



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**“ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO
EN LA METODOLOGÍA DEL RCM PARA ACTIVOS CRÍTICOS
DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE ALAO DE LA EERSA.”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:
INGENIERO DE MANTENIMIENTO

AUTOR:
DENNIS OMAR ARÉVALO ARÉVALO

Riobamba-Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**“ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO
EN LA METODOLOGÍA DEL RCM PARA ACTIVOS CRÍTICOS
DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE ALAO DE LA EERSA.”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

AUTOR: DENNIS OMAR ARÉVALO ARÉVALO

DIRECTOR: Ing. CÉSAR MARCELO GALLEGOS LONDOÑO MSc.

Riobamba-Ecuador

2022

© 2022, Dennis Omar Arévalo Arévalo

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Yo, DENNIS OMAR ARÉVALO ARÉVALO, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 09 de marzo del 2022



Dennis Omar Arévalo Arévalo

060409935-8

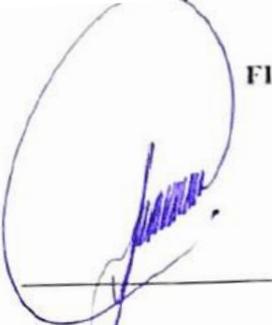
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico **ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA METODOLOGÍA DEL RCM PARA ACTIVOS CRÍTICOS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE ALAO DE LA EERSA**, realizado por el señor: **DENNIS OMAR ARÉVALO ARÉVALO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FECHA

Ing. Marco Antonio Ordoñez Viñan MSc.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

FIRMA



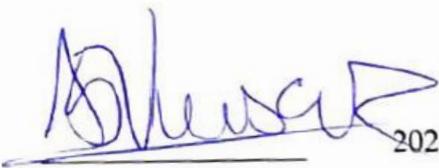


2022-03-09

Ing. César Marcelo Gallegos Londoño MSc.
DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

2022-03-09

Ing. Sergio Raúl Villacrés Parra MSc.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



2022-03-09

DEDICATORIA

El presente trabajo se los dedico en primer lugar a Dios por ser mi guía y soporte en los momentos difíciles de mi vida ayudándome a conseguir un sueño anhelado. A mis padres Walter y Elva quienes con su amor y sacrificio inculcaron en mí valores de ética personal y profesional, a mis hermanos Kevin y Karen a quien los amo con mi vida y por quienes he luchado a diario, a mi sobrina Adeline quién llegó a este mundo para cambiarnos nuestras vidas para mejor. De igual manera, dedico este escrito a mis angelitos que me cuidan desde el cielo y siempre me iluminaron para elegir el camino correcto.

Dennis

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por ser tan bueno en mi vida, a mis padres por apoyarme en todas mis decisiones, a los docentes de la carrera de Ingeniería de Mantenimiento quienes con sabiduría nos ha inculcado conocimientos bastos para desarrollarnos en la vida como buenos profesionales con ética y responsabilidad, de manera especial al Ing. César Gallegos Londoño tutor de mi proyecto técnico quien me ha guiado con su paciencia y moralidad como docente. De igual manera, a la Empresa Eléctrica Riobamba S.A por permitirme desarrollar mi trabajo en sus instalaciones esperando que sea un gran aporte para el desarrollo de su gestión de mantenimiento.

Dennis

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
RESUMEN.....	xiii
SUMMARY	xiv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1.	GENERALIDADES	2
1.1.	Antecedentes	2
1.2.	Definición de problema.....	3
1.3.	Justificación	4
1.4.	Objetivos	4
1.4.1.	<i>Objetivo general</i>	4
1.4.2.	<i>Objetivos específicos</i>	4

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO	5
2.1.	Principios generales del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)	5
2.2.	Definición del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM).....	6
2.3.	Descripción y levantamiento técnico según norma ISO 14224.....	7
2.4.	Contexto operacional de los activos.....	9
2.5.	Criticidad de los activos físicos	9
2.5.1.	<i>Método de cálculo de criticidad</i>	10
2.6.	Las 7 preguntas del RCM.....	12
2.6.1.	<i>Funciones</i>	12
2.6.2.	<i>Fallas funcionales</i>	13
2.6.3.	<i>Modos de falla</i>	14
2.6.4.	<i>Efectos de las fallas</i>	14
2.6.5.	<i>Consecuencias de las fallas</i>	15
2.6.6.	<i>Cuadro de información y decisión</i>	16
2.6.7.	<i>Criterios de factibilidad técnica</i>	18

2.7.	Tareas proactivas del mantenimiento	21
2.7.1.	<i>Tareas basadas en condición</i>	21
2.7.2.	<i>Tareas de reacondicionamiento cíclico</i>	22
2.7.3.	<i>Tareas de sustitución cíclica</i>	22
2.8.	Acciones a falta de.....	22
2.8.1.	<i>Búsqueda de fallas</i>	23
2.8.2.	<i>Trabajo al fallo</i>	23
2.8.3.	<i>Rediseño</i>	23
2.9.	Plan de mantenimiento centrado en confiabilidad.....	24
2.10.	Gestión de mantenimiento asistido por computador (GMAO).....	24

CAPÍTULO III

3.	DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA DEL RCM	25
3.1.	Levantamiento de inventario técnico	25
3.2.	Contexto operacional	26
3.3.	Cálculo de criticidad de los activos de la central Alao.....	28
3.4.	Las 7 preguntas del RCM.....	30
3.4.1.	<i>Función del banco de baterías</i>	30
3.4.2.	<i>Falla funcional del banco de baterías</i>	30
3.4.3.	<i>Modos de falla</i>	31
3.4.4.	<i>Efecto de falla</i>	31
3.4.5.	<i>Consecuencia de la falla</i>	31
3.4.6.	<i>Hoja de información del RCM</i>	32
3.4.7.	<i>La hoja de decisión del RCM</i>	34
3.5.	Tareas basadas en la condición.....	36
3.6.	Tareas de reacondicionamiento cíclico.....	37
3.7.	Tareas de sustitución cíclica	37
3.8.	Plan de mantenimiento basado en confiabilidad.....	38
3.9.	Gestión de mantenimiento asistido por computador	40
3.10.	Razón costo beneficio del plan de mantenimiento basado en RCM	40
3.11.	Costo total de mantenimiento basado en condición “MBC”	41
3.12.	Costo total de mantenimiento correctivo	41

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS DEL PROYECTO TÉCNICO	43
4.1.	Resultados del análisis de criticidad	43
4.2.	Resultados del plan de mantenimiento preventivo.....	44
4.2.1.	<i>Resultados del inventario técnico</i>	44
4.2.2.	<i>Resultados del análisis funcional de los activos.....</i>	44
4.2.3.	<i>Resultados de las tareas de mantenimiento planificadas.....</i>	45
4.3.	Análisis costo beneficio del plan de mantenimiento basado en RCM	46
	CONCLUSIONES.....	51
	RECOMENDACIONES.....	52
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:	Ejemplos de taxonomía	8
Tabla 2-2:	Factores a considerar para definir el contexto operacional de un activo.....	9
Tabla 2-3:	Criterios de análisis de criticidad y calificación.....	10
Tabla 2-4:	Las 7 preguntas del RCM	12
Tabla 2-5:	Factores a considerar de los efectos de la falla.....	15
Tabla 2-6:	La hoja de información del RCM.....	17
Tabla 2-7:	Hoja de decisión RCM	17
Tabla 3-1:	Inventario técnico de la central Alao.....	25
Tabla 3-2:	Contexto operacional de activos de la central hidroeléctrica Alao.....	26
Tabla 3-3:	Niveles de criticidad.....	29
Tabla 3-4:	Cálculo de la criticidad.....	29
Tabla 3-5:	Activos críticos.....	29
Tabla 3-6:	Hoja de información del RCM. Banco de baterías.....	33
Tabla 3-7:	Hoja de decisión del RCM. Banco de baterías	34
Tabla 3-8:	Criterios de factibilidad de tareas basadas en condición.....	33
Tabla 3-9:	Criterios de factibilidad de tareas de reacondicionamiento cíclico.....	34
Tabla 3-10:	Criterios de factibilidad de tareas de sustitución cíclica.....	35
Tabla 3-11:	Tareas de mantenimiento propuestas.....	36
Tabla 4-1:	Análisis costo beneficio de la tarea N°01.....	43
Tabla 4-2:	Análisis costo beneficio de la tarea N°02.....	43
Tabla 4-3:	Análisis costo beneficio de la tarea N°03.....	44

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Clasificación de la taxonomía con niveles taxonómicos.	8
Ilustración 2-2: Matriz de criticidad.....	11
Ilustración 2-3: Criterios de factibilidad técnica	19
Ilustración 2-4: Diagrama de decisión del RCM.....	20
Ilustración 2-5: Diagrama P-F.....	21
Ilustración 4-1: Resultados del análisis de criticidad	43
Ilustración 4-2: Resultados del inventario técnico	44
Ilustración 4-3: Resultados del análisis funcional	45
Ilustración 4-4: Resultados de las tareas planificadas	46
Ilustración 4-5: Costos de mantenimiento de la tarea N°01	48
Ilustración 4-6: Costos de mantenimiento de la tarea N°02	49
Ilustración 4-7: Costos de mantenimiento de la tarea N°03	49
Ilustración 4-8: Diferencia entre costos de mantenimiento	50

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: INVENTARIO TÉCNICO DE LOS ACTIVOS CRÍTICOS

ANEXO B: CONTEXTO OPERACIONAL DE LOS ACTIVOS CRÍTICOS

ANEXO C: CÁLCULO DE LA CRITICIDAD DE LOS ACTIVOS FÍSICOS

ANEXO D: HOJAS DE INFORMACIÓN DE LOS ACTIVOS CRÍTICOS

ANEXO E: HOJAS DE DECISIÓN DE LOS ACTIVOS CRÍTICOS

ANEXO F: PLANES DE MANTENIMIENTO DE LOS ACTIVOS CRÍTICOS

RESUMEN

El presente trabajo de integración curricular tuvo como finalidad elaborar un plan de mantenimiento basado en la metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) para los activos críticos de la Central Hidroeléctrica de Alao de la EERSA. Para desarrollar el plan de mantenimiento en primer lugar se realizó un análisis de criticidad para jerarquizar a los activos críticos de la central. Posterior a ello, se basó en el proceso detallado de la metodología “RCM”, la cual consistió en realizar un análisis funcional del activo físico dentro de un contexto operacional actual, a través de dar respuesta a 7 preguntas que son: ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?, ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?, ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?, ¿Que sucede cuando ocurre cada falla?, ¿En qué sentido es importante cada falla?, ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?, ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?. La información que se obtuvo al dar respuesta a las 5 primeras preguntas, fueron documentadas en la hoja de información del RCM, mientras que para dar respuesta y documentar las dos últimas preguntas se utilizó el diagrama y la hoja de decisión del RCM. La aplicación de la metodología “RCM” dio como resultado un plan de mantenimiento compuesto por 172 tareas preventivas con sus respectivas frecuencias y logística de mantenimiento para todos los sistemas críticos. Se concluyó que, la metodología “RCM” permite elaborar planes de mantenimiento eficaces, ya que determina que se debe hacer para asegurar que el activo se encuentre disponible en su contexto operacional actual. Se recomienda implementar el plan de mantenimiento preventivo elaborado en este trabajo.

Palabras clave: <INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO> <PLAN DE MANTENIMIENTO> <MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)> <ANÁLISIS DE CRITICIDAD><MANTENIMIENTO PREVENTIVO> <CENTRAL HIDROELÉCTRICA>.

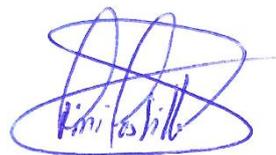
0381-DBRA-UPT-2024



SUMMARY

The purpose of this curricular integration research was to design a maintenance plan based on the Reliability Centered Maintenance (RCM) methodology for the critical assets of the Alao Hydroelectric Power Plant of EERSA. To develop the maintenance plan, first a criticality analysis was carried out to rank the most critical assets of the power plant. After that, it was based on the detailed process of the "RCM" methodology, which consisted of performing a functional analysis of the physical asset within a current operational background, by answering 7 questions: What are the functions and operating parameters associated with the asset in its current operational context? In what way does it fail to satisfy those functions? What is the cause of each functional failure? What happens when each failure occurs? In what sense is each failure important? What can be done to prevent or predict each failure? What should be done if a suitable proactive task is not found? The information obtained by answering the first 5 questions were compiled in the RCM information sheet, while the RCM diagram and the RCM decision sheet were incorporated to answer and document the last two questions. The application of "RCM" methodology has resulted in a maintenance plan formed by 172 preventive tasks with their respective frequencies and maintenance logistics for all critical systems. It was concluded that, the "RCM" methodology allows the elaboration of successful maintenance plans, since it determines what must be done to ensure that the asset is available in its current operational context. It is recommended to implement the preventive maintenance plan designed in this work.

Keywords: <MAINTENANCE ENGINEERING> <MAINTENANCE PLAN> <RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM)> <CRITICALITY ANALYSIS> <PREVENTIVE CRITICALITY> <PREVENTIVE MAINTENANCE> <HYDROELECTRIC POWER PLANT>.



Mgs. Mónica Paulina Castillo Niama.

C.I. 060311780-5

INTRODUCCIÓN

La central hidroeléctrica de Alao forma parte de la Empresa Eléctrica Riobamba S.A, la cual se dedica a la generación de energía eléctrica para suministrar de este servicio a diferentes parroquias y cantones de la provincia de Chimborazo, como: Pungalá, Licto y el cantón Guamote. La energía producida es transmitida mediante una línea de subtransmisión a la subestación N° 1 de la ciudad de Riobamba

La generación de energía es producida gracias a la operación de cuatro grupos turbina-generator de 2.6 MW cada una, resultando un total de 10.4 MW. El voltaje de generación de los grupos es de 2400 voltios, cada uno de los grupos N°1 y 2 se encuentran acoplados a un transformador que eleva el voltaje de 2400 a 44000 voltios y a través de un autotransformador se eleva a 69000 voltios. Los grupos N° 3 y 4 se encuentran acoplados a un transformador que eleva la tensión de 2400 voltios a 69000 voltios.

Al ser la generación de energía eléctrica un servicio básico y primordial para el desarrollo, bienestar y buen vivir de la ciudadanía, los activos físicos que operan deben contar con un adecuado y eficaz mantenimiento, para preservar y evitar cualquier falla que pueda presentarse durante su operación, lo cual es fundamental para brindar un servicio de calidad.

El propósito del presente trabajo es la planificación del mantenimiento basado en la metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad “RCM”, para los activos críticos de la central, ya que éstos, en caso de alguna falla son los que causan más impacto. La elaboración del plan de mantenimiento se desarrolló en 4 capítulos que se describen a continuación.

El primer capítulo contiene el diagnóstico del problema, justificando de este modo el desarrollo de la propuesta técnica. El segundo capítulo compila la revisión de la literatura y los fundamentos teóricos requeridos para desarrollar un plan de mantenimiento basado en “RCM”. En el capítulo tres se detalla y desarrolla cada paso a seguir de la metodología hasta llegar a obtener documentado el plan de mantenimiento, a su vez se realizó un análisis costo beneficio para determinar que una tarea basada en condición es mejor que realizar una tarea correctiva.

Finalmente, el último capítulo trata sobre los resultados obtenidos del desarrollo del plan de mantenimiento y del análisis costo beneficio, en el cual se detalla de manera gráfica y numérica cuáles fueron los activos que resultaron ser críticos para la central, el inventario técnico, el número total de tareas planificadas, y el análisis de los costos de mantenimiento.

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1. Antecedentes

El bienestar de una nación puede considerarse por el acceso a los servicios básicos que ofrece a sus ciudadanos. La EMPRESA ELÉCTRICA RIOBAMBA S.A. “EERSA” tiene como deber fundamental, dotar del servicio de energía eléctrica a la provincia de Chimborazo y zonas aledañas dentro de su área de concesión.

La EERSA, nace el 3 de abril de 1963, resultado de la compra de los derechos a la Empresa de Electrificación Chimborazo S.A. El 2 de enero de 1967 se realiza la inauguración de los dos primeros grupos de la Central Hidroeléctrica de Alao, con la presencia del Dr. Otto Arosemena Gómez, presidente de la República. En el año 1977 se inaugura el tercer grupo y para 1979 se inaugura el cuarto y último grupo.

La energía eléctrica producida es transmitida mediante una línea de subtransmisión a la subestación N° 1 de la ciudad de Riobamba. Además, suministra de energía a las parroquias de Pungalá, Licto y al cantón Guamote.

Esta Central aloja hasta la presente fecha a cuatro grupos turbina-generator de 2.6 MW cada una, resultando un total de 10.4 MW. Las turbinas son de tipo Pelton marca Teodoro Bell de eje horizontal, construidos en el año 1978 con un caudal de 0.97 m³/s, dos inyectores y 720 revoluciones por minuto (rpm). Los generadores trifásicos tipo GF 166 de marca Brown Boveri, con una potencia activa de 3280 kVA y una velocidad de 720/1300 rpm. El voltaje de generación de los grupos es de 2400 voltios, cada uno de los grupos N°1 y 2 se encuentran acoplados a un transformador que eleva el voltaje de 2400 a 44000 voltios y a través de un autotransformador se eleva a 69000 voltios. Los grupos N° 3 y 4 se encuentran acoplados a un transformador que eleva la tensión de 2400 voltios a 69000 voltios.

Al ser activos críticos dentro de su línea de producción se requiere realizar un plan de mantenimiento basado en la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad conocido por sus siglas en inglés como: RCM (Reliability Centred Maintenance) que aumente la confiabilidad de los equipos y confiera el servicio permanentemente.

1.2. Definición de problema

La Central Hidroeléctrica de Alao ubicada en la parroquia de Pungalá del cantón Riobamba, provincia de Chimborazo aproximadamente 20 km de la ciudad de Riobamba, para su proceso de generación de electricidad está dividida en tres etapas. La primera etapa es la bocatoma donde inicia la captación de agua del Río Alao y Maguazo, utilizando aproximadamente 4 metros cúbicos por segundo, a través de compuertas y desarenadores permiten el ingreso regulado de agua sin sólidos, desde allí mediante un canal de conducción, el agua se traslada aproximadamente 12 kilómetros pasando por 19 túneles, acueducto y canal abierto hasta la segunda etapa que es el tanque de presión, lugar donde se controla el nivel de agua para generación. Antes de llegar el agua al tanque de presión se encuentra el canal de desfogue, el mismo que constituye el último paso de regulación del caudal necesario para la generación óptima de la central. Finalmente, la tercera etapa es la casa de máquinas, es aquí donde se genera la energía eléctrica y se encuentran los activos críticos de generación.

Según la auditoria de mantenimiento de la Central Hidroeléctrica Alao realizada por Luis Fernando Lata Azacata y Marco Antonio Zavala Gaibor en el año 2009 indican que: “la Central Hidroeléctrica Alao es altamente mantenible de acuerdo al cálculo ejecutado, representa que el esfuerzo asociado a la restitución de sus funciones es bajo. Presenta una disponibilidad del 93%, es decir que de las 8760 horas que debe estar operativos en el año, 615 horas no está generando. Una probabilidad de trabajo sin fallo del 86% y de un 14% de probabilidad de trabajo con fallo, según el parámetro de forma β de la distribución de Weibull nos indica que la etapa de vida se encuentra en la fase III al ser $\beta \geq 1$ de acuerdo a la curva de Davles o curva de la bañera. Es decir, se encuentra en una fase de desgaste, por haber rebasado su periodo de vida útil de un promedio de 36 años de funcionamiento. Como uno de los lineamientos mejorativos se recomienda la implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, que permitirá saber: los diversos tipos de funciones del activo, las maneras en que puede fallar, las causas y consecuencias de las fallas y que se puede hacer para prevenirlas” (Lata & Zavala, 2009, p.115). Esto nos muestra la necesidad de aplicar la metodología del Mantenimiento Centrado en confiabilidad RCM para desarrollar un plan de mantenimiento confiable que logre conservar los equipos en un estado que pueda desarrollar su función requerida.

1.3. Justificación

Debido a la gran importancia de tener en constante funcionamiento los grupos de la Central Hidroeléctrica de Alao, la cual permite evitar cortes de energía en ciertos sectores de la ciudad de Riobamba, surge la necesidad de elaborar un plan de mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM, que contribuya a optimizar la planeación de mantenimiento existente, mejorar la disponibilidad de los grupos de generación, evitar los fallos, prolongando la vida útil de los activos.

Su elaboración constituye un factor clave para que los operadores y técnicos de mantenimiento estén instruidos sobre el funcionamiento y mantenimiento de cada uno de los activos críticos con los que cuenta la Central Hidroeléctrica de Alao. Al existir un plan de mantenimiento preventivo planificado bajo la metodología del “RCM” incrementará el tiempo de funcionamiento de los activos, combatirá las consecuencias de los fallos, beneficiando la Empresa Eléctrica Riobamba S.A y a la ciudadanía en general.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Elaborar un plan de mantenimiento basado en la metodología del “RCM” para activos críticos en la Central Hidroeléctrica de Alao de la EERSA.

1.4.2. Objetivos específicos

Realizar el cálculo de criticidad de los equipos pertenecientes a la casa de máquinas de la central hidroeléctrica de Alao.

Determinar las tareas y frecuencias de mantenimiento de cada activo físico basado en la metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad.

Establecer la logística de mantenimiento para los activos críticos de la central hidroeléctrica de Alao.

