49	1.19
09/07/2020 23:45:00	31.58	30.44	1.14
10/07/2020 00:00:00	31.58	30.44	1.14
10/07/2020 00:15:00	31.34	30.34	1.00
10/07/2020 00:30:00	31.34	30.34	1.00
10/07/2020 00:45:00	31.15	30.16	1.00
10/07/2020 01:00:00	31.15	30.16	1.00
10/07/2020 01:15:00	30.96	29.96	1.00
10/07/2020 01:30:00	30.96	29.96	1.00
10/07/2020 01:45:00	31.02	30.01	1.01
10/07/2020 02:00:00	31.02	30.01	1.01
10/07/2020 02:15:00	31.12	30.09	1.03
10/07/2020 02:30:00	31.12	30.09	1.03
10/07/2020 02:45:00	31.01	29.98	1.02
10/07/2020 03:00:00	31.01	29.98	1.02
10/07/2020 03:15:00	31.02	29.94	1.08
10/07/2020 03:30:00	31.02	29.94	1.08
10/07/2020 03:45:00	31.07	29.95	1.12
10/07/2020 04:00:00	31.07	29.95	1.12
10/07/2020 04:15:00	31.28	30.18	1.10
10/07/2020 04:30:00	31.28	30.18	1.10
10/07/2020 04:45:00	31.47	30.29	1.18
10/07/2020 05:00:00	31.47	30.29	1.18
10/07/2020 05:15:00	31.42	30.28	1.13
10/07/2020 05:30:00	31.42	30.28	1.13
10/07/2020 05:45:00	31.48	30.28	1.21
10/07/2020 06:00:00	31.48	30.28	1.21
10/07/2020 06:15:00	31.38	30.29	1.09
10/07/2020 06:30:00	31.38	30.29	1.09
10/07/2020 06:45:00	30.85	29.77	1.08
10/07/2020 07:00:00	30.85	29.77	1.08
10/07/2020 07:15:00	31.21	30.08	1.13
10/07/2020 07:30:00	31.21	30.08	1.13
10/07/2020 07:45:00	31.21	30.13	1.08
10/07/2020 08:00:00	31.21	30.13	1.08
10/07/2020 08:15:00	31.47	30.38	1.09
10/07/2020 08:30:00	31.47	30.38	1.09

10/07/2020 08:45:00	31.70	30.60	1.11
10/07/2020 09:00:00	31.70	30.60	1.11
10/07/2020 09:15:00	31.57	30.47	1.10
10/07/2020 09:30:00	31.57	30.47	1.10
10/07/2020 09:45:00	31.55	30.56	0.99
10/07/2020 10:00:00	31.55	30.56	0.99
10/07/2020 10:15:00	31.41	30.47	0.93
10/07/2020 10:30:00	31.41	30.47	0.93
10/07/2020 10:45:00	31.55	30.56	0.99
10/07/2020 11:00:00	31.55	30.56	0.99
10/07/2020 11:15:00	31.22	30.22	0.99
10/07/2020 11:30:00	31.22	30.22	0.99
10/07/2020 11:45:00	31.40	30.37	1.03
10/07/2020 12:00:00	31.40	30.37	1.03
10/07/2020 12:15:00	31.40	30.46	0.94
10/07/2020 12:30:00	31.40	30.46	0.94
10/07/2020 12:45:00	31.17	30.25	0.92
10/07/2020 13:00:00	31.17	30.25	0.92
10/07/2020 13:15:00	31.38	30.31	1.07
10/07/2020 13:30:00	31.38	30.31	1.07
10/07/2020 13:45:00	30.40	29.38	1.03
10/07/2020 14:00:00	30.40	29.38	1.03
10/07/2020 14:15:00	30.49	29.55	0.95
10/07/2020 14:30:00	30.49	29.55	0.95
$\sum_h (CMP_{gi} - CM_{gi})$			560.27

**Anexo N°20: Datos para cálculo del costo de la energía que se
deja de producir tras la falla ocurrida en la unidad N°1**