Calcular y analizar el costo beneficio de tres tareas basadas en condición con respecto a las tareas de mantenimiento correctivo.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Principios generales del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)

Actualmente las empresas se desarrollan en un entorno moderno, eficiente y competitivo. La integridad continua de sus activos físicos asegura el bienestar empresarial y el incremento productivo. Sin embargo, el éxito no solo se reduce en inversión en nuevas áreas de producción y a la implementación de nuevas tecnologías, sino que es indispensable utilizar efectivamente las instalaciones existentes.

De acuerdo a la norma UNE EN 13306:2010 define a la confiabilidad como “Aptitud de un elemento de realizar una función requerida bajo unas condiciones determinadas durante un intervalo de tiempo dado” (Cela, 2011, p.9).

“La confiabilidad es la probabilidad de que una unidad de producto se desempeñe satisfactoriamente cumpliendo con su función durante un período de tiempo diseñado y bajo condiciones previamente especificadas” (Ponce, 2016, p.5).

En resumen, la confiabilidad es una característica intrínseca que viene dada por diseño y se define como la probabilidad de funcionamiento de un activo físico en un intervalo de tiempo y bajo condiciones de trabajo predeterminadas. De esta manera se puede cuantificar el porcentaje de fiabilidad de un sistema o activo físico.

En estadística la confiabilidad, es el área que estudia las fallas presentadas por sistemas, componentes y equipos a lo largo del tiempo, además, los encargados del mantenimiento garantizan mediante el tratamiento que los activos físicos funcionen acorde a los niveles requeridos por las empresas con el fin de adquirir mayores beneficios y a la vez satisfacer las necesidades tanto de los clientes como los interesados (Pinto, 2014, p.67).

El aporte de Pinto para la confiabilidad basa en el estudio de las fallas en los activos a lo largo de un periodo de tiempo, incluyendo las acciones realizadas por operadores y personal de mantenimiento que aseguran el funcionamiento de los activos en los niveles deseados, satisfaciendo las necesidades de los clientes e interesados. Para realizarlos cálculos de confiabilidad es necesario obtener los tiempos medios entre fallas (TMEF).

El mantenimiento centrado en confiabilidad asume como política conservar la confiabilidad de los equipos e instalaciones elaborando un plan de mantenimiento óptimo. Inicialmente fue desarrollada para el sector de la aviación, posteriormente se la utilizó en el campo militar y después se trasladó al campo industrial. La principal ventaja sobre otras técnicas es que incluye para su desarrollo consideraciones como los impactos a la seguridad física y al medio ambiente.

2.2. Definición del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)

El mantenimiento centrado en confiabilidad “RCM” es una metodología de análisis sistemática, objetiva y documentada, que puede ser aplicada a cualquier tipo de instalación industrial, útil para el desarrollo u optimización de un plan eficiente de mantenimiento.

“Mantenimiento centrado en la confiabilidad es un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga su contexto operacional actual” (Moubray, 2004, p7).

Según (SAE JA1011, 1999. p.2) “Es un proceso específico usado para identificar políticas, las cuales tienen que ser implementadas para manejar modos de fallas los cuales pueden causar la pérdida de la función de cualquier activo físico en el contexto operacional dado”.

“RCM o Reliability Centred Maintenance, (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad) es una técnica más dentro de las posibles para elaborar un plan de mantenimiento en una instalación industrial y presenta ventajas sobre otras técnicas” (Santiago, 2012, p.160).

Resumiendo, el RCM lleva a una empresa a un estado superior de organización de la gestión de mantenimiento, relacionando a los activos físicos con el personal que lo operan y lo mantienen. Su correcta aplicación permite optimizar los procesos de producción, y reducir las consecuencias sobre seguridad personal, medio ambiente, operacionales y no operacionales, producto de modos de fallos de los activos desarrollados en su contexto operacional. Permite elaborar un plan de mantenimiento eficiente.

Esta metodología se basa en el árbol de decisiones. Su éxito depende de la correcta información proporcionada por sus participantes y de datos fiables que contribuyan a la efectividad del plan. La profundidad del análisis dependerá de la cantidad de modos de fallo de cada activo, debido a que esta metodología no contempla un grado específico al cual realizar el estudio.

Para desarrollar la metodología del RCM se toma como referencia a las normas SAE JA 1011 y SAE JA 1012 las cuales “describe los criterios mínimos que cualquier proceso debe cumplir para ser llamado RCM. No intenta definir un proceso específico de RCM” (SAE JA1011, 1999)

Estas normas no definen la estructura del RCM, sino intenta ser un referente con criterios mínimos que un sistema debe cumplir para ser llamado RCM. Proporciona calidad al estudio realizado, pero no es mandatorio seguir sus lineamientos.

2.3. Descripción y levantamiento técnico según norma ISO 14224

“Este Estándar Internacional proporciona una base completa para la recolección de datos de confiabilidad y mantenimiento (RM por sus siglas en inglés) en un formato único para equipos en todas las instalaciones dentro de las industrias del petróleo, de gas natural y de petroquímicos, durante el ciclo de vida operacional completo de los equipos” (Cerde, N et al. 2016, p.5)

La norma ISO 14224-2016 nos permite obtener una base de levantamiento de datos de confiabilidad y mantenimiento, mediante recolección de modos de falla, causas de fallo y medidas correctivas, con lineamientos que pueden aplicarse a cualquier industria. Además, contiene una taxonomía de los equipos por jerarquías que serán utilizadas para definir a qué nivel se va a realizar el estudio del RCM como se refleja en la figura 1-2.

La taxonomía es una clasificación sistemática de ítems en grupos genéricos basados en factores posiblemente comunes a varios ítems (ubicación, uso, subdivisión de equipos, etc.) (Cerde, N et al. 2016, p.5)

Cada nivel de la clasificación mostrada por la ISO 14224-2016 contiene su jerarquía de taxonomía y definición propia detallada en la tabla 1-2:

“Los niveles 1 al 5 representan un alto nivel de categorización con relación a la aplicación en la industria y las plantas, independientemente de los equipos. Los niveles del 6 al 9 están relacionados al equipo (inventario) con la subdivisión en niveles jerárquicos inferiores correspondientes a una relación padre – hijo” (ISO 14224, 2016, p.40).

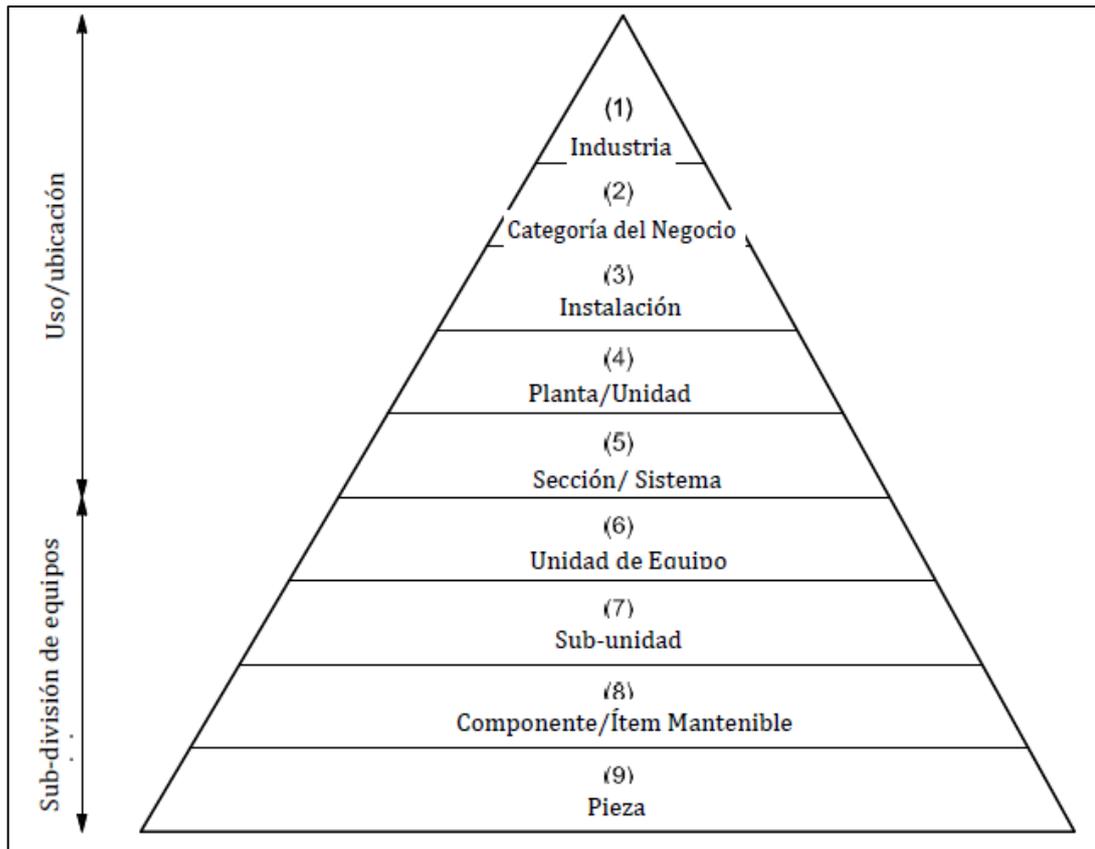


Ilustración 0-1: Clasificación de la taxonomía con niveles taxonómicos.

Fuente: (Cerde, N et al. 2016).

Cabe recalcar que para cada activo se realiza el análisis a distinto nivel, esto va a depender de la cantidad de modos de fallo de cada equipo o de las consecuencias que pueda poseer. Asimismo, la norma específica que no existe un nivel determinado que defina la eficiencia del estudio.

Tabla 1-2: Ejemplos de taxonomía

Nivel taxonómico	Jerarquía de taxonomía	Definición
1	Industria	Tipo de industria principal.
2	Categoría del negocio	Tipo de negocio o flujo de proceso.
3	Categoría de instalación	Tipo de instalación.
4	Categoría de planta/unidad	Tipo de planta/unidad.
5	Sección/Sistema	Sección/sistema principal de la planta.
6	Clase de equipo/Unidad	Clase de equipos similares
7	Subunidad	Un subsistema necesario para la función del equipo.
8	Componente/Ítem mantenible	El grupo de piezas del equipo que comúnmente se mantiene como un todo.
9	Pieza	Una parte individual del equipo.

Fuente: (ISO 14224, 2016)

Realizado por: Arévalo, Dennis, 2022.

2.4. Contexto operacional de los activos

El contexto invade todo el proceso de formulación de estrategias de mantenimiento, comenzando con la definición de funciones. También influencia en profundidad a los requisitos para funciones secundarias (Moubray, 2004, pp. 29-30).

Mientras que la norma SAE define al contexto operacional como: “Las circunstancias bajo las cuales se espera que opere el activo físico o sistema (SAE JA1011, 1999, p. 4).

Para conseguir un estudio eficiente se debe establecer correctamente el contexto operacional de cada activo físico. Debido a que el contexto operacional influye directamente al desempeño de los equipos, afecta la ocurrencia de modos de falla, efectos y consecuencias de fallo. Algunos de los factores a tomar en consideración se describen en la tabla 2-2.

Tabla 2-2: Factores a considerar para definir el contexto operacional de un activo.

Factores.	Descripción.
Procesos por lotes o continuos.	Continuos: equipos interconectados. Lotes: equipos que trabajan independientemente.
Redundancia.	Formas alternativas de producción o en stand by.
Estándares de calidad	Fija condiciones mínimas de funcionamiento.
Estándares de medio ambiente.	Impacto que podría tener sobre el medio ambiente.
Riesgos para la seguridad.	Estándar de riesgo tolerable aplicado a un nivel definido.
Turnos de trabajo.	Tiempo de operación del activo.
Tiempo de reparación.	Velocidad de respuesta a la falla y reparación.
Repuestos	Stock de repuestos para eliminar las consecuencias de falla.

Fuente: (Moubray, 2004, pp.29-34)

Realizado por: Arévalo, Dennis, 2022.

2.5. Criticidad de los activos físicos

La criticidad es un “Índice numérico de la severidad de un fallo o de una avería combinado con la probabilidad o frecuencia de su ocurrencia” (UNE EN 13306, 2011, p. 11)

El análisis de criticidad permite establecer una jerarquía de los activos físicos dentro de una organización que facilita la toma de decisiones y el direccionamiento del esfuerzo y los recursos

en las áreas donde más sea requerido, mediante el estudio de la frecuencia o probabilidad de fallo y las consecuencias a la seguridad personal, medio ambiente y costos.

2.5.1. Método de cálculo de criticidad

De acuerdo a (Ramirez y Moreno, 2017, pp.24-25) “El objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de una planta compleja, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable. Desde el punto de vista matemático la criticidad se puede expresar como:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia de fallas} \times \text{Consecuencia}$$

La frecuencia está asociada al número de eventos o fallas que presenta el sistema o proceso evaluado y la consecuencia está referida con: el impacto producción y flexibilidad operacional, los costos de mantenimiento y los impactos en seguridad y ambiente.

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto operacional} \times \text{flexibilidad}) + \text{costo de mantenimiento} + \text{costo de seguridad y medio ambiente}$$

Tabla 3-2: Criterios de análisis de criticidad y calificación.

Frecuencias de fallas (FF)	Calificación
BAJA. Más de dos fallas/año.	4
MEDIA. 1 a 2 fallas/año.	3
BUENA. 0.5 a 1 falla/año.	2
EXCELENTE. Menos de 2 fallas al año.	1
Impacto operacional (IO)	Calificación
Pérdida grave.	10
Parada del sistema y afecta a otros sistemas.	7
Impacto al inventario o calidad.	4
Ninguna afectación.	1
Flexibilidad operacional (FO)	Calificación
No existe opción de producción o función de repuesto	4
Hay opción de repuesto compartido / bodega.	3
Función de repuesto disponible.	1
Costo de mantenimiento (CM)	Calificación

Mayor a \$2.000,00	2
Menor a \$2.000,00	1
Impacto seguridad y medio ambiente (SAH)	Calificación
Afecta a la seguridad humana externa e interna.	10
Afecta al medio ambiente e instalaciones.	8
Afecta a las instalaciones causando daños severos.	5
Provoca daños menores al ambiente.	3
No existen daños a personas, medio ambiente ni a instalaciones.	1

Fuente: (Ramírez & Moreno, 2017, p.26)

Realizado por: Arévalo, Dennis, 2022.

Los valores indicados en la tabla 3-2 son determinados por el grupo de análisis del RCM y se pueden ajustar de acuerdo con el activo que se esté analizando y del tipo de empresa. Para determinar el valor de la criticidad se utiliza la figura 2-2. La cual muestra una matriz frecuencia de fallas vs consecuencia de falla. El resultado del cálculo se compara con el valor del intervalo fijado para cada código de color que está acompañado de una letra que permite identificar el nivel de riesgo relacionado con el valor de la criticidad del activo físico.

El cálculo se debe realizar a todos los activos físicos que representen consecuencias a la seguridad física, ambiental y a los costos.

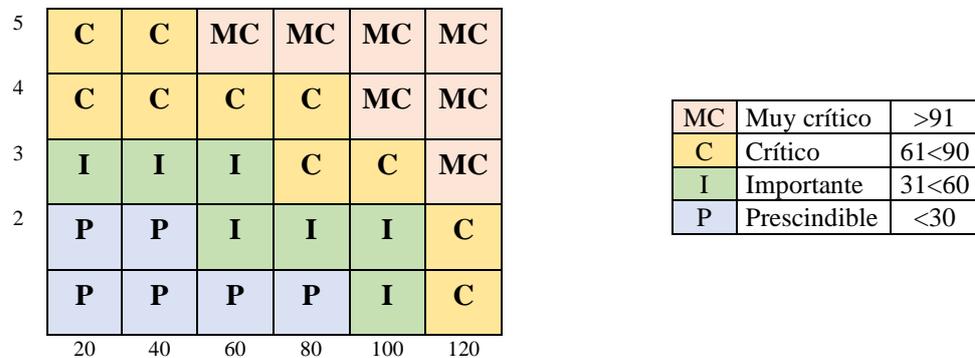


Ilustración 0-2: Matriz de criticidad

Fuente: Ramírez, M. 2007

Realizado por: Arévalo, Dennis, 2022.

2.6. Las 7 preguntas del RCM

“Las siete preguntas básicas deben ser respondidas en un proceso RCM, de cada interrogante se relaciona una secuencia de pasos lógicos para llegar a los requerimientos del mantenimiento” (Sexto, 2014, p. 6)

De acuerdo a (Moubray, 2004a) “El proceso de RCM incita a responder las siguientes siete preguntas sobre el bien o sistema bajo revisión”.

Por lo tanto, Sexto y Moubray manifiestan que el proceso de RCM formula siete pasos lógicos para cada activo físico dentro de su contexto operacional:

Tabla 4-2: Las 7 preguntas del RCM

Preguntas del RCM	Objetivo
1.- ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?	Determinar funciones.
2.- ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?	Reconocer fallas funcionales.
3.- ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?	Establecer modos de falla.
4.- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?	Registrar efectos de falla.
5.- ¿En qué sentido es importante cada falla?	Fijar las consecuencias de las fallas.
6.- ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?	Tareas proactivas.
7.- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?	Acciones a la falta de.

Fuente: Moubray, J. 2004.

Realizado por: Arévalo, Dennis, 2022.

2.6.1. Funciones

El primer paso del RCM es definir las funciones de los activos físicos en su contexto operacional actual, un equipo puede tener una o varias funciones según el requerimiento del usuario. Función es la “Combinación de funciones, o una combinación total de funciones de un elemento que se consideran necesarias para proporcionar un servicio dado” (UNE EN 13306, 2011, p. 7).

Una función es: “Lo que el dueño o usuario desea que realice un activo físico o sistema”. En resumen, de acuerdo con las normas EN 13306 y SAE JA 1011 la función es alcanzar el objetivo de funcionamiento de un activo en el contexto operacional que requiere el usuario (SAE JA1011, 1999, p. 5).

Para definir las funciones primarias y secundarias de un activo, según (Moubray, 2004, p.8) sintetiza a la función con lineamientos a cumplir al especificar la actividad por la cual fue adquirido el activo. Clasifica a las funciones en:

Funciones primarias: resume el porqué de la adquisición del activo. Cubre temas como velocidad, producción, capacidad de almacenaje o carga, calidad de producto y servicio al cliente.

Funciones secundarias: reconoce que se espera de cada activo que haga más que simplemente cubrir sus funciones primarias. Incluye temas como; la seguridad, confort, integridad estructural, economía, protección y hasta apariencia del activo.

“La definición de una función consiste de un verbo, un objeto y el estándar de funcionamiento deseado por el usuario” (Moubray, 2004, p.23).

Al establecer la función de un activo físico se debe determinar qué es lo que el usuario desea que realice su activo y asegurar que el equipo sea capaz de realizar de cubrir la necesidad de uso del beneficiario.

2.6.2. Fallas funcionales

De acuerdo a (SAE JA1011, 1999, p. 4) falla funcional es: “Un estado en el que un activo físico o sistema no se encuentra disponible para ejercer una función específica a un nivel de desempeño deseado”.

“Los estados de falla son conocidos como fallas funcionales porque ocurren cuando el activo no puede cumplir una función de acuerdo al parámetro de funcionamiento que el usuario considera aceptable” (Moubray, 2004a).

Como enfatiza, SAE JA 1011 y Moubray una falla funcionales la incapacidad de un activo de realizar la función requerida en su contexto operacional.

Es preciso definir una falla funcional en términos de una función específica y no como una falla completa del activo. El RCM también utiliza el término “falla funcional” para describir estados de falla y no únicamente a la falla en sí. Para definir correctamente la falla se tiene que conocer el estándar de funcionamiento del activo.

2.6.3. Modos de falla

El tercer paso del RCM es definir los modos de falla tomando en consideración que es un evento que puede causar un estado de falla. De esta manera, podemos distinguir que un modo de falla es:

Un evento único, que causa una falla funcional (SAE JA1011, 1999, p. 5). De acuerdo a (Moubray, 2004, p. 9) un modo de falla son: “Todos los hechos que de manera razonablemente posible puedan haber causado cada estado de falla.

A los modos de falla se los puede incluir a aquellos que han ocurrido en activos similares operando en el mismo contexto operacional, fallas que actualmente están siendo prevenidas por regímenes de mantenimiento, así como fallas que aún no han ocurrido, pero son consideradas altamente posibles en el contexto en cuestión (Moubray, 2004a).

Para describir un modo de falla debe consistir en un sustantivo, de un verbo y la causa de fallo. La descripción debe ser lo suficientemente detallada para poder seleccionar una estrategia de manejo de falla apropiada. Los verbos a utilizar deben definir claramente el modo de falla producido. La manera apropiada de diferenciar los estados de falla y los eventos que los causan es elaborando un listado de las fallas funcionales y registrar los modos de falla para cada una de las fallas funcionales.

2.6.4. Efectos de las fallas

Dentro del desarrollo de la metodología del RCM, el cuarto paso consiste en hacer un listado de lo que de hecho ocurre al producirse un modo de fallo, denominado efecto de la falla.

Tanto (Moubray, 2004a) como (SAE JA1011, 1999, p. 4) definen al efecto de falla como: “Descripción de lo que sucede cuando ocurre un modo de falla”.

En definitiva, el efecto de falla es lo que sucede al producirse un modo de falla, se diferencia de la consecuencia de la falla debido a que la consecuencia busca conocer la importancia que tiene el modo de falla producido en el activo.

Para considerar los efectos de las fallas debe describirse en cada modo de falla los puntos detallados en la tabla 5-2. La descripción de estos efectos debe incluir toda la información necesaria para ayudar en la evaluación de las consecuencias de una falla.

Tabla 5-2: Factores a considerar de los efectos de la falla

Factores a considerar	Propósito
Evidencia de la falla	En circunstancias normales, es evidente para los operarios la pérdida de función.
Riesgos para la seguridad y medio ambiente.	Si existe posibilidad de lesión o muerte como consecuencia directa de una falla.
Efecto a la producción o a las operaciones.	Aportar con claridad para determinar las consecuencias operacionales o no operacionales.
Acciones correctivas	Indica que debe hacerse para reparar la falla.

Fuente: Moubray, J. 2004.

Realizado por: Arévalo, Dennis, 2022.

El objetivo principal es establecer si es necesario el mantenimiento proactivo. Por esta razón, los efectos de las fallas deben ser descritos con el mayor detalle posible y como si no se estuviera realizando ninguna tarea de mantenimiento para impedirlo.

2.6.5. Consecuencias de las fallas

Las consecuencias de falla son: “Los efectos que puede provocar un modo de falla o una falla múltiple (evidencia de falla, impacto en la seguridad, en el ambiente, en la capacidad operacional, en los costos de reparación directos o indirectos)” (SAE JA1011, 1999).

De acuerdo a (Moubray, 2004a) expone que “si las consecuencias de falla son serias, entonces se harán esfuerzos considerables para evitar, eliminar o minimizar sus consecuencias. Sobre todos si la falla puede herir o matar a una persona, o si tiene efectos serios sobre el medio ambiente. Esto también es válido si las fallas interfieren con la producción o las operaciones, o si pueden causar daños secundarios significativos”.

Tomando con consideración lo expuesto, si la consecuencia de falla tiene efectos menores, es probable que no se tome ninguna acción proactiva y que la reparación se realice al producirse el fallo.

De tal manera las consecuencias de las fallas se las pueden clasificar en cuatro categorías:

- 1.- Consecuencias para la seguridad y el medio ambiente.
- 2.- Consecuencias operacionales.
- 3.- Consecuencias no operacionales.
- 4.- Consecuencias a los fallos ocultos.

En definitiva, al concretar las consecuencias de las fallas culmina la primera etapa del RCM que es la obtención de información, misma que será registrada en la hoja de información y decisión.

2.6.6. Cuadro de información y decisión

El cuadro de información que proporciona (Moubray, 2004, p.93) muestra la matriz “Análisis de modos de falla y sus efectos AMFE”, resultado de la investigación realizada, definición de funciones, fallas funcionales para cada función y los modos de falla relacionados con las fallas funcionales, se determina los efectos de la falla.

La información se debe registrar en cada uno de los espacios correspondientes. Se trata de realizar un análisis completo del activo. Se determina un número para cada función y se coloca en el primer cuadro de la hoja de información, luego, se define la función tomando en cuenta la estructura definida. Para codificar la falla funcional se utiliza letras del abecedario de forma descendente y en mayúsculas. El modo de falla se coloca uno a uno y se enumera para posteriormente identificar el efecto de falla de cada uno de los modos de fallo. Ver tabla 6-2.

Tabla 6-2: La hoja de información del RCM

HOJA DE INFORMACIÓN DEL RCM II	SISTEMA Turbina Pelton Bell de 2665 kw			SISTEMA N° GRU01-MTB01	Facilitador: D. Arévalo	Fecha: 15/03/20	Hoja N° 1	
	SUBSISTEMA Rodete			SUBSISTEMA N° GRU01-MTB01-MRO01	Auditor: C. Gallegos	Fecha: 15/04/20	de 5	
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO DE LA FALLA		CONSECUENCIA DE FALLA

Fuente: Moubray, J. 2004.

Realizado por: Arévalo, Dennis, 2022.

Según (Moubray, 2004, p.202) “La hoja de decisión, es el segundo de los dos documentos centrales utilizados en la aplicación de RCM. Permite asentar respuestas formuladas en el diagrama de decisión evaluando las consecuencias de cada modo de falla listados en la hoja de información”.

Tabla 7-2: Hoja de decisión RCM

HOJA DE DECISIÓN RCM II	SISTEMA						Sistema N°	Facilitador:	Fecha	Hoja N°					
	SUBSISTEMA						Subsistema N°	Auditor:	Fecha	de					
Referencia de información	Evaluación de las consecuencias			H1	H2	H3	Tareas "a la falta de"	Tarea propuesta	Frecuencia inicial	A realizarse por					
				S1	S2	S3									
				O1	O2	O3									
F	FF	FM	H	S	E	O	NI	N2	N3	H4	H5	S4			

registrará con una “S” en la columna correspondiente de la hoja de decisión del “RCM” (tabla 7-2) (Moubray, 2004, p.209).

H1	H2	H3	
S1	S2	S3	
O1	O2	O3	
N1	N2	N3	
S			<p>¿Es técnicamente factible realizar una tarea para detectar si está ocurriendo una falla o está a punto de ocurrir? :</p> <p>¿Hay alguna clara condición de falla potencial? ¿Cuál es? ¿Cuál es el intervalo P-F? ¿Es suficientemente largo como para ser de utilidad? ¿Es razonablemente consistente? ¿Es posible hacer la tarea a intervalos menores al intervalo P-F?</p>
N	S		<p>¿Es técnicamente factible realizar una tarea de reacondicionamiento programado para reducir la frecuencia de la falla (evitar todas las fallas en el caso en que afecte la seguridad)?</p> <p>¿Hay una edad en la que aumenta rápidamente la probabilidad condicional de falla? ¿Cuál es? ¿Ocurren la mayoría de las fallas después de esta edad (todos en el caso de consecuencias para la seguridad o el medio ambiente)? ¿Restituirá la tarea la resistencia original a la falla?</p>
N	N	S	<p>¿Es técnicamente factible realizar una tarea de sustitución cíclica para reducir la frecuencia de la falla (evitar todas las fallas en el caso de que afecte a la seguridad)?</p> <p>¿Hay una edad en la que aumenta rápidamente la probabilidad condicional de falla? ¿Cuál es? ¿Ocurren la mayoría de las fallas después de esta edad (todos en el caso de consecuencias para la seguridad o el medio ambiente)?</p>

Ilustración 0-3: Criterios de factibilidad técnica

Fuente: Moubray, J. 2004.

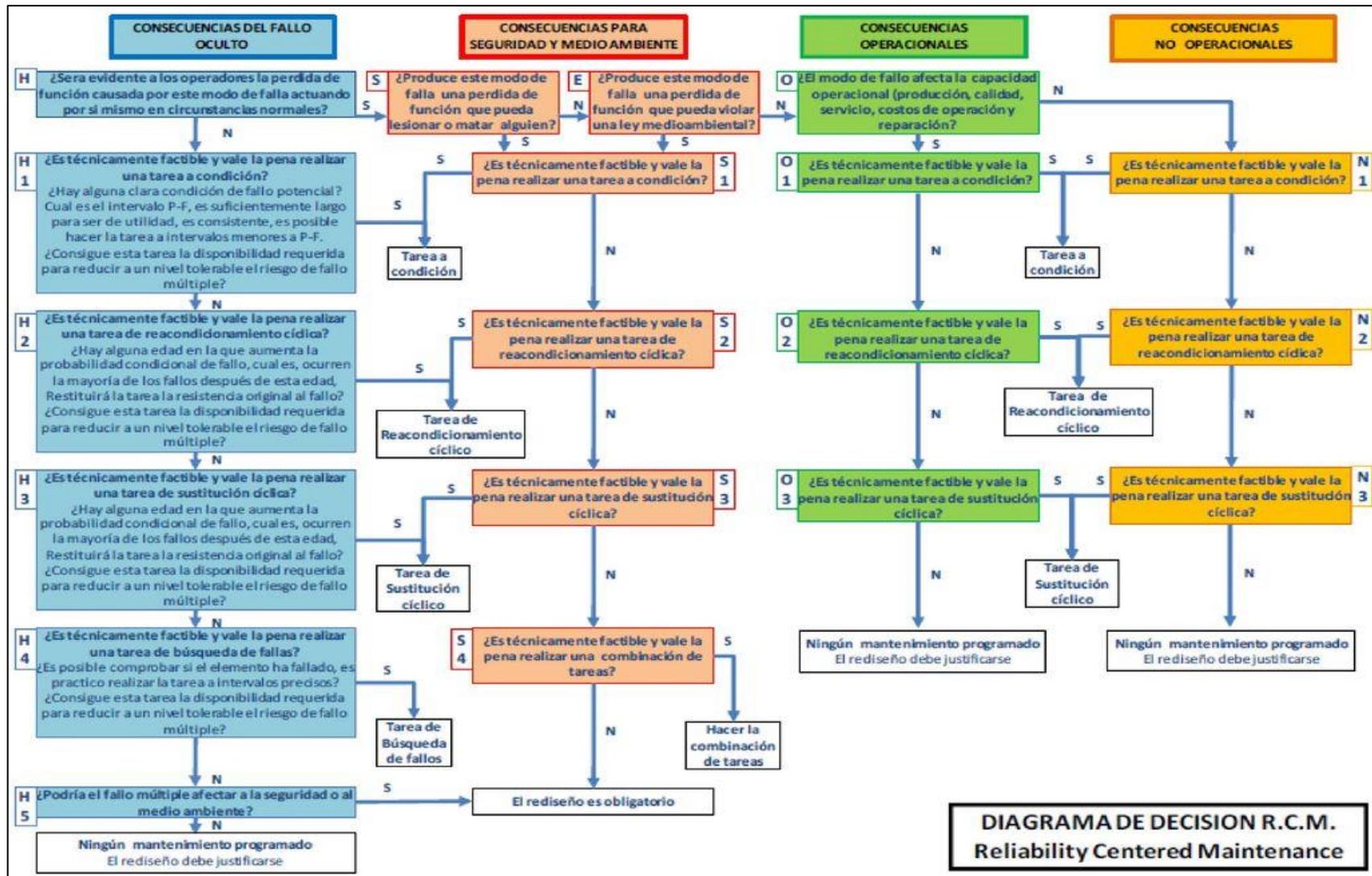


Ilustración 0-4: Diagrama de decisión del RCM

Fuente: Moubray, J. 2004.

2.7. Tareas proactivas del mantenimiento

“Estas tareas se llevan a cabo antes de que ocurra una falla, con el objetivo de prevenir que el componente llegue a su estado de falla. Abarca lo que comúnmente se denomina mantenimiento predictivo y preventivo, aunque RCM utiliza los siguientes términos: reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica y mantenimiento a condición ”.(Moubray, 2004, p.133)

Las tareas proactivas: mantenimiento basado en condición, reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica son acciones de mantenimiento encaminadas a disminuir la ocurrencia de un modo de fallo, basado en el monitoreo continuo del activo con la finalidad de disminuir las consecuencias de las fallas.

2.7.1. Tareas basadas en condición

De acuerdo con (Moubray, 2004, p.149) las tareas a condición consisten en chequear si hay fallas potenciales, para que se pueda actuar y prevenir la falla funcional o evitar las consecuencias de la falla funcional.

Se puede identificar las etapas finales de las fallas mediante el diagrama P-F el cual muestra como empieza la falla, como se desgasta al punto de lograr detectar la falla y si no es detectada y corregida, llega a la falla funcional.

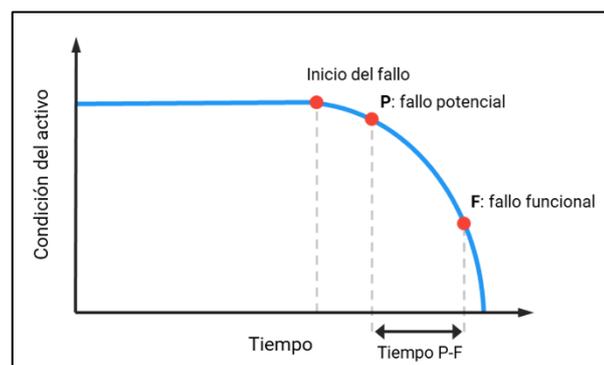


Ilustración 0-5: Diagrama P-F

Fuente: Moubray, J. 2004.

El monitoreo continuo de un activo proporciona información verás de los parámetros de funcionamiento del equipo. De esta manera se puede predecir el fallo evaluando la condición del equipo en su contexto operativo actual.

2.7.2. Tareas de reacondicionamiento cíclico

El reacondicionamiento cíclico consiste en reacondicionar la capacidad de un elemento o componente antes o en el límite de edad definido, independientemente de su condición en ese momento. (Moubray, 2004, p.138)

Las tareas de reacondicionamiento cíclico también se conocen como *tareas de retrabajos cíclicos*. Incluyen también revisiones o cambios completos hechos a intervalos preestablecidos para prevenir modos de falla específicos relacionados con la edad. (Moubray, 2004, p.139)

Un componente o elemento puede recuperar su función requerida al aplicar tareas de reacondicionamiento cíclico mejorando su estado físico - funcional sin tomar en cuenta la vida útil del mismo.

2.7.3. Tareas de sustitución cíclica

De acuerdo con (Moubray, 2004, p.139) las tareas de sustitución cíclica consisten en descartar un elemento o componente antes, o en el límite de edad definida independientemente de su condición en ese momento.

El reemplazo de un componente o elemento es el objetivo de la sustitución cíclica. El reacondicionamiento y sustitución cíclica puede aplicarse a la misma tarea, el término apropiado dependerá del nivel de análisis que se lo realice. Se debe considerar las dos tareas proactivas al mismo tiempo, la distinción se vuelve significativa al considerar un modo de falla que puede prevenirse con cualquiera de las dos tareas cuando se las considera al mismo nivel de análisis.

2.8. Acciones a falta de

En el caso de no encontrar una tarea proactiva que sea técnicamente factible para un modo de fallo debe llevarse a cabo la acción “a falta de”.

(Moubray, 2004, p.174) indica que “La acción *a falta de* que debe llevarse a cabo está regida por las consecuencias de la falla”.

Sí una tarea proactiva no reduce el riesgo de falla se debe tomar acciones de búsqueda de fallas, mantenimiento al fallo o rediseño que forman parte de las acciones “a falta de”

2.8.1. Búsqueda de fallas

Las tareas cíclicas de búsqueda de fallas consisten en chequear una función oculta a intervalos regulares para ver si ha fallado. Se aplica sólo a las fallas ocultas o no reveladas. A su vez, las fallas ocultas solo afectan a los dispositivos de protección. Si se aplica correctamente el RCM en casi todos los sistemas industriales se halla que entre el 40% - 80% de modos de falla se encuentran dentro de esta categoría. (Moubray, 2004, pp.176-177)

Si no se logra encontrar una tarea proactiva que reduzca el riesgo de la falla múltiple asociada con la función oculta a un nivel tolerable, entonces se debe realizar periódicamente una tarea de búsqueda de falla. Si no se logra encontrar una tarea de búsqueda de falla que mitigue las consecuencias a la seguridad y al medio ambiente entonces, el rediseño es obligatorio.

2.8.2. Trabajo al fallo

El trabajo al fallo es una de las alternativas que propone la metodología del RCM, se puede tomar en cuenta como acción a la falta de si es una falla evidente y no causa consecuencias como se detalla posteriormente.

(Moubray, 2004, p.191) indica que: “si la falla es evidente y no afecta a la seguridad ni el medio ambiente, o si es oculta y la falla múltiple no afecta a la seguridad ni al medio ambiente, entonces la acción inicial a falta de es no realizar ningún mantenimiento programado”.

Si el modo de falla no afecta de ninguna manera a la seguridad o al medio ambiente se puede trabajar al fallo, es decir, dejar que el activo continúe realizando su función requerida hasta llegar a la falla funcional, momento en el cual puede ser reparado o reemplazado.

2.8.3. Rediseño

Cualquier acción que implique un cambio en un plano o una lista de piezas. Incluye una modificación en la especificación de un componente, el agregado de un elemento nuevo, la sustitución de una maquina entera por una de marca o tipo diferente, o cambiar una máquina de lugar. (Moubray, 2004, p.192)

El rediseño de un activo se refiere básicamente a cualquier modificación en la especificación de un componente o elemento. Cuando las consecuencias afectan a la seguridad y al medio ambiente el rediseño de la maquina es obligatorio y debe mitigar completamente las consecuencias. La capacitación al personal de trabajo forma parte del rediseño, sí el modo de falla fue consecuencia de falta de conocimiento del personal.

2.9. Plan de mantenimiento centrado en confiabilidad

De acuerdo a (UNE EN 13306, 2011, p.7) el plan de mantenimiento es: Conjunto estructurado y documentado de tareas que incluyen las actividades, los procedimientos, los recursos y la duración necesaria para realizar el mantenimiento.

Un plan de mantenimiento engloba las tareas propuestas, frecuencias, procedimientos y logística necesaria posterior a un estudio realizado con el fin de mantener o alargar la vida útil de un activo incluyendo la información necesaria y verídica para el personal de mantenimiento.

Existen varios métodos válidos para elaborar un plan de mantenimiento. En este estudio el plan de mantenimiento estará basado en la metodología del RCM.

2.10. Gestión de mantenimiento asistido por computador (GMAO)

Al aplicar la gestión de mantenimiento asistido por computador, facilita la gestión del mantenimiento de activos de una organización. Su finalidad es poner en el centro del mantenimiento a los activos alrededor de los cuales estará vinculado a módulos como: documentos técnicos, ordenes de trabajo, fichas técnicas, lista básica de recambios/repuestos, programación de mantenimiento, costos, etc.

De acuerdo a (Moubray, 2004, p.215) la información contenida en las hojas de información y de decisión se presta para ser fácilmente almacenada en una base de datos computarizada. De hecho, si se analiza una cantidad considerable de activos, es casi esencial utilizar una computadora.

El computador debe utilizarse como herramienta de almacenamiento de información acerca del estudio realizado, no se debe utilizar para manejar el proceso del RCM. La implantación de un sistema GMAO en una organización requerirá de un estudio de las necesidades de cada empresa, donde se establecerá que módulos requiera implementar o a optimizar los sistemas existentes. De tal forma que se pueda digitalizar y automatizar la información obtenida.

CAPÍTULO III

3. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA DEL RCM

3.1. Levantamiento de inventario técnico

Para iniciar con el levantamiento del inventario técnico de los equipos que funcionan en la casa de máquinas de la Empresa Eléctrica Riobamba S.A se toma en consideración la línea de producción de energía. De tal manera, que los activos sean incluidos jerárquicamente según los lineamientos de la norma ISO 14224-2016.

Tabla 1-3: Inventario técnico de la central Alao.

NIVEL 3		NIVEL 4		NIVEL 5		NIVEL 6		NIVEL 7		NIVEL 8		NIVEL 9	
Instalación	Cód	Planta	Cód	Área	Cód	Máquina	Cód	Equipo	Cód	Componente	Cód	Elemento	Cód
EERS A	EE	CENTRAL ALAO	AL	CAS A DE MÁQ UINAS	C M	AUXILIA RES GENERAL ES	A U	Banco de baterías	EBB01				
								Transformador de potencia N°1	ETR01				
								Transformador de potencia N°2	ETR02				
								Transformador de potencia N°3	ETR03				
								Transformador de potencia N°4	ETR04				
								Aire acondicionado	MAA01				
								Compresor N°1	MCP01				
								Compresor N°2	MCP02				

						Equipos de carga / elevación	MEC 01				
					GRUPO DE GENERACIÓN N°1	Tablero de control	ECU 01				
				G1		Generador	EGE01				
						Excitatriz	EGE05				
				Regulador de velocidad		MRG 01					

Realizado por: Arévalo, Dennis, 2022

El desarrollo completo del inventario técnico de los activos de la central hidroeléctrica de Alao de la EERSA se puede observar en el anexo A.

3.2. Contexto operacional

Los activos críticos que forman parte del proceso de generación de energía de la central Alao funcionan en circunstancias definidas. La diferencia en su funcionamiento depende del contexto operacional en el que desarrollan su función. El desarrollo del contexto operacional se muestra en el anexo B.

Tabla 2-3: Contexto operacional de activos de la central hidroeléctrica Alao.

GRUPOS DE GENERACIÓN			
GRUPO DE GENERACIÓN N°1			
Activo	Tiempo funcionamiento	Aspectos de funcionamiento	Consecuencias
Transformador de potencia	24 horas, 365 días	<ul style="list-style-type: none"> • El activo de marca Brown Boveri tiene tres fases • Ubicado en el exterior del cuarto de máquinas • Recibe voltaje de 2400 voltios y lo eleva a 44000 voltios • No posee redundancia • En caso de falla no entrega fluido eléctrico a la red de transmisión 	<ul style="list-style-type: none"> • Lesiones al personal por explosión o incendio • Contaminación ambiental por aceite utilizado • Costos de producción • Costos de mantenimiento

		<ul style="list-style-type: none"> • Existen varios repuestos en stock de bodega. 	
Autotransformador	24 horas, 365 días	<ul style="list-style-type: none"> • Activo trifásico marca Westinghouse para el grupo uno y dos. • Dispuesto en el exterior del cuarto de máquinas • Recibe voltaje de 44000 voltios y lo eleva a 69 mega voltios • Capacidad de 6.56 MVA • No posee redundancia • En caso de falla no existen repuestos en stock de bodega 	<ul style="list-style-type: none"> • Lesiones al personal por explosión o incendio • Contaminación ambiental por aceite utilizado • Costos de producción • Costos de mantenimiento
Tablero protección/control	24 horas, 365 días	<ul style="list-style-type: none"> • Ubicado dentro de la sala de mandos • Se alimenta con corriente directa generada por el banco de baterías • Indicadores de voltaje por cada fase del generador • No posee redundancia • No existen repuestos en stock, tampoco proveedores 	<ul style="list-style-type: none"> • Lesiones al personal por cortocircuito o electrocución • Costos de producción • Costos de mantenimiento

Realizado por: Arévalo, Dennis, 2022.