Fecha	Hora	Potencia (MW)	Energía (MWh)	Cmgi (S/ /MWh)	Costo de energía (S/.)
5/07/2020	10:00	161.9	80.95	30.67	2482.65
	10:30	134.4	67.18	29.78	2000.88
	11:00	133.9	66.94	30.00	2008.04
	11:30	134.6	67.28	29.97	2016.32
	12:00	152.2	76.11	30.05	2287.22
	12:30	170.0	85.00	30.67	2606.82
	13:00	147.5	73.76	30.10	2219.97
	13:30	136.3	68.17	30.63	2088.19
	14:00	133.9	66.94	29.94	2004.06
	14:30	134.0	67.02	30.58	2049.65
	15:00	133.9	66.96	30.56	2046.20
	15:30	134.5	67.26	30.48	2050.26
	16:00	133.9	66.96	30.55	2045.87
	16:30	133.9	66.95	30.63	2050.51
	17:00	135.3	67.63	30.53	2064.30
	17:30	133.9	66.96	30.58	2047.44
	18:00	135.1	67.56	31.31	2115.24
	18:30	170.0	85.00	31.32	2661.97
	19:00	170.0	85.00	31.71	2695.29
	19:30	170.0	85.00	31.44	2672.79
	20:00	163.8	81.92	31.48	2578.60
	20:30	170.0	85.00	31.17	2649.65
	21:00	140.7	70.37	31.31	2203.44
	21:30	170.0	85.00	30.82	2620.05
	22:00	138.5	69.25	30.96	2144.12
	22:30	134.9	67.46	30.57	2062.14
	23:00	144.4	72.20	30.46	2199.38
	23:30	134.0	66.99	30.45	2040.12
	23:59	133.9	66.94	29.96	2005.55
7/07/2020	00:30	0	0.00	30.56	0.00
	01:00	0	0.00	30.54	0.00
	01:30	0	0.00	30.52	0.00
	02:00	0	0.00	30.49	0.00
	02:30	0	0.00	30.51	0.00
	03:00	0	0.00	30.49	0.00
	03:30	0	0.00	30.50	0.00

04:00	0	0.00	30.53	0.00
04:30	0	0.00	30.56	0.00
05:00	0	0.00	30.57	0.00
05:30	0	0.00	30.60	0.00
06:00	0	0.00	30.59	0.00
06:30	0	0.00	30.51	0.00
07:00	0	0.00	30.62	0.00
07:30	0	0.00	30.75	0.00
08:00	0	0.00	30.84	0.00
08:30	0	0.00	31.19	0.00
09:00	0	0.00	31.16	0.00
09:30	0	0.00	31.07	0.00
10:00	0	0.00	31.17	0.00
10:30	35.0	17.50	31.06	543.53
11:00	35.0	17.50	30.87	540.29
11:30	120.0	60.00	30.90	1854.23
12:00	100.0	50.00	30.81	1540.29
12:30	150.0	75.00	30.48	2285.73
13:00	170.0	85.00	30.81	2618.76
13:30	170.0	85.00	30.56	2597.86
14:00	170.0	85.00	30.50	2592.22
14:30	170.0	85.00	30.53	2594.79
15:00	170.0	85.00	30.55	2596.95
15:30	170.0	85.00	30.55	2597.02
16:00	170.0	85.00	30.46	2589.38
16:30	170.0	85.00	30.46	2589.17
17:00	170.0	85.00	30.46	2589.29
17:30	170.0	85.00	30.51	2593.07
18:00	170.0	85.00	30.50	2592.91
18:30	170.0	85.00	30.66	2605.97
19:00	170.0	85.00	30.73	2612.10
19:30	170.0	85.00	30.66	2606.07
20:00	170.0	85.00	30.77	2615.64
20:30	170.0	85.00	30.60	2601.32
21:00	170.0	85.00	30.65	2605.51
21:30	170.0	85.00	30.62	2602.79
22:00	170.0	85.00	30.56	2597.24
22:30	170.0	85.00	30.56	2597.39
23:00	170.0	85.00	30.74	2612.95
23:30	170.0	85.00	30.46	2589.03
23:59	170.0	85.00	30.62	2602.65
Total			S/131,280.88	

Fuente: COES