Para el suministro de agua; desde el tanque de presión descienden dos tubos hacia el cuarto de máquinas. Un tubo alimenta el grupo de generación 1 y 2, el siguiente tubo alimenta el grupo de generación 3 y 4. Para iniciar la generación se debe abrir el by pass hacia el grupo de generación de esta manera se incrementa la presión de ingreso hasta 500 psi, la válvula de inyectores debe colocarse en el punto 0 moviendo el volante de inyectores hacia la derecha o izquierda dependiendo de la posición en la que se encuentre el volante. Al mismo tiempo, se debe maniobrar el volante de regulación para estabilizar el porcentaje de presión en un 95% de tal forma que todos los parámetros de funcionamiento se encuentren dentro del rango de arranque y que el operador consiga entrar en paralelo. Una vez ingresado en paralelo se debe cerrar a válvula de regulación y abrir la válvula del aceite para lubricar el sistema.

La subdivisión de la casa de máquinas de la central Hidroeléctrica de Alao se disponen de la siguiente manera: cuarto de baterías, cuarto de compresores, cuarto de excitatriz, sala de control y cuarto de máquinas. Los grupos de generación 1 y 2 para elevar su voltaje utilizan un

transformador para cada grupo y un solo autotransformador. Mientras que, los grupos 3 y 4 aumentan su voltaje directamente mediante el transformador.

3.3. Cálculo de criticidad de los activos de la central Alao

El cálculo de la criticidad aplicado a los activos de la central Alao permite jerarquizar los equipos según las consideraciones de la importancia, riesgo a la salud, medio ambiente y producción originadas al producirse un fallo, optimizando el proceso de asignación de recursos.

Se presenta un ejemplo del cálculo de la criticidad para el banco de baterías.

- Impacto operacional= 7
- Flexibilidad= 4
- Costos de mantenimiento= 1
- Costos de seguridad y medio ambiente= 8

Consecuencia = (Impacto operacional * Flexibilidad) + Costos de mantenimiento + Costos de seguridad y medio ambiente

$$\text{Consecuencia} = (7 * 4) + 1 + 8 = 37$$

Frecuencia de falla en el año = 2

Criticidad = Frecuencia de fallas * Consecuencia

$$\text{Criticidad} = 2 * 37$$

Criticidad = 74 (Crítico)

Tabla 38-3: Niveles de Criticidad

MC	Muy crítico	>91
C	Crítico	61<90
I	Importante	31<60
P	Prescindible	<30

Realizado por: Arévalo, Dennis, 2022.

La siguiente tabla muestra el cálculo de la criticidad de los grupos auxiliares y del grupo de generación 1. El cálculo completo de la criticidad se refleja en el anexo C.

Tabla 4-3: Cálculo de criticidad

ACTIVO	FRECUENCIA	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD	COSTOS DE MANTENIMIENTO	COSTO SEG. Y MEDIO AMB.	CONSECUENCIA	TOTAL	CRITICIDAD
Banco de baterías	2	7	4	1	8	37	74	Crítico
Transformador de potencia 1	2	10	4	2	10	52	104	Muy crítico
Transformador de potencia 2	2	10	4	2	10	52	104	Muy crítico
Transformador de potencia 3	2	10	4	2	10	52	104	Muy crítico
Transformador de potencia 4	2	10	4	2	10	52	104	Muy crítico
Aire Acondicionado	1	1	1	1	1	3	3	Prescindible
Compresor 1	2	7	3	1	8	30	60	Importante

Realizado por: Arévalo, Dennis, 2022.

Para determinar los activos más críticos se toma en consideración el valor numérico que resulta del producto entre la frecuencia de falla por la consecuencia que se produce. De tal manera que dentro del cálculo obtenemos: activos muy críticos, críticos, importantes y prescindibles. El estudio del RCM va dirigido a los equipos muy críticos y críticos de la central Alao los cuales se reflejan en la tabla 11.3.

Tabla 5-3: Activos críticos

ACTIVO	CÓDIGO	CRITICIDAD
Banco de baterías	EE-AL-CM-AU-EBB01	Crítico
Transformador de potencia N°1	EE-AL-CM-AU-ETR01	Muy crítico
Transformador de potencia N°2	EE-AL-CM-AU-ETR02	Muy crítico
Transformador de potencia N°3	EE-AL-CM-AU-ETR03	Muy crítico

Transformador de potencia N°4	EE-AL-CM-AU-ETR04	Muy crítico
Tablero de control	EE-AL-CM-G1-ECU01	Muy crítico
Generador	EE-AL-CM-G1-EGE01	Muy crítico
Autotransformador	EE-AL-CM-G1-EAT01	Muy crítico
Excitatriz	EE-AL-CM-G1-EGE05	Muy crítico
Regulador de velocidad	EE-AL-CM-G1-MRG01	Crítico
Lubricación de cojinetes	EE-AL-CM-G1-MSL01	Crítico
Turbina	EE-AL-CM-G1-MTB01	Muy crítico

Realizado por: Arévalo, Dennis, 2022.

3.4. Las 7 preguntas del RCM

La determinación de la estrategia del RCM empieza con la definición de las funciones de los activos en su contexto operacional actual. Para iniciar el desarrollo se ejemplifica el primer activo crítico del sistema de generación de energía: banco de baterías.

3.4.1. Función del banco de baterías

Suministrar corriente directa a los cuatro tableros de control a 132 voltios, con una intensidad de 6 amperios a una temperatura máxima de 50°C.

Verbo: Suministrar corriente directa

Un sujeto: A los cuatro tableros de control

Estándar de funcionamiento: A 132 voltios, con una intensidad de 6 amperios a una temperatura máxima de 50°C.

3.4.2. Falla funcional del banco de baterías

Las fallas funcionales obtenidas para el banco de baterías son las siguientes:

- Suministrar corriente directa menor a 132 voltios y 6 amperios a los cuatro tableros de control.

- Poseer una temperatura mayor a 50°C de operación.
- No entrega energía.

3.4.3. Modos de falla

El objetivo de esta etapa es encontrar la razón por la cual se produce la falla funcional, es decir encontrar la causa del por qué el activo no cumple con su función requerida.

Modo de fallo

- Baterías descargadas: del modo de falla “baterías descargadas” obtenemos las siguientes causas posibles que son:

Causa de fallo

- Mal contacto de los bornes.
- Placas de interconexión sin aislante.
- Falta de carga en las baterías.
- Sobre pasar la vida útil del activo.

3.4.4. Efecto de falla

Las baterías descargadas por un tiempo prolongado originan sulfatación en las placas, provocando la disminución parcial o total del suministro de potencia en corriente directa en al menos 6 horas a los esquemas de protección, señalización y control de la sala de mandos ocasionando el paro de la producción de energía durante este tiempo.

3.4.5. Consecuencia de la falla

La consecuencia del fallo afecta directamente a la producción de energía de la central hidroeléctrica de Alao. La información del desarrollo de las 7 preguntas del RCM se encuentra

plasmada en la tabla 12-3. Mientras que, la información completa del análisis de los activos críticos de la central se muestra desde el anexo D.

3.4.6. Hoja de información del RCM

Para establecer los modos de falla, causas, efectos y consecuencias de las fallas se utilizará la hoja de información del RCM donde se registrará la información de forma clara, concreta y confiable, de tal manera que pueda ser utilizada por los operadores y técnicos de mantenimiento y a la vez sirva como un documento habilitante para futuras auditorias de mantenimiento.

A continuación, se muestra un extracto de la hoja de información para el banco de baterías. La información completa de la cada uno de los activos se refleja en el anexo D.

Tabla 6-3: Hoja de información del RCM. Banco de baterías.

HOJA DE INFORMACIÓN DEL RCM II	SISTEMA	Auxiliares Generales		SISTEMA N°	CM-AU	Facilitador:	D. Arévalo		Fecha:	15/03/2020	Hoja N°	1
	SUBSISTEMA	Banco de baterías		SUBSISTEMA N°	CM-AU-EBB01	Auditor:	C. Gallegos		Fecha:	15/04/2020	de	5
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	CAUSA DE LA FALLA	EFEECTO DE LA FALLA	CONSECUENCIAS	PROBABILIDAD DE FALLA						
Banco de baterías												
1	Suministrar corriente directa a los cuatro tableros de control a 132 voltios, con una intensidad de 6 amperios, a una temperatura máxima de 50°C.	A	Suministrar corriente directa menor a 132 voltios y 6 amperios a los cuatro tableros de control.	1	Electrolito de baterías por debajo del nivel adecuado	Disminución del electrolito por uso normal	1. Evidencia: la batería no carga normalmente, lo que provoca su rápida descarga 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin riesgo a la seguridad y medio ambiente. 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas, ocasionando pérdidas económicas de \$784.26 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para completar el electrolito al nivel adecuado cerca de 1 hora	OPERACIONALES	1 vez cada dos años			
				2	Electrolito de baterías por debajo del nivel adecuado	Aumento de temperatura en los terminales	1. Evidencia: el electrolito empieza a hervir, es decir aumenta su temperatura, produciendo burbujes 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de quemaduras por materiales calientes 3. Riesgos a la producción: Sin efectos a la producción de energía 4. Acción correctiva: Medir el voltaje en los terminales de las baterías	SEGURIDAD	1 vez cada cinco años			
				3	Electrolito de baterías por debajo del nivel adecuado	Puesta en marcha sin antes dejarla enfriar	1. Evidencia: Disminuye el voltaje durante el funcionamiento. Baterías sobrecalentadas 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni el medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 1 hora ocasionando pérdidas económicas de \$ 156.85	OPERACIONALES	1 vez cada dos años			

Realizado por: Arévalo, Dennis, 2022.

3.4.7. La hoja de decisión del RCM

Tabla 7-3: Hoja de decisión del RCM. Banco de baterías

HOJA DE DECISIÓN RCM II			SISTEMA				Auxiliares generales				Sistema N°			Facilitador:	Fecha	Hoja N°		
			SUBSISTEMA				Banco de baterías				Subsistema N°			Auditor:	Fecha	De		
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a la falta de"				Tarea propuesta			Frecuencia inicial	A realizarse por
							S1	S2	S3									
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4						
1	A	1	S	N	N	S	S						Análisis de la concentración de ácido e iones en el electrolito y medición del nivel en cada batería utilizando un densímetro.			Mensual	Eléctrico	
1	A	3	S	N	N	S	S						Realizar tomas de temperatura a las baterías verificando que no estén sobrecalentadas antes de ponerlas en marcha			Semanal	Eléctrico	
1	A	4	S	N	N	N	S						Realizar el ajuste de los contactos en los bornes de las baterías			Mensual	Eléctrico	
1	A	5	S	N	N	N	N	S					Realizar la limpieza de las placas (bornes) utilizando un limpiador anticorrosivo y un cepillo de acero, para eliminar la sulfatación			Trimestral	Eléctrico	
1	A	7	S	N	N	N	S						Medir mediante un multímetro que el voltaje de las baterías no disminuya de 132 v y la intensidad de 6 amp.			Mensual	Eléctrico	

1	B	2	S	N	S		S							Inspeccionar visualmente que las placas y bornes de las baterías no presentan sulfatación en la superficie	Mensual	Eléctrico
---	---	---	---	---	---	--	---	--	--	--	--	--	--	--	---------	-----------

Realizado por: Arévalo, Dennis. 2022.

La hoja de decisión es un documento en el cual se plasma las respuestas correspondientes al diagrama de decisión. Las tareas propuestas para cada modo de falla del banco de baterías comprenden frecuencias estimadas para mitigar los modos de falla, así como el responsable de realizar dicha tarea.

La tabla 7-3 muestra el desarrollo de la hoja de decisión del RCM para el banco de baterías. La información completa de la hoja de decisión de cada uno de los activos se muestra en el anexo E.

Así mismo, se desarrolla un modelo sobre los criterios de factibilidad técnica para tareas basadas en condición, reacondicionamiento cíclico y sustitución cíclica. El objetivo del modelo es determinar si la tarea propuesta es técnicamente factible y vale la pena realizarla. Se responderán las preguntas propuestas en la figura 4-2

3.5. Tareas basadas en la condición

Tomando como ejemplo el modo de falla 1A7 el cual que indica: “Baterías descargadas por sobrepasar su vida útil” a la vez, la tarea propuesta para este modo de falla es “Medir mediante un multímetro que el voltaje de las baterías no disminuya de 132 v y la intensidad de 6 amp”. A continuación, se realiza la evaluación de los criterios de factibilidad técnica correspondiente al H1/S1/O1/N1, lo cual indica lo siguiente:

Tabla 8-3: Criterios de factibilidad de tareas basadas en condición

Preguntas	Argumento
¿Hay alguna clara condición de falla potencial, cuál es?	Sí, al disminuir el voltaje y/o intensidad de las baterías se verifica el inicio de la falla.
¿Cuál es el intervalo P-F?	Fecha de falla potencial: febrero 2019 Fecha de falla funcional: julio 2019
¿Es suficientemente largo como para ser de utilidad?	Sí, se tiene el tiempo suficiente para planificar la tarea de mantenimiento.
¿Es razonablemente consistente?	Sí, el modo de falla tiene un tiempo promedio de cinco meses
¿Es posible hacer la tarea a intervalos menores al intervalo P-F?	Sí, se puede ejecutar la tarea a intervalos de 4 semanas.

Fuente: Moubray, J, 2004.

Realizado por: Arévalo, Dennis, 2022.

Los modos de fallo que presenta el banco de baterías tienen una “tarea a condición” propuesta que se debe realizar para disminuir o mitigar la consecuencia de la falla. De la misma manera este análisis se realizó para los demás activos de la central hidroeléctrica de Alao.

3.6. Tareas de reacondicionamiento cíclico

Para evaluar los criterios correspondientes a este grupo, se analizará el modo de falla 1A5 que indica: “Baterías descargadas por placas de interconexión sulfatadas” a su vez, la tarea propuesta para este modo de falla es: “Realizar la limpieza de las placas y bornes utilizando un limpiador anticorrosivo y un cepillo de acero, para eliminar la sulfatación acumulada en ellos”. A continuación, se realiza la evaluación de los criterios de factibilidad técnica correspondiente al H2/S2/O2/N2, lo cual indica lo siguiente:

Tabla 9-3: Criterios de factibilidad de tareas de reacondicionamiento cíclico

Preguntas	Argumento
¿Hay una edad en la que aumenta rápidamente la probabilidad condicional de falla, cuál es?	Sí, la edad en la que aumenta la probabilidad de fallo es de un año
¿Ocurren la mayoría de las fallas después de esta edad?	Sí, a partir de esta edad las fallas incrementan
¿Restituirá la tarea la resistencia original a la falla?	Sí, mediante la limpieza se logrará eliminar la sulfatación acumulada en las placas, lo que devolverá la resistencia original

Fuente: Moubrey, J, 2004.

Realizado por: Arévalo, Dennis, 2022.

Las tareas propuestas de reacondicionamiento cíclico para los sistemas restantes de la central hidroeléctrica de Alao se determinaron siguiendo el mismo procedimiento explicado en este caso.

3.7. Tareas de sustitución cíclica

Tomando como ejemplo el modo de falla 1C4 el cual que indica: “Baterías dañadas por sobrepasar su vida útil” a la vez, la tarea propuesta para este modo de falla es “Realizar la sustitución de la batería bajo los parámetros de las normas IEEE 450 o IEEE 1188”. A continuación, se realiza la evaluación de los criterios de factibilidad técnica correspondiente al H3/S3/O3/N3, lo cual indica lo siguiente:

Tabla 10-3: Criterios de factibilidad de tareas de sustitución cíclica

Preguntas	Argumento
¿Hay una edad en la que aumenta rápidamente la probabilidad condicional de falla, cuál es?	Sí, las normas establecidas en la tarea, nos mencionan que el tiempo máximo en que las baterías empiezan a fallar frecuentemente es de 2 años debido a que su capacidad de operación empieza a descender por debajo del 80%
¿Ocurren la mayoría de las fallas después de esta edad?	Sí, a partir de esta edad las fallas incrementan

Fuente: Moubray, J, 2004.

Realizado por: Arévalo, Dennis, 2022.

Del mismo modo se definió las tareas de reacondicionamiento cíclico para los demás sistemas de activos de la central hidroeléctrica de Alao.

3.8. Plan de mantenimiento basado en confiabilidad

Para la elaboración del plan de mantenimiento del banco de baterías de la central Alao se toma en consideración las tareas propuestas en la hoja de decisión del RCM de acuerdo a la implicación en pérdidas de producción y los costos que estos paros producen. La información presentada en la tabla 10-3 muestra la tarea a realizar, la frecuencia y el encargado idóneo para realizar dicha actividad.

La información de los modos de falla ha sido tomada de los históricos de los activos y de informes del departamento de mantenimiento enviados al CENACE de los años 2018, 2019, 2020.

El desarrollo completo del plan de mantenimiento de cada uno de los activos críticos de la central hidroeléctrica de Alao se muestra en el anexo F.

La siguiente tabla muestra en detalle las diversas actividades que se deberán llevar a cabo para alargar la vida útil de cada una de las baterías del banco. Se recomienda registrar en una bitácora cada una de las tareas realizadas incluyendo la fecha de realización y la logística utilizada puesto que, será de gran utilidad para futuros estudios en torno a la gestión de mantenimiento de la central Hidroeléctrica de Alao.

Tabla 11-3: Tareas de mantenimiento propuestas

Sistema	Auxiliares Generales	Código CM-AU	Facilitador Dennis Arévalo
Subsistema	Banco de baterías	Código EBB01	Hoja N° 1
TAREAS DE MANTENIMIENTO PROPUESTAS			
Tareas		Frecuencia (semanas)	A realizar por
Análisis de la concentración de ácido e iones en el electrolito y medición del nivel en cada batería utilizando un densímetro.		4	Eléctrico
Realizar tomas de temperatura a las baterías verificando que no estén sobrecalentadas antes de ponerlas en marcha		1	Eléctrico
Realizar el ajuste de los contactos en los bornes de las baterías		4	Eléctrico
Realizar la limpieza de las placas (bornes) utilizando un limpiador anticorrosivo y un cepillo de acero, para eliminar la sulfatación acumulada		12	Eléctrico
Medir mediante un multímetro que el voltaje de las baterías no disminuya de 132 v y la intensidad de 6 amp.		4	Eléctrico
Inspeccionar visualmente los niveles de electrolito en las baterías luego del tiempo de reposo, posterior a la carga.		4	Eléctrico
Inspeccionar visualmente que las placas y bornes de las baterías no presenten sulfatación en su superficie		4	Eléctrico
Realizar un barrido de las conexiones de las baterías mediante una cámara termográfica identificando los puntos calientes.		4	Eléctrico
Realizar el ajuste de los pernos en las baterías		4	Eléctrico
Cargar las baterías con un tiempo mínimo de ocho horas, dejarlas reposar por al menos una hora antes de ponerlas en marcha.		24	Eléctrico

Verificar que las baterías no se encuentren sobrecalentadas antes de ponerlas en marcha	1	Eléctrico
Realizar la sustitución de la batería bajo los parámetros de las normas IEEE 450 o IEEE 1188	96	Eléctrico

Realizado por: Arévalo, Dennis, 2022.

3.9. Gestión de mantenimiento asistido por computador

Con la finalidad de registrar documentos, fichas técnicas y todas las actividades de mantenimiento que se han realizado a cada uno de los activos es necesario utilizar herramientas informáticas que nos permitan registrar toda la información necesaria para gestionar el mantenimiento de la empresa.

La EERSA al ser una empresa que cuenta con un importante número de activos en sus diferentes áreas, gestiona su mantenimiento mediante el software Sismac permitiendo registrar la mayor cantidad de información posible de cada activo con la finalidad de mantener los indicadores de mantenimiento en un rango favorable para la empresa y para sus equipos.

El departamento de mantenimiento y operación de la EERSA cuenta con un plan de mantenimiento para los activos que integran la central hidroeléctrica de Alao. El plan de mantenimiento propuesto puede ser analizado y actualizado en el sistema, de esta manera permitirá aumentar la fiabilidad de los equipos y gestionar el mantenimiento con información veraz y actualizada.

3.10. Razón costo beneficio del plan de mantenimiento basado en RCM

La filosofía del RCM para la gestión de mantenimiento sirve de guía para determinar las tareas de mantenimiento junto con sus frecuencias para los activos más críticos que se encuentran en un contexto operacional de una organización. La importancia estratégica es que la metodología impacta sobre tres factores fundamentales que definen el desempeño de un activo físico.

Estos tres factores son: la confiabilidad inherente (dada por su diseño), el contexto operacional (como será utilizado), y el plan de mantenimiento (como será mantenido). El éxito de implementar esta filosofía se apoya en reconocer que el mantenimiento asegura que un activo físico siga cumpliendo con su misión de forma eficiente en su contexto operacional definido por la organización.

Con el objetivo de dar a conocer y justificar los beneficios que conlleva realizar el plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM, a continuación, se establece un modelo para analizar y calcular los costos totales de mantenimiento generados por las tareas basadas en condición frente a las tareas de mantenimiento correctivo.

3.11. Costo total de mantenimiento basado en condición “MBC”

Para calcular el costo total de “MBC” se utilizará la siguiente ecuación

$$\text{Costo total MBC} = \text{Costo MBC} + \text{Costo de reparación} + \text{Costos operacionales}$$

A continuación, se detalla la forma de calcular los elementos de costos descritos en la formula anterior.

(1) Costo anual MBC = # Inspecciones al año x costo de inspección

(2) Costo de reparación = costo repuestos + (horas de reparación x # técnicos x Costo H-H)

(3) Costos operacionales = pérdida de energía x costo KW-h

(3.1) Pérdida de energía = Tiempo muerto (horas) x Energía neta producida (MWh)

El valor de la energía neta producida se pudo obtener gracias a los datos entregados por la EERSA, de su programa de producción del año 2019. El dato de tiempo muerto será igual a las horas de reparación y estos serán menores al tiempo que se encuentran detallados en la hoja de información del RCM para cada sistema en el apartado de consecuencias.

3.12. Costo total de mantenimiento correctivo

Para calcular el costo total de mantenimiento correctivo se utilizará la siguiente ecuación

$$\text{Costo total correctivo} = \text{Costo de reparación} + \text{Costos operacionales}$$

Para el cálculo de los elementos de costos, se utilizará las mismas formulas del apartado anterior. La diferencia es que en este caso los valores de repuestos, horas de reparación y tiempo muerto serán considerablemente mayores, ya que vale recordar que el mantenimiento correctivo interviene después de que se da un fallo, por lo que el tiempo de intervención incrementa y puede darse que otros elementos estén averiados. Los valores del tiempo muerto se encuentran detallados en las hojas de información del RCM.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS DEL PROYECTO TÉCNICO

4.1. Resultados del análisis de criticidad

A continuación, se muestran los porcentajes de los resultados obtenidos luego de haber determinado cuáles son los activos más críticos de la Central Hidroeléctrica de Alao.

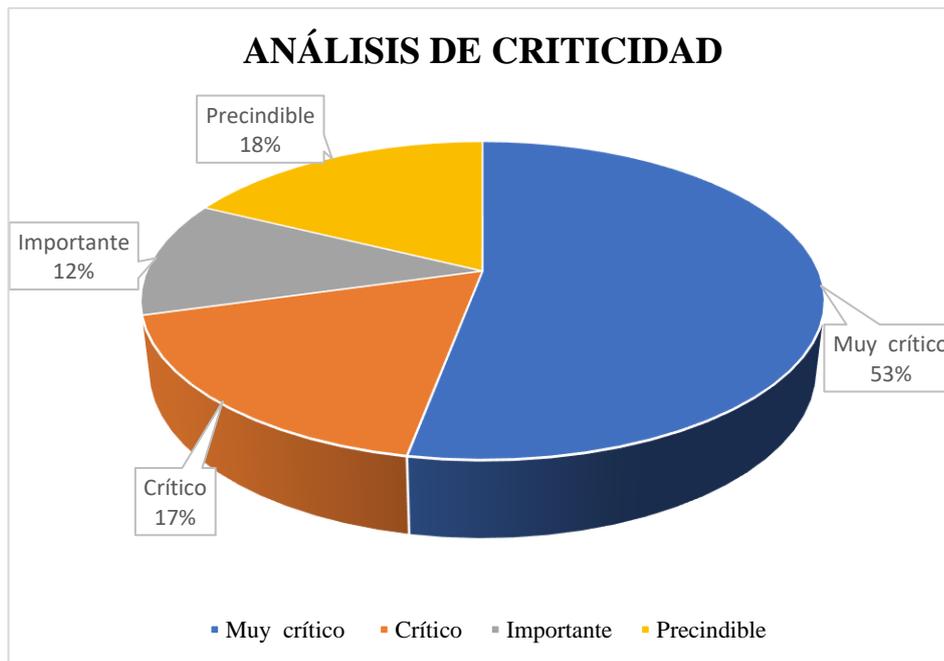


Ilustración 0-1: Resultados del análisis de criticidad

Realizado por: Arévalo, Dennis, 2022.

Análisis: Mediante la tabulación de datos, se puede observar en el gráfico 1-4, que los activos más críticos corresponden al 53% (9 equipos) del total de equipos, y los activos críticos forman parte del 17% (3 equipos), lo que significa que el 70% (12 equipos) del total de los sistemas de activos son los que más impacto y consecuencias tienen en caso de producirse una falla.

Los activos que forman parte de este grupo son: el transformador de potencia, el generador, el autotransformador, el tablero de control, la turbina, la excitatriz, el regulador de velocidad, y el sistema de lubricación de cojinetes.

4.2. Resultados del plan de mantenimiento preventivo

4.2.1. Resultados del inventario técnico

Para la elaboración del plan de mantenimiento fue necesario contar con toda la información técnica, es por eso que se elaboró el inventario técnico de activos críticos. El gráfico a continuación nos muestra que se realizó el inventario del 100% de los sistemas de activos críticos. En otros términos, se inventarió 5 sistemas de activos físicos, los cuales agrupan a 37 equipos que se distribuyen entre ellos.

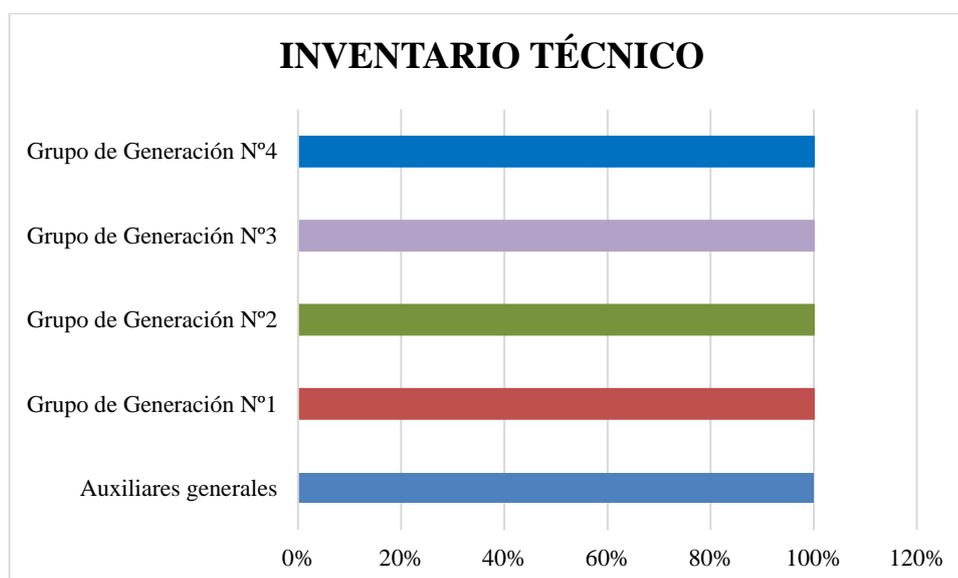


Ilustración 0-2: Resultados del inventario técnico

Realizado por: Arévalo, Dennis, 2022.

Es importante mencionar que la taxonomía y la estructura de codificación que se empleó para el inventario de los activos críticos servirán también para los demás sistemas de activos de la central hidroeléctrica de Alao.

4.2.2. Resultados del análisis funcional de los activos

En el gráfico 3-4, se detalla de manera gráfica y numérica los resultados obtenidos luego de haber realizado el análisis funcional de los activos críticos, el cual consistió en analizar un total de 261 modos de falla, efectos y consecuencias que conlleva una falla funcional, este análisis es más conocido como “AMEF”.

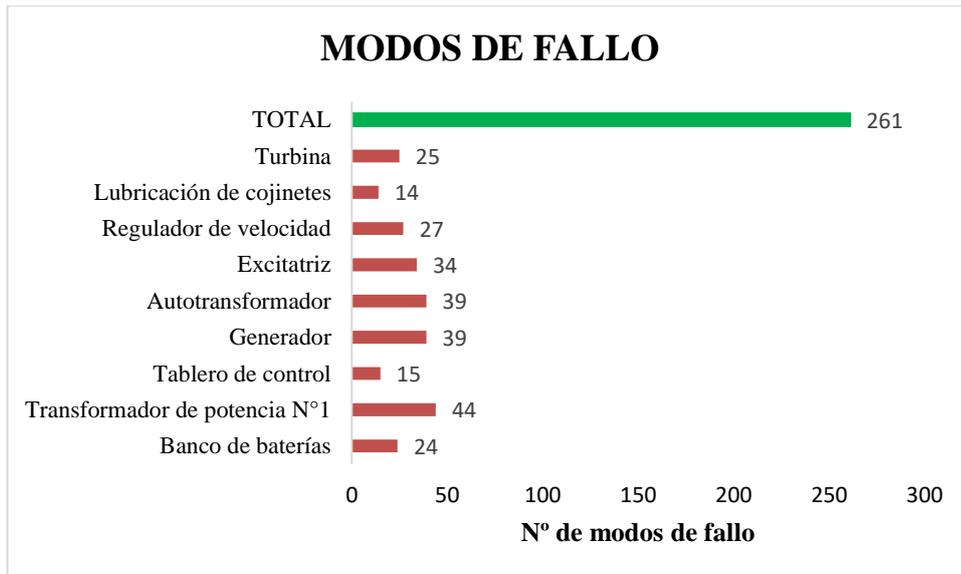


Ilustración 0-3: Resultados del análisis funcional

Realizado por: Arévalo, Dennis, 2022.

Análisis: Como se puede observar en el gráfico, las cantidades de modos de fallo analizados difieren en cada sistema de activos. El sistema con más modos de fallo analizados es el transformador de potencia con un total de 44 modos de falla, esto se debe a la complejidad de cómo está conformado cada sistema, es por eso que las cantidades son diferentes para cada caso. Es importante aclarar que no significa que se ha realizado un análisis inadecuado, para los sistemas con menos modos de falla, por la razón mencionada antes.

4.2.3. Resultados de las tareas de mantenimiento planificadas

En el siguiente gráfico se representa el total de tareas de mantenimiento planificadas para cada sistema de activos. En total se planificaron 172 tareas de mantenimiento, como en el caso anterior el transformador de potencia es el sistema con mayores tareas asignadas. Hay que recalcar que para cada modo de fallo se asigna una única tarea que ayude a reducir las consecuencias del mismo. A su vez las tareas se definieron para los modos de fallo con mayor probabilidad de ocurrencia.

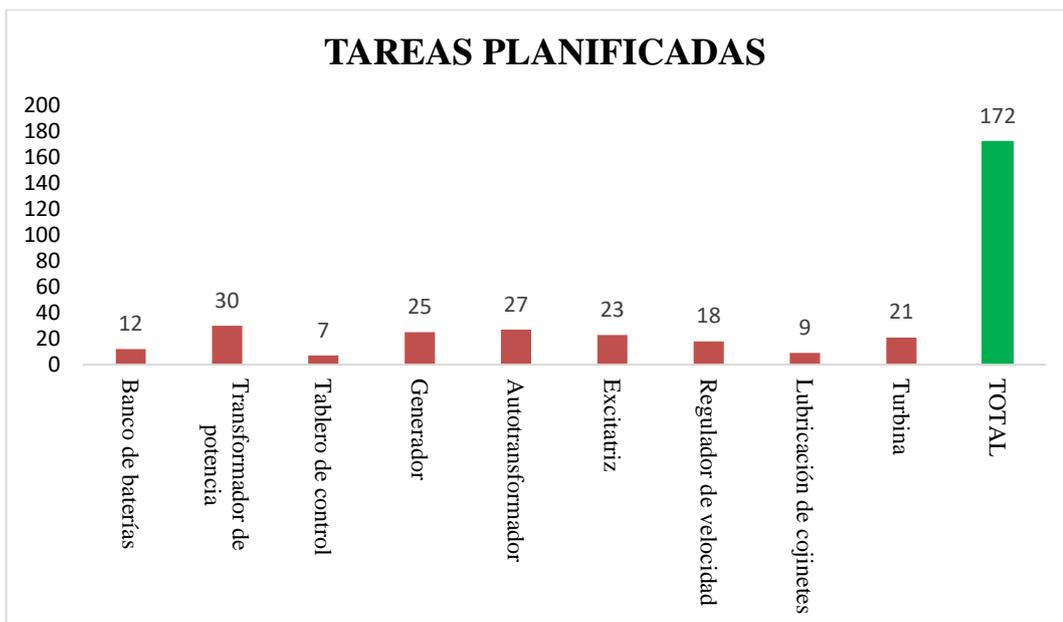


Ilustración 0-4: Resultados de las tareas planificadas

Realizado por: Arévalo, Dennis, 2022.

4.3. Análisis costo beneficio del plan de mantenimiento basado en RCM

Como se mencionó anteriormente, la metodología del “RCM” tiene grandes beneficios e impactos en su implementación. Uno de ellos es asegurar que, a través del mantenimiento preventivo, un activo físico continúe cumpliendo de forma eficaz y eficiente con la función requerida dentro del contexto operacional para la cual fue adquirido, adaptándose a las necesidades reales de mantenimiento de una organización, ya que toma en cuenta aspectos como: la seguridad del personal, el medio ambiente, la razón costo-beneficio y las operaciones.

Como bien se conoce el objetivo principal del mantenimiento preventivo es reducir o evitar que se produzcan grandes averías, debido a que el costo de las reparaciones y mantenimiento correctivo resultarían ser muy costosas, y dejaría al activo fuera de servicio durante un tiempo no planificado. Por esta razón, para justificar este argumento a continuación se analizan los costos de tres tareas de mantenimiento preventivas del plan obtenido, frente a los costos de mantenimiento correctivo.

Para realizar el análisis fue necesario contar con el valor de la energía neta producida. Dicho valor se pudo obtener del programa de producción de la EERSA del año 2019, el cual calculado el promedio dio como resultado 1498,1 MWh, a su vez el costo del kilovatio-hora está a un precio de \$ 0,1047. A continuación, se presenta los análisis y resultados encontrados.

Tabla 1-4: Análisis costo beneficio de la tarea N°01

ANÁLISIS COSTO BENEFICIO			
Tarea N°1	Inspección termográfica para identificar deltas de temperatura en todos los puntos de los cojinetes	Modo de falla	Vibración excesiva en cojinetes
MBC		CORRECTIVO	
Costo MBC		Costo reparación	
Frecuencia N° de inspecciones/año	12	Cojinete guia superior (tipo plano con película de aceite)	\$ 1.500,00
Costo de la inspección \$	\$ 185,00	Cojinete guia inferior (tipo plano con película de aceite)	\$ 1.500,00
Costo MBC anual	\$ 2.220,00	otros repuestos	\$ 400,00
Costo reparación		Costo Operacional	
Cojinete guia superior (tipo plano con película de aceite)	\$ 1.500,00	Horas de reparación	72
Cojinete guia inferior (tipo plano con película de aceite)	\$ 1.500,00	N° de técnicos	2
Horas de reparación	16	Horas hombre	8
N° de técnicos	2	Costo horas hombre	\$ 8,00
Horas hombre	8	Costo de reparación	\$ 4.552,00
Costo horas hombre	\$ 8,00	Costo Operacional	
Costo de reparación	\$ 3.256,00	Tiempo muerto (parada)	72
Costo Operacional		Pérdida de Energía x Disponibilidad	107863,2
Tiempo muerto (parada)	16	Costo x indisponibilidad (USD) 0,1047	\$ 11.293,28
Pérdida de Energía x Disponibilidad	23969,6		
Costo x indisponibilidad (USD) 0,1047	\$ 2.509,62		
TOTAL MBC	\$ 7.985,62	TOTAL CORRECTIVO	\$ 15.845,28

Realizado por: Arévalo, Dennis, 2022.

Tabla 2-4: Análisis costo beneficio de la tarea N°02

ANÁLISIS COSTO BENEFICIO			
Tarea	Inspección termografica para para identificar deltas de temperatura en todos los puntos del generador	Modo de falla	Bobinas del estator quemadas
MBC		CORRECTIVO	
Costo MBC		Costo reparación	
Frecuencia N° de inspecciones/año	12	Costo rebobinado	\$ 160.726,00
Costo de la inspección \$	185	otros repuestos	\$ 400,00
Costo MBC anual	\$ 2.220,00	Horas de reparación	\$ 2.280,00
Costo reparación		Costo Operacional	
Costo rebobinado	\$ 160.726,00	N° de técnicos	2
Horas de reparación	\$ 840,00	Horas hombre	8
N° de técnicos	2	Costo horas hombre	8
Horas hombre	8	Costo de reparación	\$ 197.606,00
Costo horas hombre	8	Costo Operacional	
Costo de reparación	\$ 174.166,00	Tiempo muerto (parada)	2280
Costo Operacional		Pérdida de Energía x Disponibilidad	3415668
Tiempo muerto (parada)	840	Costo x indisponibilidad (USD) 0,1047	\$ 357.620,44
Pérdida de Energía x Disponibilidad	1258404		
Costo x indisponibilidad (USD) 0,1047	\$ 131.754,90		
TOTAL MBC	\$ 308.140,90	TOTAL CORRECTIVO	\$ 555.226,44

Realizado por: Arévalo, Dennis, 2022.

Tabla 3-4: Análisis costo beneficio de la tarea N°03

ANÁLISIS COSTO BENEFICIO			
Tarea N°3	Pruebas de aislamiento mediante un megger al bobinado del estator	Modo de falla	Desgaste del aislamiento del bobinado del estator
MBC		CORRECTIVO	
Costo MBC		Costo reparación	
Frecuencia N° de inspecciones/año	4	Aislamiento tipo Nomex 30 kg	\$ 160.726,00
Costo de la inspección \$	80	otros repuestos	\$ 400,00
Costo MBC anual	\$ 320,00	Horas de reparación	\$ 120,00
Costo reparación		N° de técnicos	2
Aislamiento tipo Nomex 30 kg	\$ 496,20	Horas hombre	8
Horas de reparación	\$ 80,00	Costo horas hombre	8
N° de técnicos	2	Costo de reparación	\$ 163.046,00
Horas hombre	8	Costo Operacional	
Costo horas hombre	8	Tiempo muerto (parada)	120
Costo de reparación	\$ 1.776,20	Pérdida de Energía x Indisponibilidad	179772
Costo Operacional		Costo x indisponibilidad (USD) 0,1047	\$ 18.822,13
Tiempo muerto (parada)	80	TOTAL CORRECTIVO	
Pérdida de Energía x Indisponibilidad	119848	\$ 181.868,13	
Costo x indisponibilidad (USD) 0,1047	\$ 12.548,09	TOTAL MBC	
TOTAL MBC		\$ 14.644,29	

Realizado por: Arévalo, Dennis, 2022.

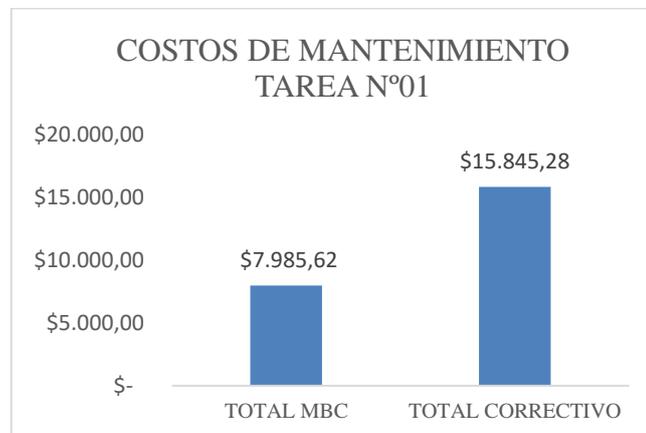


Ilustración 0-5: Costos de mantenimiento de la tarea N°01

Realizado por: Arévalo, Dennis, 2022.

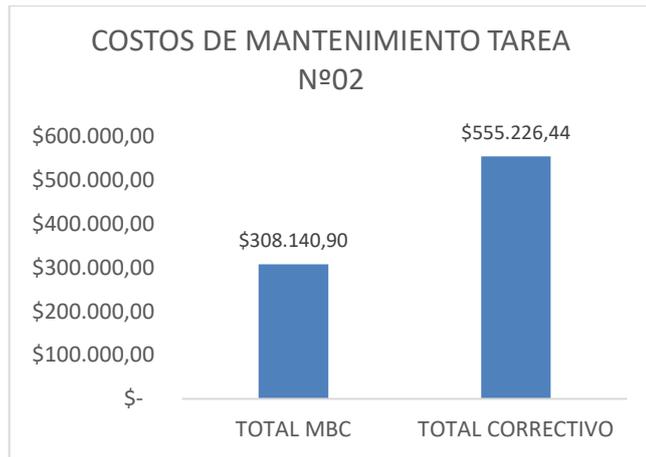


Ilustración 0-6: Costos de mantenimiento de la tarea N°02

Realizado por: Arévalo, Dennis, 2022.

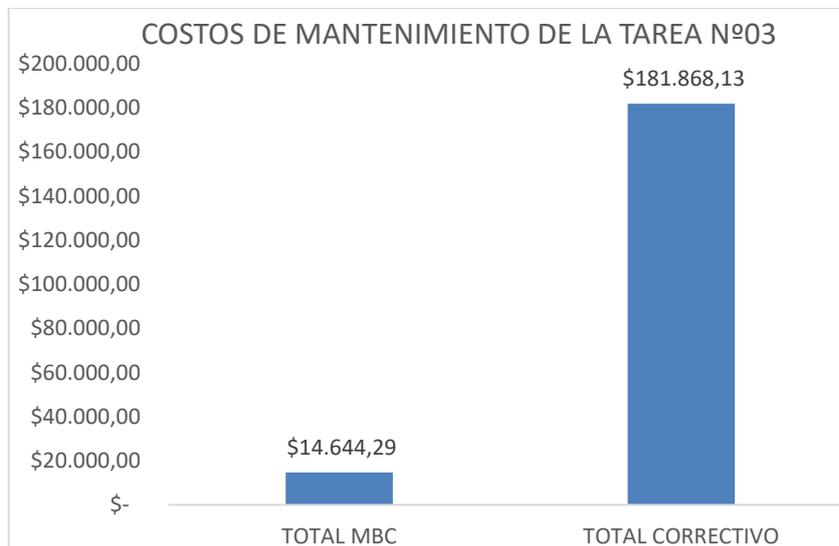


Ilustración 0-7: Costos de mantenimiento de la tarea N°03

Realizado por: Arévalo, Dennis, 2022.

Análisis: Como se puede observar en los gráficos 5-4, 6-4 y 7-4, en todos los casos los resultados nos muestran que el costo total de mantenimiento basado en condición “MBC” es inferior al costo de mantenimiento correctivo “MC”. En base a este análisis se puede argumentar que las tareas de mantenimiento basado en condición y/o preventivas, generan un gran beneficio, ya que como se pudo observar reducen considerablemente las consecuencias operacionales, de seguridad y no operacionales, tanto técnicamente, ya que permite que el activo se mantenga en un estado disponible como económicamente, lo que representa un ahorro esencial para una organización.

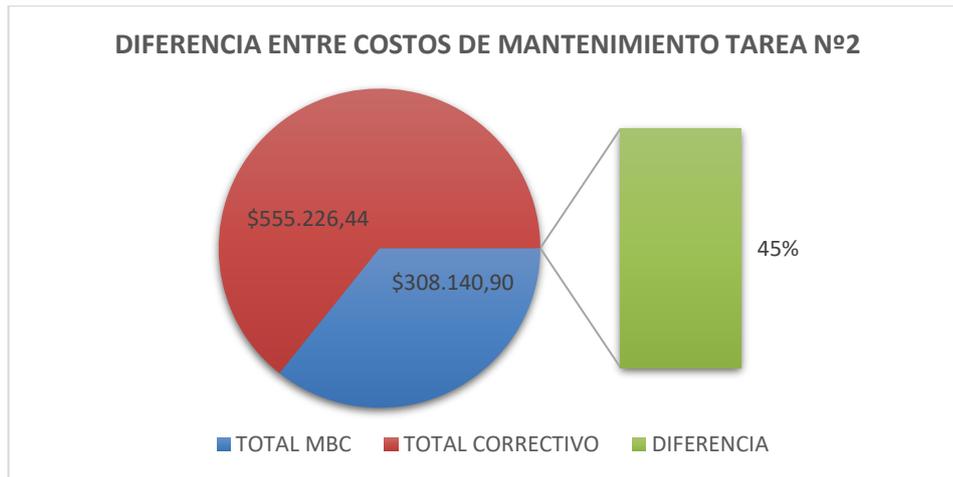


Ilustración 0-8: Diferencia entre costos de mantenimiento

Realizado por: Arévalo, Dennis, 2022.

Análisis: Al calcular la diferencia de los costos generados por la tarea N°02 del apartado anterior, se puede observar que al realizar mantenimiento basado en condición (preventivo), se puede reducir en un 45% los costos de mantenimiento, lo que se traduce como un ahorro sustancial a la organización mejorando la eficiencia de la gestión del departamento de mantenimiento.

CONCLUSIONES

Se realizó el análisis de criticidad de los equipos pertenecientes a la casa de máquinas de la central hidroeléctrica de Alao, la tabulación de los datos determinó que, de los 17 sistemas de activos, el 53% representa a los activos muy críticos, mientras que el 17% corresponde a activos críticos, lo que significa que el plan de mantenimiento fue elaborado para el 70% del total de los equipos que se encuentran operando en la casa de máquinas.

Mediante el análisis funcional de los activos críticos, el cual involucró analizar los modos de falla, efectos y consecuencias de las fallas funcionales que pueden presentarse en los activos, se logró determinar y definir las tareas y frecuencias de mantenimiento basado en la metodología del “RCM”, para cada sistema de activos, obteniendo un total de 172 tareas planificadas.

Se estableció la logística de mantenimiento como: materiales, herramientas, equipos de medición y el especialista técnico, necesarios para llevar a cabo las actividades de mantenimiento de los activos críticos de la central hidroeléctrica de Alao.

Se calculó y analizó los costos y el beneficio de las tres tareas basadas en condición frente a las tareas de mantenimiento correctivo. El resultado del análisis de las tareas preventivas planificadas demostró que los costos de mantenimiento preventivo se reducen considerablemente hasta un 45% frente a los costos de mantenimiento correctivo, de esta manera se puede justificar los beneficios de implementar la filosofía del “RCM”, para mejorar la planificación y gestión del mantenimiento en la organización.

RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar el plan de mantenimiento preventivo elaborado en este trabajo de integración curricular, con el fin de mejorar la planificación y el rendimiento de la gestión del mantenimiento de los activos críticos de la central hidroeléctrica de Alao.

Se sugiere implementar la taxonomía y estructura de codificación propuesta para la elaboración del inventario técnico de los activos críticos, para los demás sistemas de activos de la central hidroeléctrica, de manera que todos los activos se encuentren inventariados bajo el mismo estándar de codificación.

Es importante contar con un maestro de ítems y con un stock mínimo de repuestos y materiales, de tal manera que los trabajos de mantenimiento se optimicen, y así mejorar el rendimiento de la gestión del mantenimiento en la central.

Es primordial, socializar los beneficios de la filosofía “RCM” y el plan de mantenimiento preventivo elaborado, con todos los jefes de cada departamento y autoridades superiores de la central hidroeléctrica de Alao, con el fin de recibir el apoyo económico y logístico para su implementación.

BIBLIOGRAFÍA

1. **CELA, R.** *Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)*. *Journal of Chemical Information and Modeling*, vol. 53, no. 9, 2014, pp. 1689-1699.
2. **CERDA, N. et al.** *Industrias de petróleo, petroquímica y gas natural — recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento ISO 14224:2016*. *Bsi*, vol. 1999, 2016, pp. 71.
3. **GARCÍA, S.** *Ingeniería de mantenimiento*. *Madrid*, vol. 31, no. 360, 2009, pp. 87-91.
4. **HOLGUÍN, M.** *Mantenimiento*. [en línea], 2013, pp. 1-22. Disponible en: <http://univirtual.utp.edu.co/pandora/recursos/1000/1041/1041.pdf>.
5. **LATA, L. y ZAVALA, M.** *Auditoría de mantenimiento de la central hidroeléctrica Alao de la Empresa Eléctrica Riobamba S.A.*, 2009, p.10.
6. **MOUBRAY, J.** *Mantenimiento centrado en la confiabilidad*. *Industrial Press Inc.*, vol. 2, 2000, pp. 330.
7. **PINTO, A.** *Guía de los fundamentos de mantenimiento y confiabilidad*. (Asociación Colombiana de Ingenieros) [en línea], 2014, pp. 74. Disponible en: http://www.aciem.org/home/images/CDN/CGMC_ACIEM/Guia_Fundamentos.pdf.
8. **RAMIREZ, J. y MORENO, H.** *Elaboración de un análisis de criticidad y disponibilidad para la atracción X-Treme del Parque Mundo Aventura, tomando como referencia las Normas*

9. *SAE JA1011 y SAE JA1012*. 2017, pp. 24.

10. **SAE**. *Prácticas recomendadas para vehículos aeroespaciales y de superficie*. , vol. 1, 2002, pp. 1-62.



ANEXOS

ANEXO A: INVENTARIO TÉCNICO DE LOS ACTIVOS CRÍTICOS

INVENTARIO TÉCNICO													
NIVEL 3		NIVEL 4		NIVEL 5		NIVEL 6		NIVEL 7		NIVEL 8		NIVEL 9	
Instalación	Cód	Planta	Cód	Área	Cód	Máquina	Cód	Equipo	Cód	Componente	Cód	Elemento	Cód
EERSA	EE	CENTRAL ALAO	AL	CASA DE MÁQUINAS	CM	AUXILIARES GENERALES	AU	Banco de baterías	EBB01				
								Transformador de potencia N°1	ETR01				
								Transformador de potencia N°2	ETR02				
								Transformador de potencia N°3	ETR03				
								Transformador de potencia N°4	ETR04				
								Aire acondicionado	MAA01				
								Compresor N°1	MCP01				
								Compresor N°2	MCP02				
						Equipos de carga / elevación	MEC01						
						GRUPO DE GENERACIÓN N°1	G1	Tablero de control	ECU01				
								Generador	EGE01				
								Exitatriz	EGE05				
								Regulador de velocidad	MRG01				
								Lubricación de cojinetes	MSL01				
						GRUPO DE GENERACIÓN N°2	G2	Turbina	MTB01				
								Válvula hidráulica	MVA01				
								Tablero de control	ECU02				
								Generador	EGE02				
								Exitatriz	EGE06				
						GRUPO DE GENERACIÓN N°3		Regulador de velocidad	MRG02				
								Lubricación de cojinetes	MSL02				
								Turbina	MTB02				
								Válvula hidráulica	MVA02				
								Tablero de control	ECU03				
						GRUPO DE GENERACIÓN N°4		Generador	EGE03				
								Exitatriz	EGE07				
								Regulador de velocidad	MRG03				
								Lubricación de cojinetes	MSL03				
								Turbina	MTB03				
						GRUPO DE GENERACIÓN N°4		Válvula mecánica	MVA03				
								Tablero de control	ECU04				
								Generador	EGE04				
Exitatriz	EGE08												
Regulador de velocidad	MRG04												
GRUPO DE GENERACIÓN N°4		Lubricación de cojinetes	MSL04										
		Turbina	MTB04										
								Válvula hidráulica	MVA04				

ANEXO B: CONTEXTO OPERACIONAL DE LOS ACTIVOS CRÍTICOS

GRUPOS DE GENERACIÓN			
GRUPO DE GENERACIÓN N°1			
Activo	Tiempo funcionamiento	Aspectos de funcionamiento	Consecuencias
Transformador de potencia	24 horas, 365 días	<ul style="list-style-type: none"> • El activo de marca Brown Boveri tiene tres fases • Ubicado en el exterior del cuarto de máquinas • Recibe voltaje de 2400 voltios y lo eleva a 44000 voltios • No posee redundancia • En caso de falla no entrega fluido eléctrico a la red de transmisión • Existen varios repuestos en stock de bodega. 	<ul style="list-style-type: none"> • Lesiones al personal por explosión o incendio • Contaminación ambiental por aceite utilizado • Costos de producción • Costos de mantenimiento
Autotransformador	24 horas, 365 días	<ul style="list-style-type: none"> • Activo trifásico marca Westinghouse para el grupo uno y dos. • Dispuesto en el exterior del cuarto de máquinas • Recibe voltaje de 44000 voltios y lo eleva a 69 mega voltios • Capacidad de 6.56 MVA • No posee redundancia • En caso de falla no existen repuestos en stock de bodega 	<ul style="list-style-type: none"> • Lesiones al personal por explosión o incendio • Contaminación ambiental por aceite utilizado • Costos de producción • Costos de mantenimiento
Tablero protección/control	24 horas, 365 días	<ul style="list-style-type: none"> • Ubicado dentro de la sala de mandos • Se alimenta con corriente directa generada por el banco de baterías • Indicadores de voltaje por cada fase del generador • No posee redundancia • No existen repuestos en stock, tampoco proveedores 	<ul style="list-style-type: none"> • Lesiones al personal por cortocircuito o Electrocutación • Costos de producción • Costos de mantenimiento
Generador	24 horas, 365 días	<ul style="list-style-type: none"> • Activos trifásicos robustos de marca Brown Boveri • Situados dentro de la sala de máquinas • Genera 26000 kW a una velocidad nominal de 2400 rpm • No posee redundancia • En caso de falla de uno de los generadores, disminuye la producción de energía y produce sobreesfuerzo a los demás generadores 	<ul style="list-style-type: none"> • Lesiones al personal por electrocución • Costos de producción • Costos de mantenimiento
Excitatriz	24 horas, 365 días	<ul style="list-style-type: none"> • Activo robusto fabricado en 1954 de marca Brown Boveri • De acople directo • Voltaje y factor de potencia controlados manualmente • Funciona con un voltaje de 660 voltios, una intensidad de 4.2 amp. • No posee redundancia • En caso de falla no envía tensión al sistema y no se puede generar 	<ul style="list-style-type: none"> • Lesiones al personal por electrocución • Costos de producción • Costos de mantenimiento
Turbina	24 horas, 365 días	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo pelton, marca Teodoro Bell de eje horizontal fabricada en 1886 • Cuenta con 20 álabes de acero INOX, con una longitud de cada álabes de 170 mm y un peso de 1000 kg • Recibe una presión de ingreso de agua de 500 psi, un salto de 319 metros, con un caudal de 0.97 m³/s • No posee redundancia • En caso de falla no transforma la energía hidráulica en mecánica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costos de producción • Costos de mantenimiento
Regulador de velocidad	24 horas, 365 días	<ul style="list-style-type: none"> • Activo de marca Teodoro Bell, fabricado en 1979 • Situado dentro de la casa de máquinas de la central • Se debe alcanzar el 95% de la presión total para estabilizar y que se pueda empezar a generar • Si se produce un fallo, no genera el grupo • No posee redundancia • Para su lubricación se utiliza aceite Motorex AW68. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costos de producción • Costos de mantenimiento
Lubricación por cojinete	24 horas, 365 días	<ul style="list-style-type: none"> • Activo de marca Teodoro Bell • Situado dentro de la casa de máquinas • Utiliza aceite Motorex AW68 • La lubricación es cerrada • No posee redundancia • El nivel de aceite no debe disminuir de las tres cuartas partes del total de la mirilla 	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación ambiental por derrame de aceite utilizado • Costos de producción • Costos de mantenimiento
Válvula hidráulica	Cada mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Situado dentro de la casa de máquinas • Válvula de tipo galleta • Funciona únicamente para permitir el paso de agua hacia la turbina, no se manipula hasta el próximo mantenimiento preventivo • No posee redundancia • En caso de fallo no se puede realizar mantenimiento preventivo se debe esperar al mantenimiento mayor para solucionar el problema 	<ul style="list-style-type: none"> • Costos de producción • Costos de mantenimiento

ANEXO C: CÁLCULO DE LA CRITICIDAD DE LOS ACTIVOS FÍSICOS

ACTIVO	FRECUENCIA	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD	COSTOS DE MANTENIMIENTO	COSTO SEG. MEDIO AMB.	CONSECUENCIA	TOTAL	CRITICIDAD
Banco de baterías	2	7	4	1	8	37	74	Crítico
Transformador de potencia 1	2	10	4	2	10	52	104	Muy crítico
Transformador de potencia 2	2	10	4	2	10	52	104	Muy crítico
Transformador de potencia 3	2	10	4	2	10	52	104	Muy crítico
Transformador de potencia 4	2	10	4	2	10	52	104	Muy crítico
Aire Acondicionado	1	1	1	1	1	3	3	Prescindible
Compresor 1	2	7	3	1	8	30	60	Importante
Compresor 2	2	7	3	1	8	30	60	Importante
Equipo de carga/elevación	2	1	3	1	8	12	24	Prescindible
Tablero de control 1	3	7	4	1	5	34	102	Muy crítico
Generador 1	3	7	4	2	8	38	114	Muy crítico
Autotransformador	3	7	4	2	8	38	114	Muy crítico
Exitatriz	3	7	4	2	8	38	114	Muy crítico
Regulador de velocidad	2	7	4	1	8	37	74	Crítico
Lubricación de cojinetes	2	7	4	1	8	37	74	Crítico
Turbina	3	7	4	2	8	38	114	Muy crítico
Válvula hidráulica	1	7	3	1	8	30	30	Prescindible

ANEXO D: HOJAS DE INFORMACIÓN DE LOS ACTIVOS CRÍTICOS

HOJA DE INFORMACIÓN DEL RCM II	SISTEMA	Auxiliares Generales		SISTEMA N° CME-AU	Facilitador:	Fecha:	Hoja N°		
	SUBSISTEMA II	Banco de baterías		SUBSISTEMA N° CME-AU-EBBOI	D. Arévalo	15/03/2020	de 1		
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	CAUSA DE LA FALLA	EFFECTO DE LA FALLA	CONSECUENCIAS	PROBABILIDAD DE FALLA			
Banco de baterías									
I	Suministrar corriente directa a los cuatro tableros de control a 132 voltios, con una intensidad de 6 amperios, a una temperatura máxima de 50°C.	A	Suministrar corriente directa a los cuatro tableros de control.	1	Electrolito de baterías por debajo del nivel adecuado	Disminución del electrolito por uso normal	1. Evidencia: la batería no carga normalmente, lo que provoca su rápida descarga 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de desintegración de los componentes de la batería 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas, ocasionando pérdidas económicas de \$784.26 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para completar el electrolito al nivel adecuado cerca de 1 hora	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				2	Electrolito de baterías por debajo del nivel adecuado	Aumento de temperatura en los terminales	1. Evidencia: el electrolito empieza a hervir, es decir aumenta su temperatura, produciendo burbujas 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de exposiciones a materiales calientes 3. Riesgos a la producción: Sin efectos a la producción de energía 4. Acción correctiva: Medir el voltaje en los terminales de las baterías	SEGURIDAD	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
				3	Electrolito de baterías por debajo del nivel adecuado	Puesta en marcha sin antes dejarla enfriar	1. Evidencia: Disminuye el voltaje durante el funcionamiento. Baterías sobrecalentadas 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 1 hora ocasionando pérdidas económicas de \$ 156.85 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para enfriar las baterías después de cargarlas aprox. 1 hora	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				4	Baterías descargadas	Mal contacto de los bornes	1. Evidencia: existencia de corrosión en bornes de la batería 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Sin efectos a la producción de energía 4. Acción correctiva: Ajustar los contactos en los bornes	NO OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				5	Baterías descargadas	Placas de interconexión sulfatadas	1. Evidencia: existencia de sulfatación en las placas de interconexión 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Sin efectos a la producción de energía 4. Acción correctiva: Limpiar los bornes utilizando un limpiador de bornes anticorrosivo y un cepillo de acero	NO OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				6	Baterías descargadas	Falta de carga de baterías	1. Evidencia: Al medir el voltaje en las baterías se puede evidenciar un bajo voltaje de las baterías 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 1 hora ocasionando pérdidas económicas de \$ 156.85 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para comprobar el voltaje de las baterías aprox. 20 min	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
				7	Baterías descargadas	Sobre pasar vida útil	1. Evidencia: El sobre pasar la vida útil provocará una disminución del rendimiento de la batería, lo cual se ve reflejado en la descarga rápida de las baterías 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 3 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 470.55 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para sustituir la batería aprox 3 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				8	Electrolito con derrame constante	Exceder el límite del electrolito permitido	1. Evidencia: Señal de derrame constante de electrolito 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Derrame de productos químicos/tóxicos 3. Riesgos a la producción: Sin efectos a la producción de energía 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para disminuir el nivel del electrolito de la batería aprox. 30 min	AMBIENTALES	1 vez cada dos años
				9	Electrolito con derrame constante	Daño en la caja de la batería	1. Evidencia: Fugas, huecos o poros en la caja de la batería 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 3 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 470.55 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para sustituir la batería aprox 3 horas	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
				10	Electrolito con derrame constante	Sobre pasar vida útil	1. Evidencia: El sobre pasar la vida útil provocará una disminución del rendimiento de la batería, lo cual se ve reflejado en la descarga rápida de las baterías 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 3 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 470.55 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para sustituir la batería aprox 3 horas	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
B	Poseer una temperatura mayor a los 50°C	B	Poseer una temperatura mayor a los 50°C	1	Placas de las baterías sulfatadas	Exceso de ácido en el electrolito	1. Evidencia: existencia de sulfatación en las placas de interconexión 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Exposición a agentes contaminantes/tóxicos 3. Riesgos a la producción: Sin efectos a la producción de energía 4. Acción correctiva: Tiempo para cambiar de electrolitos aprox. 30 min	AMBIENTALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
				2	Placas de las baterías sulfatadas	Falta de mantenimiento	1. Evidencia: Se puede observar un exceso de corrosión en las placas 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Exposición a agentes contaminantes/tóxicos 3. Riesgos a la producción: Sin efectos a la producción de energía 4. Acción correctiva: Tiempo para limpieza frecuente de placas aprox 1 hora	AMBIENTALES	1 vez cada dos años
				3	Placas de las baterías sulfatadas	Mal contacto de bornes	1. Evidencia: Sulfatación en bornes de la batería 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Exposición a agentes contaminantes/tóxicos 3. Riesgos a la producción: Sin efectos a la producción de energía 4. Acción correctiva: Tiempo para ajuste de bornes de la batería aprox 1 hora	NO OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				4	Conexiones del banco de baterías sueltas	Materiales de mala calidad	1. Evidencia: Deterioro prematuro de las placas de interconexión 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 3 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 470.55 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para sustitución de placas aprox 3 horas	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
				5	Conexiones del banco de baterías sueltas	Falta de mantenimiento	1. Evidencia: Falta de mantenimiento de las placas de interconexión 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Sin efectos a la producción de energía 4. Acción correctiva: Tiempo para sustitución de placas aprox 3 horas	NO OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				6	Conexiones del banco de baterías sueltas	Mal empernado	1. Evidencia: Falta de conexión en terminales de conexión 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Sin efectos a la producción de energía 4. Acción correctiva: Tiempo para reajustar los pernos aprox. 30 minutos	NO OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				7	Corriente de carga excesiva en baterías	Tiempo de carga muy corto	1. Evidencia: reducción del volumen del electrolito 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Sin efectos a la producción de energía 4. Acción correctiva: Cargar la batería durante al menos 8 horas	NO OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				8	Corriente de carga excesiva en baterías	Puesta en marcha sin enfriar	1. Evidencia: Al medir el voltaje en las baterías se puede observar una disminución del voltaje en funcionamiento 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Sin efectos a la producción de energía 4. Acción correctiva: Tiempo para enfriar la batería por un periodo luego de cargarla aprox 1 hora	NO OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				9	Corriente de carga excesiva en baterías	Proceso de carga erróneo	1. Evidencia: Bajo nivel de voltaje 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Sin efectos a la producción de energía 4. Acción correctiva: Elaborar un adecuado procedimiento de carga	NO OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
				10	Corriente de carga excesiva en baterías	Sobre pasar vida útil	1. Evidencia: El sobre pasar la vida útil provocará una disminución del rendimiento de la batería, lo cual se ve reflejado en la descarga rápida de las baterías 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 3 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 470.55 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para sustitución de batería aprox 3 horas	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
C	No entrega energía	C	No entrega energía	1	Baterías dañadas	Mala operación	1. Evidencia: Pérdida de capacidad de la batería 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 3 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 470.55 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para sustitución de batería aprox 3 horas	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
				2	Baterías dañadas	Escaso mantenimiento	1. Evidencia: Batería deteriorada 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 3 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 470.55 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para sustitución de batería aprox 3 horas	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
				3	Baterías dañadas	Materiales de mala calidad	1. Evidencia: Deterioro prematuro de la batería 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Puede afectar a la seguridad del trabajador 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 3 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 470.55 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para sustitución de batería aprox 3 horas	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
				4	Baterías dañadas	Sobre pasar vida útil	1. Evidencia: Deterioro normal de la batería 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 3 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 470.55 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para sustitución de batería aprox 3 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años

HOJA DE INFORMACIÓN DEL RCM II		SISTEMA	Auxiliares generales		SISTEMA N° CM-AU	Facilitador:	Fecha:	Hoja N°	
		SUBSISTEMA	Transformador de potencia		SUBSISTEMA N° CM-AU-ETRO1	Auditor:	Fecha:	de	
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	CAUSA DE LA FALLA		EFECTO DE LA FALLA		CONSECUENCIAS	PROBABILIDAD DE FALLA
Transformador de potencia									
1	Transformar la tensión de 2400 a 44000 voltios	A	Ser incapaz de transformar la tensión a 44000 voltios	1	Núcleo del transformador en mal estado	Corrosión en láminas del núcleo	1. Evidencia: aumento de temperatura en el núcleo 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgos a exposición de superficies muy calientes 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximado de 8 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1254.81 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para colocar una capa de barniz en las láminas del núcleo aprox 8 horas	SEGURIDAD	1 vez cada dos años
				2	Núcleo del transformador en mal estado	Sobrecalentamiento en la superficie del núcleo	1. Evidencia: El sobrecalentamiento puede ser provocado por una pérdida de refrigerante (aceite), lo cual se puede presenciar un bajo nivel en el refrigerante 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgos de exposición a superficies muy calientes 3. Riesgos a la producción: Afecta la producción de energía 4. Acción correctiva: Revisión periódica del refrigerante de enfriamiento	SEGURIDAD	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
				3	Núcleo del transformador en mal estado	Falsos contactos	1. Evidencia: aumento de la temperatura en los puntos del núcleo del transformador 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgos de exposición a superficies muy calientes 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 8 horas 4. Acción correctiva: tiempo muerto para inspeccionar y corregir los falsos contactos aprox. 8 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1254.81	SEGURIDAD	1 vez cada dos años
				4	Relé buchholz de la cuba accionado	Defecto del propio relé	1. Evidencia: Apertura inmediata del interruptor dejando al relé accionado 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 48 horas ocasionando pérdidas económicas de \$7528.85 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazo del relé buchholz aprox. 48 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				5	Relé buchholz de la cuba accionado	Acumulación de gases	1. Evidencia: El aislante de los bobinados y aceite presenta degradación en sus propiedades provocando la generación y acumulación de burbujas de gas 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgos a exposición de agentes químicos-tóxicos 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 48 horas ocasionando pérdidas económicas de \$7528.85 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reparar el aislamiento y sustitución del aceite aprox. 48 horas	FALLAS OCULTAS	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
				6	Relé buchholz de la cuba accionado	Detector de nivel averiado	1. Evidencia: Bajo nivel de aceite en la cuba del transformador 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 36 horas ocasionando pérdidas económicas de \$5646.64 4. Acción correctiva: Sustituir el detector de nivel y reponer el nivel de aceite	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				7	Relé buchholz de la cuba accionado	Cuba perforada por corrosión	1. Evidencia: existencia de fugas de aceite y un bajo nivel de aceite en la cuba 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Puede afectar al medio ambiente por derrame de aceite 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 10 horas ocasionando pérdidas económicas de \$1568 4. Acción correctiva: Reparación de fugas mediante soldadura y reposición de aceite	AMBIENTALES	1 vez cada dos años
				8	Relé buchholz de la cuba accionado	Bajo nivel de aceite	1. Evidencia: El transformador se apaga debido al bajo nivel. Puede existir fugas de aceite y la temperatura de operación incrementa excesivamente 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Puede afectar al medio ambiente por derrame 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 3 horas ocasionando pérdidas económicas de \$470,55 4. Acción correctiva: tiempo muerto para reponer el nivel de aceite adecuado aprox. 3 horas	AMBIENTALES	1 vez cada dos años
				9	Relé buchholz de la cuba accionado	Termostato dañado	1. Evidencia: Temperatura de aceite muy alta 2. Riesgos a seguridad/ambiente: No afecta a la seguridad y al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 3 horas ocasionando pérdidas económicas de \$470,55 4. Acción correctiva: Reemplazo del termostato	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				10	Aisladores de llegada al	Rotura de aislador	1. Evidencia: Si el grupo está en funcionamiento éste se dispara imprevistamente 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de electrocución	SEGURIDAD	1 vez cada dos años

				transformador dañado		3. Riesgos a la producción: Afecta a la producción de energía en al menos 8 horas ocasionando pérdidas económicas de \$1254.81 4. Acción correctiva: Sustitución de los aisladores		
			11	Aisladores de llegada al transformador dañado	Derivación de corriente en los aisladores por exceso de suciedad	1. Evidencia: Disparo de la protección o del grupo 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de electrocución 3. Riesgos a la producción: Afecta la producción de energía en al menos 2 horas ocasionando pérdidas económicas de \$313.70 4. Acción correctiva: Limpieza periódica de aisladores	SEGURIDAD	1 vez cada dos años
			12	Aisladores de llegada al transformador dañado	Fisuras en aisladores	1. Evidencia: Disparo de la protección o del grupo 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de electrocución 3. Riesgos a la producción: Afecta a la producción de energía en al menos 8 horas ocasionando pérdidas económicas de \$1254.81 4. Acción correctiva: Sustitución de los aisladores	SEGURIDAD	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
			13	Cojinete agarrotado	operación a altas cargas con escasa lubricación	1. Evidencia: Aumento de temperatura en los cojinetes, a la vez también existe la presencia de ruidos anormales 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Incremento en los niveles de ruido y riesgos de exposición a superficies calientes 3. Riesgos a la producción: Afecta a la producción de energía en al menos 2 horas ocasionando pérdidas económicas de \$313.70 4. Acción correctiva: Cambio de aceite lubricante	SEGURIDAD	1 vez cada dos años
			14	Cojinete agarrotado	Rotura en los sellos del cojinete	1. Evidencia: bajo nivel del lubricante debido a las fugas en los sellos, provocando un aumento súbito de la temperatura en el cojinete 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgos de exposición a superficies calientes 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 120 horas ocasionando pérdidas económicas de \$18822 4. Acción correctiva: tiempo muerto para sustituir los sellos aprx.120 horas	SEGURIDAD	1 vez cada dos años
			15	Cojinete agarrotado	Contaminación del lubricante	1. Evidencia: partículas extrañas en el lubricante, produciendo un aumento en la temperatura del cojinete 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto al menos 3 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 470,55 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para verificar el filtrado y cambiar el aceite aprox. 3 horas	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
			16	Cojinete agarrotado	Lubricante insuficiente	1. Evidencia: Aumento súbito de la temperatura en el cojinete 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgos de exposición a superficies calientes 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto en al menos 1 hora ocasionando pérdidas económicas de \$ 156.85 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reponer el lubricante aprox. 1 hora	SEGURIDAD	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
			17	Aislamiento sólido deteriorado	Aumento súbito de corriente	1. Evidencia: incremento en la temperatura y corriente nominal de trabajo, generando alarmas en el sistema 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de exposición a materiales calientes y electrocución 3. Riesgos a la producción: Afecta a la calidad de la energía generada 4. Acción correctiva: Medición de los valores de corriente y voltaje periódicamente	SEGURIDAD	1 vez cada dos años
			18	Aislamiento sólido deteriorado	Altas temperaturas de operación	1. Evidencia: incremento en la temperatura nominal de trabajo generando alarmas en el sistema lo cual hace que el transformador se pare 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgos de exposición a superficies muy calientes 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto al menos 48 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 7528 4. Acción correctiva: Verificar el sistema de enfriamiento y aislamientos	SEGURIDAD	1 vez cada dos años
			19	Aislamiento sólido deteriorado	Corto circuito en bobinas	1. Evidencia: incremento en la temperatura nominal de trabajo generando alarmas en el sistema lo cual hace que el transformador se pare 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de electrocución 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto al menos 170 horas ocasionando pérdidas económicas de \$26644 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar las bobinas aprox. 170 horas	SEGURIDAD	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
			20	Aislamiento líquido deteriorado	Disminución de las propiedades dieléctricas	1. Evidencia: Presencia de descargas parciales. El autotransformador se apaga por incremento de la temperatura de operación. 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de exposición a materiales calientes 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto al menos 3 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 470,55	SEGURIDAD	1 vez cada dos años

						4. Acción correctiva: Reemplazo del aceite dieléctrico			
				21	Aislamiento líquido deteriorado	Presencia de ácidos orgánicos	1. Evidencia: Presencia de descargas parciales y aumento de gases. El autotransformador se apaga por incremento de la temperatura de operación. 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de exposición a sustancias químicas-tóxicas 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto al menos 8 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 470,55 4. Acción correctiva: Reemplazo del aceite dieléctrico	SEGURIDAD	1 vez cada dos años
				22	Aislamiento líquido deteriorado	Taponamiento del sistema de radiación de calor	1. Evidencia: Elevación de temperatura y aumento de gases y sobrepresión. 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de exposición a materiales calientes 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto al menos 8 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1254,81 4. Acción correctiva: Limpiar los lodos acumulados en el sistema de radiación de calor.	SEGURIDAD	1 vez cada dos años
				23	Aislamiento líquido deteriorado	Fugas de aceite	1. Evidencia: Derrames de aceite. El tanque presenta roturas. 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Puede afectar a la seguridad y al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto al menos 8 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1254,81 4. Acción correctiva: Reparación de las fugas de aceite mediante soldadura y reposición del aceite	AMBIENTALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
		B	Transformación menor a 44000 voltios	1	Bomba de aceite descompuesta	Falta de mantenimiento	1. Evidencia: Existe una reducción del aceite provocando un bajo intercambio de calor 2. Riesgos a seguridad/ambiente: No afecta a la seguridad y al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Puede afectar a la producción 4. Acción correctiva: Inspeccionar el estado de la bomba	NO OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				2	Bomba de aceite descompuesta	Filtración en la bomba de aceite	1. Evidencia: Existe una reducción del aceite provocando un bajo intercambio de calor 2. Riesgos a seguridad/ambiente: No afecta a la seguridad y al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Puede afectar a la producción 4. Acción correctiva: Cambio de empaques	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				3	Bomba de aceite descompuesta	Corrosión en bomba de aceite	1. Evidencia: La bomba presenta humedad. 2. Riesgos a seguridad/ambiente: No afecta a la seguridad y al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Puede afectar a la producción 4. Acción correctiva: Reparación del estado de la bomba	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
				4	Ventiladores deteriorados	Exceso de suciedad	1. Evidencia: La temperatura de operación incrementa. Los álabes presentan polvo, impurezas en su superficie. El autotransformador pierde eficiencia 2. Riesgos a seguridad/ambiente: No afecta a la seguridad y al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Puede afectar a la calidad del servicio 4. Acción correctiva: Reparación de los alabes del ventilador	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				5	Ventiladores deteriorados	Exceso de vibración	1. Evidencia: Presencia de ruidos anormales. Incremento de temperatura del motor del ventilador 2. Riesgos a seguridad/ambiente: No afecta a la seguridad y al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: No afecta a la producción 4. Acción correctiva: Alinear de manera correcta el ventilador al momento de su reemplazo	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				6	Ventiladores deteriorados	Motor eléctrico dañado	1. Evidencia: El motor eléctrico no arranca. 2. Riesgos a seguridad/ambiente: No afecta a la seguridad y al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$784,26 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el motor eléctrico aprox. 5 horas	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
				7	Resistencia de paso dañada	Contactos del ruptor desgastados/sucios	1. Evidencia: Los contactos presentan acumulación de suciedad. El fallo en la resistencia provoca pérdidas térmicas, con el transcurso del tiempo se va deteriorando y perdiendo la fuerza física 2. Riesgos a seguridad/ambiente: No afecta a la seguridad y al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$784,26 4. Acción correctiva: Reemplazo de terminales del ruptor	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				8	Resistencia de paso dañada	Sistema de accionamiento desgastado	1. Evidencia: El fallo en la resistencia provoca pérdidas térmicas, con el transcurso del tiempo se va deteriorando y perdiendo la fuerza física 2. Riesgos a seguridad/ambiente: No afecta a la seguridad y al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$784,26	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)

				4. Acción correctiva: Reacondicionamiento de los accionadores			
		9	Resistencia de paso dañada	Resistencia de mala calidad	<p>1. Evidencia: El fallo en la resistencia provoca pérdidas térmicas.</p> <p>2. Riesgos a seguridad/ambiente: No afecta a la seguridad y al medio ambiente</p> <p>3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$784.26</p> <p>4. Acción correctiva: Reemplazo de la resistencia de paso</p>	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
		13	Cambiador de tomas en mal estado	Falta de mantenimiento	<p>1. Evidencia: Una falla en el cambiador de tomas puede afectar la energía ya que regula el nivel de voltaje en el transformador. Se evidencia que los contactos están flojos e incremento su temperatura</p> <p>2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente</p> <p>3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$784.26</p> <p>4. Acción correctiva: Revisión del estado del cambiador de tomas</p>	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
		14	Cambiador de tomas en mal estado	Condensadores desgastados	<p>1. Evidencia: Una falla en el cambiador de tomas puede afectar la energía ya que regula el nivel de voltaje en el transformador</p> <p>2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad y al medio ambiente</p> <p>3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$784.27</p> <p>4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar los condensadores aprox. 5 horas</p>	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
		15	Cambiador de tomas en mal estado	Desgaste regular del resorte	<p>1. Evidencia: No se puede realizar el cambio de toma ya que el resorte presenta pérdida de su elasticidad y deformación, afectando la energía ya que regula el nivel de voltaje en el transformador.</p> <p>2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente</p> <p>3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$784.26</p> <p>4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el resorte aprox. 5 horas</p>	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
		16	Cambiador de tomas en mal estado	Motor del cambiador descompuesto	<p>1. Evidencia: El motor no arranca, por lo que el cambiador de tomas no se acciona</p> <p>2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente</p> <p>3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 10 horas ocasionando pérdidas económicas de \$1568</p> <p>4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el motor aproximadamente 10 horas</p>	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
		17	Válvula de seguridad estropeada	Émbolo trabado	<p>1. Evidencia: La válvula no se acciona</p> <p>2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de explosión</p> <p>3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente más de 2000 horas ocasionando pérdidas económicas de \$313.702,00</p> <p>4. Acción correctiva: Reemplazo de la válvula</p>	SEGURIDAD	1 vez cada dos años
		18	Válvula de seguridad estropeada	Falta de mantenimiento a la válvula	<p>1. Evidencia: los elementos de la válvula están estropeados</p> <p>2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de explosión</p> <p>3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente más de 2000 horas ocasionando pérdidas económicas de \$313.702,00</p> <p>4. Acción correctiva: Revisión del estado funcional de la válvula</p>	SEGURIDAD	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
		19	Válvula de seguridad estropeada	Empaquetaduras desgastadas y resacas	<p>1. Evidencia: Se evidencia la presencia de fugas de aceite en el asiento de la válvula</p> <p>2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de explosión</p> <p>3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente más de 2000 horas ocasionando pérdidas económicas de \$313.702,00</p> <p>4. Acción correctiva: Reemplazo de empaquetaduras</p>	SEGURIDAD	1 vez cada dos años
		20	Bushing dañado	Exceso de impurezas	<p>1. Evidencia: El autotransformador pierde eficiencia. Presencia de descargas parciales</p> <p>2. Riesgos a seguridad/ambiente: No afecta a la seguridad y al medio ambiente</p> <p>3. Riesgos a la producción: Puede afectar a la producción</p> <p>4. Acción correctiva: Limpieza del bushing</p>	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
		21	Bushing dañado	Grietas en bushings	<p>1. Evidencia: El autotransformador pierde eficiencia. Presencia de descargas parciales</p> <p>2. Riesgos a seguridad/ambiente: No afecta a la seguridad y al medio ambiente</p> <p>3. Riesgos a la producción: Puede afectar a la producción</p> <p>4. Acción correctiva: Reemplazo del bushing</p>	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
		22	Bushing dañado	Conexiones flojas	<p>1. Evidencia: El autotransformador pierde eficiencia. Presencia de descargas parciales</p> <p>2. Riesgos a seguridad/ambiente: No afecta a la seguridad y al medio ambiente</p> <p>3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto al menos 3 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 470,55</p> <p>4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reajustar los terminales aprox. 3 horas</p>	OPERACIONALES	1 vez cada dos años

					23	Tanque de expansión defectuoso	Fuga de aceite	1. Evidencia: Se evidencia derrames de aceite bajo el tanque de expansión o en sus esquinas o bordes 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgos de caídas al mismo nivel por derrame de aceite 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$784.26 4. Acción correctiva: Reparación de fugas mediante soldadura	SEGURIDAD	1 vez cada dos años
					24	Tanque de expansión defectuoso	Corrosión en el tanque de expansión	1. Evidencia: El tanque presenta porosidades. Se evidencia derrames de aceite bajo el tanque de expansión o en sus esquinas o bordes. 2. Riesgos a seguridad/ambiente: No afecta a la seguridad y al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Puede afectar a la calidad del servicio 4. Acción correctiva: Reparación (repintado) del tanque	NO OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)

HOJA DE INFORMACIÓN DEL RCM IV		SISTEMA		SISTEMA N°		Facilitador:		Fecha:		Hoja N°	
		Grupo de generación		CM-GH		D. Arévalo		15/03/2020		1	
		Tablero de control		SUBSISTEMA N°		Auditor:		15/04/2020		de	
		CM-GI-EUCUI		C. Callegos						1	
FUNCIÓN			FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	CAUSA DE LA FALLA	EFECTO DE LA FALLA			CONSECUENCIAS	PROBABILIDAD DE FALLA	
Tablero de control											
1	Mostrar los parámetros de voltaje, intensidad, potencia de los grupos de generación	A	No mostrar ningún parámetro de los grupos de generación	1	Indicador estropeado	elementos frágiles	1. Evidencia: No se visualiza los parámetros de medición. La aguja del indicador está suelta/rota 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Puede afectar a la calidad del servicio 4. Acción correctiva: Reemplazo de la aguja del indicador	NO OPERACIONALES	1 vez cada dos años		
				2	Indicador estropeado	Manipulaciones incorrectas	1. Evidencia: No se visualiza los parámetros de medición 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Puede afectar a la calidad del servicio 4. Acción correctiva: Reemplazar el indicador	NO OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)		
				3	Indicador estropeado	Cableado de alimentación defectuoso	1. Evidencia: Intermiencia en la aguja del indicador 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 8 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1254 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el cableado defectuoso aprox. 8 horas	SEGURIDAD	1 vez cada dos años		
				4	Perillas de accionamiento rotas	Mala manipulación	1. Evidencia: El grupo generador no enciende así como los indicadores 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Puede afectar a la calidad del servicio 4. Acción correctiva: Reemplazar las perillas de accionamiento	NO OPERACIONALES	1 vez cada dos años		
				5	Perillas de accionamiento rotas	Término de vida útil	1. Evidencia: Perillas en mal estado 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Puede afectar a la calidad del servicio 4. Acción correctiva: Reemplazar las perillas de accionamiento	NO OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)		
				6	Perillas de accionamiento rotas	Controlador dañado	1. Evidencia: El grupo generador no enciende así como los indicadores 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 24 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 3764 4. Acción correctiva: Reemplazar el controlador	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)		
2	Proteger al sistema eléctrico de corto circuitos y bajas de tensión	A	No protege al sistema eléctrico de los grupos de generación	1	Conductores sobrecargados	Calibre del conductor mal seleccionado	1. Evidencia: Aumento de la temperatura del conductor 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de electrocución 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 8 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1254 4. Acción correctiva: Reemplazar los conductores por el calibre correcto	SEGURIDAD	1 vez cada dos años		
				2	Conductores sobrecargados	Conductores sin aislamiento entre sala de mando y generador	1. Evidencia: Aumento de la temperatura de los conductores 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de electrocución 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 8 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1254 4. Acción correctiva: Reemplazar los conductores por conductores con aislamiento	SEGURIDAD	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)		
				3	Conductores sobrecargados	Exceso de voltaje de ingreso	1. Evidencia: Disparo de fusibles o térmicos 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de electrocución 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 8 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1254 4. Acción correctiva: Disminuir la corriente de carga	SEGURIDAD	1 vez cada dos años		
				4	Breaker quemado	Sobrecalentamiento, terminales con signos de alta temperatura	1. Evidencia: El tablero de control no enciende 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de electrocución 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 3 horas ocasionando pérdidas económicas de \$470,55 4. Acción correctiva: Reemplazo del breaker	SEGURIDAD	1 vez cada dos años		
				5	Breaker quemado	breaker mal dimensionado	1. Evidencia: Disparo de fusibles o térmicos 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Afecta a la calidad del servicio 4. Acción correctiva: Reemplazo del breaker con la dimensión adecuada	NO OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)		
				6	Breaker quemado	Pérdida de aislamiento en bornera de distribución DC	1. Evidencia: Aumento de temperatura en la bornera 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de electrocución 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 3 horas ocasionando pérdidas económicas de \$470,55 4. Acción correctiva: Reemplazo de la bornera	SEGURIDAD	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)		
				7	Breaker defectuoso	Falla de energía, breaker de AC accionado	1. Evidencia: Disparo de fusibles o térmicos 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Afecta a la calidad del servicio 4. Acción correctiva: Accionar manualmente el breaker una vez que regrese la energía	FALLAS OCULTAS	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)		
				8	Breaker defectuoso	Elementos del breaker deteriorados	1. Evidencia: Disparo de fusibles o térmicos 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 3 horas ocasionando pérdidas económicas de \$470,55 4. Acción correctiva: Reemplazar el breaker	FALLAS OCULTAS	1 vez cada dos años		
				9	Breaker defectuoso	Material de mala calidad	1. Evidencia: Disparo de fusibles o térmicos 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 3 horas ocasionando pérdidas económicas de \$470,55 4. Acción correctiva: Reemplazar el breaker por uno de buena calidad	FALLAS OCULTAS	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)		

HOJA DE INFORMACIÓN DEL RCM II	SISTEMA	Grupo de generación		SISTEMA N° CM-G1	Facilitador:	Fecha:	15/03/2020	Hoja N° 1	
	SUBSISTEMA	Generador		SUBSISTEMA N° CM-G1-EGE01	Auditor:	Fecha:	15/04/2020	de 1	
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	CAUSA DE LA FALLA	EFFECTO DE LA FALLA	CONSECUENCIAS	PROBABILIDAD DE FALLA		
Generador									
1	Generar energía eléctrica de 26000 kw a una velocidad nominal de 2400 rpm	A	No genera energía de 26000 kw	1	Vibración excesiva en cojinetes	Eje desalineado	1. Evidencia: Temperaturas elevadas en las cercanías de los cojinetes. El generador se apaga y suena la alarma. 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$784.26 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para alinear el eje del cojinete	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				2	Vibración excesiva en cojinetes	Desajuste en cojinetes	1. Evidencia: El generador se apaga y suena la alarma. Presencia de ruidos en los cojinetes 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$784.27 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para ajustar los cojinetes aprox. 5 horas	OPERACIONALES	1 vez cada año
				3	Vibración excesiva en cojinetes	Cojinetes desgastados	1. Evidencia: Temperaturas elevadas en las cercanías de los cojinetes. Desplazamiento de material y fusiones sobre la superficie. 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de exposición a materiales muy calientes 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 72 horas ocasionando pérdidas económicas de \$11 293 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar los cojinetes aprox. 72 horas	SEGURIDAD	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
				4	Varistor quemado	Cortocircuito en el varistor	1. Evidencia: El generador se detiene y suena la alarma 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 8 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1254 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el varistor aprox. 8 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				5	Varistor quemado	Varistor mal dimensionado	1. Evidencia: El generador se detiene y suena la alarma 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 8 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1254 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el varistor aprox. 8 horas	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
				6	Bobinas del estator quemadas	Pérdida de aislamiento en bobina	1. Evidencia: El generador incrementa su temperatura, pérdida de unión en conductores 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de electrocución, exposición a materiales muy calientes 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 120 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 18822 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el aislamiento aprox. 120 horas	SEGURIDAD	1 vez cada dos años
				7	Bobinas del estator quemadas	Alta temperatura de trabajo por acumulación de suciedad en las bobinas	1. Evidencia: El devanado incrementa su temperatura nominal de trabajo 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de electrocución, exposición a materiales muy calientes 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 120 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 18823 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para limpiar las bobinas y mejorar el flujo de aire aprox. 120 horas	SEGURIDAD	1 vez cada año
				8	Bobinas del estator quemadas	Operación con sobrecarga	1. Evidencia: Disparo del guardamotor, el generador se detiene 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de electrocución, exposición a materiales muy calientes 3. Riesgos a la producción: Afecta a la calidad del servicio 4. Acción correctiva: Inspeccionar visualmente las medidas de intensidad de carga	SEGURIDAD	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
				9	Pérdida total de sincronismo entre el generador y la red	relé de sincronismo descalibrado	1. Evidencia: El generador se detiene y suena la alarma al no alcanzar las revoluciones nominales 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$784.26 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar los conductores aprox. 5 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				10	Pérdida total de sincronismo entre el generador y la red	Pérdida de excitación	1. Evidencia: El generador se detiene y los devanados se sobrecalientan por excesiva corriente capacitiva 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$784.26 4. Acción correctiva: Realizar una inspección general del circuito de excitación	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				11	Pérdida total de sincronismo entre el generador y la red	Alta impedancia	1. Evidencia: Produce un gran deslizamiento y por lo tanto bajas potencias de salida. El relé de impedancia se dispara 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 2 horas ocasionando pérdidas económicas de \$313.70 4. Acción correctiva: Verificar el funcionamiento del relé de impedancia	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
				12					1. Evidencia: El generador se detiene y suena la alarma

		Falla del rotor a tierra	Relés diferenciales de sobrecorriente y de falla a tierra descalibrados	2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$784.26 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar los conductores aprox. 5 horas	OPERACIONALES		
	13	Falla del rotor a tierra	Contaminación por polvo, cenizas volantes, polvo de carbón	1. Evidencia: Desbalance del campo magnético en el circuito de campo ocasionando altas vibraciones. El rotor presenta una capa oscura sobre su superficie debido a las cenizas o el polvo 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 120 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 18822 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para limpiar la suciedad acumulada aprox. 8 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años	
	14	Falla del rotor a tierra	Condensación de aceite proveniente de los cojinetes y entrada de humedad	1. Evidencia: Desbalance del campo magnético en el circuito de campo ocasionando altas vibraciones. El rotor presenta una capa oscura sobre su superficie debido a las cenizas o el polvo 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Afecta a la calidad del servicio 4. Acción correctiva: Inspeccionar el estado de ventilación para evitar la entrada de humedad	NO OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)	
	15	Falla del rotor a tierra	Ingreso de sustancias químicas	1. Evidencia: Baja resistencia de aislamiento 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Afecta a la calidad del servicio 4. Acción correctiva: Inspección de la resistencia de puesta a tierra	NO OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)	
	16	Cortocircuito entre fases del estator	Aislamiento entre fases deteriorado	1. Evidencia: El generador se detiene. El material aislante presenta una capa oscura en su superficie(chamuscado) o puede estar perforado 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de electrocución 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 120 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 18822 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el bobinado del estator aprox 120 horas	SEGURIDAD	1 vez cada dos años	
	17	Cortocircuito entre fases del estator	Rotura de conductores	1. Evidencia: El generador se detiene. Los conductores se encuentran partidos, pelados. 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de electrocución 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 120 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 18822 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el bobinado del estator aprox 120 horas	SEGURIDAD	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)	
	18	Cortocircuito entre espiras del devanado de campo en el rotor	Aislamiento entre espiras deteriorado	1. Evidencia: El generador se detiene. Aumento de temperatura. Los conductores se encuentran partidos, pelados. 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Afecta a la seguridad de los operadores 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 120 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 18822 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el devanado de campo aprox 120 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años	
	19	Cortocircuito entre espiras del devanado de campo en el rotor	Contaminación del rotor	1. Evidencia: El rotor presenta humedad, acumulación de impurezas. La temperatura aumenta considerablemente 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de exposición a materiales muy calientes 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 8 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1254 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para eliminar los agentes contaminantes aprox 8 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años	
	20	Pérdida de la corriente de excitación en el rotor	Cortocircuito del devanado de campo	1. Evidencia: El generador se detiene. El devanado de campo se sobrecalienta por corrientes capacitivas. El rotor se sobrecalienta 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de electrocución 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 120 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 18822 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el devanado de campo aprox 120 horas	SEGURIDAD	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)	
	21	Pérdida de la corriente de excitación en el rotor	Escobillas desgastadas	1. Evidencia: El generador se detiene y suena la alarma ya que el devanado de campo se desconecta. Se puede observar que las escobillas están muy cortas 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 3 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 470,55 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar las escobillas aprox. 3 horas	OPERACIONALES	1 vez cada año	
B	El generador produce energía eléctrica, por debajo de su potencia nominal 26000 kw	1	Desgaste del aislamiento del bobinado del estator	Operación a temperaturas relativamente altas	1. Evidencia: El aislamiento puede encontrarse quebradizo o inflado 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de electrocución 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 120 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 18822 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el aislamiento aprox. 120 horas	SEGURIDAD	1 vez cada dos años
		2	Desgaste del aislamiento del bobinado del estator	Mala calidad del material aislante	1. Evidencia: El aislamiento puede encontrarse quebradizo o inflado 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de electrocución 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 120 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 18822 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el aislamiento aprox. 120 horas	SEGURIDAD	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
		3	Desgaste del aislamiento del bobinado del estator	Suciedad en las bobinas	1. Evidencia: Aumento de temperatura por bloqueo de los conductos de ventilación, presencia de polvo u otros contaminantes en las bobinas 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de exposición a materiales muy calientes 3. Riesgos a la producción: No existe consecuencias a la producción 4. Acción correctiva: Limpiar e inspeccionar periódicamente las bobinas e intercambiadores de calor	NO OPERACIONALES	1 vez cada dos años

4	Disminución de la corriente de excitación en el rotor	Presión de escobillas débiles	1. Evidencia: Operación asincrónica por lo que la eficiencia del generador se reduce. El desgaste en las escobillas aumenta por la presencia de arcos eléctricos (chispazos) 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 3 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 470,55 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reajustar la presión de las escobillas aprox. 3 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
5	Disminución de la corriente de excitación en el rotor	Desalineación de escobillas	1. Evidencia: La corriente de excitación se reduce provocando que el generador no opere eficientemente. El desgaste en las escobillas y ranuras del colector aumenta. 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 3 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 470,55 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para alinear las escobillas del generadora aprox. 3 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
6	Obstrucción de agua en el tanque y tuberías	Acumulación de residuos y cuerpos extraños en las tuberías	1. Evidencia: Reducción del volumen de agua en el tanque y tuberías. Reducción de la presión 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 784,26 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para limpiar con agua a presión los tanques y tuberías aprox. 5 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
7	Obstrucción de agua en el tanque y tuberías	Filtros taponados	1. Evidencia: Reducción del volumen de agua en el tanque y tuberías. Reducción de la presión 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 3 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 470,55 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar los filtros aprox. 3 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
8	Obstrucción de agua en el tanque y tuberías	Acumulación de residuos en el tanque	1. Evidencia: El generador tiende a sobrecalentarse 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 784,26 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para limpiar con agua a presión los tanques y tuberías aprox. 5 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
9	Deflectores funcionando incorrectamente	Deflectores mal posicionados	1. Evidencia: La potencia medida es menor a la nominal. La velocidad de ingreso del líquido no es la correcta 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 784,26 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para calibrar la posición de los deflectores aprox. 5 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
10	Deflectores funcionando incorrectamente	Deflectores parcialmente rotos	1. Evidencia: La potencia medida es menor a la nominal. La velocidad de ingreso del líquido no es la correcta 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 48 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 7528,85 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para la reparación de los deflectores aprox. 48 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
11	Eje del generador desalineado	Bases débiles	1. Evidencia: Niveles altos de vibraciones y ruidos 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Puede afectar a la producción 4. Acción correctiva: Ajustar las bases del generador	NO OPERACIONALES	1 vez cada dos años
12	Eje del generador desalineado	Mal montaje	1. Evidencia: La potencia medida es menor a la nominal. La velocidad de ingreso del líquido no es la correcta 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Puede afectar a la producción 4. Acción correctiva: Alinear el eje del generador con la turbina	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
13	Eje del generador desalineado	Dilataciones térmicas durante el funcionamiento	1. Evidencia: La temperatura en el acoplamiento aumenta excesivamente. 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de exposición a materiales muy calientes 3. Riesgos a la producción: Puede afectar a la producción 4. Acción correctiva: Controlar la temperatura de funcionamiento	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
14	Eje del generador desalineado	Solturas en fijaciones	1. Evidencia: Niveles altos de vibraciones y ruidos 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Puede afectar a la producción 4. Acción correctiva: Ajustar las fijaciones	NO OPERACIONALES	1 vez cada dos años
15	Rotor desbalanceado	Errores en el diseño y montaje	1. Evidencia: La potencia medida es menor a la nominal. El generador disminuye su eficiencia de trabajo 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Puede afectar a la producción 4. Acción correctiva: Verificar las tolerancias de maquinado para el correcto montaje	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
16	Rotor desbalanceado	Desgaste irregular	1. Evidencia: Presencia de vibraciones. El generador disminuye su eficiencia de trabajo 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Puede afectar a la producción 4. Acción correctiva: Inspeccionar el estado del rotor	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
17	Rotor desbalanceado	Acumulación de depósitos de material durante su operación	1. Evidencia: Presencia de residuos sobre la superficie del rotor. Presencia de vibraciones. El generador disminuye su eficiencia de trabajo 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto al menos 48 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 7528 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para limpiar los residuos acumulados sobre la superficie aprox. 48 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años

			18	Rotor desbalanceado	Dilataciones térmicas durante el funcionamiento	1. Evidencia: La temperatura de funcionamiento aumenta. Presencia de vibraciones. El generador disminuye su eficiencia de trabajo 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Puede afectar a la producción	NO OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
--	--	--	----	---------------------	---	--	------------------	---

HOJA DE INFORMACIÓN DEL RCM II	SISTEMA	Auxiliares generales	SISTEMA N° CM-G1	Facilitador:	D. Arévalo	Fecha:	15/03/2020	Hoja N° 1
	SUBSISTEMA	Autotransformador	SUBSISTEMA N° CM-G1-EAT01	Auditor:	C. Gallegos	Fecha:	15/04/2020	de 1

FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	CAUSA DE LA FALLA	EFFECTO DE LA FALLA	CONSECUENCIAS	PROBABILIDAD DE FALLA
---------	-----------------	---------------	-------------------	---------------------	---------------	-----------------------

Autotransformador									
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	CAUSA DE LA FALLA	EFFECTO DE LA FALLA	CONSECUENCIAS	PROBABILIDAD DE FALLA			
1	Elevar el voltaje de 44000 voltios a 69 megavoltios	A	Ser incapaz de elevar el voltaje de 44000 voltios a 69 megavoltios	1	Núcleo del transformador en mal estado	Corrosión en láminas del núcleo	1. Evidencia: aumento de temperatura en el núcleo 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgos a exposición de superficies muy calientes 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximado de 8 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1254.81 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para colocar una capa de barniz en las láminas del núcleo aprox 8 horas	SEGURIDAD	1 vez cada dos años
				2	Núcleo del transformador en mal estado	Sobrecalentamiento en la superficie del núcleo	1. Evidencia: El sobrecalentamiento puede ser provocado por una pérdida de refrigerante (aceite), lo cual se puede presenciar un bajo nivel en el refrigerante 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgos de exposición a superficies muy calientes 3. Riesgos a la producción: Afecta la producción de energía 4. Acción correctiva: Revisión periódica del refrigerante de enfriamiento	SEGURIDAD	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
				3	Núcleo del transformador en mal estado	Falsos contactos	1. Evidencia: aumento de la temperatura en los puntos del núcleo del transformador 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgos de exposición a superficies muy calientes 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 8 horas 4. Acción correctiva: tiempo muerto para inspeccionar y corregir los falsos contactos aprox. 8 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1254.81	SEGURIDAD	1 vez cada dos años
				4	Cortocircuito entre espiras del devanado	Sobrecarga de trabajo	1. Evidencia: Aumento de temperatura en el autotransformador. El autotransformador se apaga, el devanado presenta en su superficie una capa negra (chamuscado) 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de electrocución 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 120 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 18822 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el devanado aprox. 120 horas	SEGURIDAD	1 vez cada dos años
				5	Cortocircuito entre espiras del devanado	Aceite dieléctrico deteriorado	1. Evidencia: Aumento de temperatura en el autotransformador. Presencia de descargas parciales, gases disueltos y burbujas 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de exposición a gases tóxicos 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 8 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1254.81 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el aceite dieléctrico 8 horas	SEGURIDAD	1 vez cada dos años
				6	Cortocircuito entre espiras del devanado	Rotura de espiras	1. Evidencia: Aumento de temperatura en el autotransformador. Las espiras se encontrarán sueltas 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de electrocución 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 120 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 18822 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el devanado aprox. 120 horas	SEGURIDAD	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
				7	Relé buchholz de la cuba accionado	Defecto del propio relé	1. Evidencia: Apertura inmediata del interruptor dejando al relé accionado 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 48 horas ocasionando pérdidas económicas de \$7528.85 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazo del relé buchholz aprox. 48 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				8	Relé buchholz de la cuba accionado	Acumulación de gases	1. Evidencia: El aislante de los bobinados y aceite presenta degradación en sus propiedades provocando la generación y acumulación de burbujas de gas 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgos a exposición de agentes químicos-tóxicos 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 48 horas ocasionando pérdidas económicas de \$7528.85 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reparar el aislamiento y sustitución del aceite aprox. 48 horas	FALLAS OCULTAS	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
				9				1. Evidencia: Bajo nivel de aceite en la cuba del transformador	OPERACIONALES

				22	Aislamiento líquido deteriorado	Taponamiento del sistema de radiación de calor	1. Evidencia: Elevación de temperatura y aumento de gases y sobrepresión. 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de exposición a materiales calientes 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto al menos 8 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1254.81 4. Acción correctiva: Limpiar los lodos acumulados en el sistema de radiación de calor.	SEGURIDAD	1 vez cada dos años
				23	Aislamiento líquido deteriorado	Fugas de aceite	1. Evidencia: Derrames de aceite. El tanque presenta roturas. 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Puede afectar a la seguridad y al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto al menos 8 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1254.81 4. Acción correctiva: Reparación de las fugas de aceite mediante soldadura y reposición del aceite	AMBIENTALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
		B	Transformación menor a 69 megavoltios	1	Láminas de acero del núcleo en mal estado	Oxidación en láminas	1. Evidencia: La temperatura de operación incrementa. Las láminas presentan óxido en su superficie. El autotransformador pierde eficiencia 2. Riesgos a seguridad/ambiente: No afecta a la seguridad y al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Puede afectar a la producción 4. Acción correctiva: Limpiar el óxido de las láminas	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
				2	Láminas de acero del núcleo en mal estado	Mal mantenimiento	1. Evidencia: Derrames de aceite 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto al menos 8 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1254.81 4. Acción correctiva: Reparación de las fugas de aceite mediante soldadura y reposición del aceite	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
				3	Láminas de acero del núcleo en mal estado	Aceite dieléctrico en mal estado	1. Evidencia: Aumento de temperatura en el autotransformador. Presencia de descargas parciales, gases disueltos y burbujas 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de exposición a gases tóxicos 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 8 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1254.81 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el aceite dieléctrico 8 horas	SEGURIDAD	1 vez cada dos años
				4	Bomba de aceite descompuesta	Falta de mantenimiento	1. Evidencia: Existe una reducción del aceite provocando un bajo intercambio de calor 2. Riesgos a seguridad/ambiente: No afecta a la seguridad y al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Puede afectar a la producción 4. Acción correctiva: Inspeccionar el estado de la bomba	NO OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				5	Bomba de aceite descompuesta	Filtración en la bomba de aceite	1. Evidencia: Existe una reducción del aceite provocando un bajo intercambio de calor 2. Riesgos a seguridad/ambiente: No afecta a la seguridad y al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Puede afectar a la producción 4. Acción correctiva: Cambio de empaques	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				6	Bomba de aceite descompuesta	Corrosión en bomba de aceite	1. Evidencia: La bomba presenta humedad. 2. Riesgos a seguridad/ambiente: No afecta a la seguridad y al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Puede afectar a la producción 4. Acción correctiva: Reparación del estado de la bomba	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
				7	Ventiladores deteriorados	Exceso de suciedad	1. Evidencia: La temperatura de operación incrementa. Los álabes presentan polvo, impurezas en su superficie. El autotransformador pierde eficiencia 2. Riesgos a seguridad/ambiente: No afecta a la seguridad y al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Puede afectar a la calidad del servicio 4. Acción correctiva: Reparación de los álabes del ventilador	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				8	Ventiladores deteriorados	Exceso de vibración	1. Evidencia: Presencia de ruidos anormales. Incremento de temperatura del motor del ventilador 2. Riesgos a seguridad/ambiente: No afecta a la seguridad y al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: No afecta a la producción 4. Acción correctiva: Alinear de manera correcta el ventilador al momento de su reemplazo	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				9	Ventiladores deteriorados	Motor eléctrico dañado	1. Evidencia: El motor eléctrico no arranca. 2. Riesgos a seguridad/ambiente: No afecta a la seguridad y al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$784.26 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el motor eléctrico aprox. 5 horas	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
				10	Cambiador de tomas en mal estado	Falta de mantenimiento	1. Evidencia: Una falla en el cambiador de tomas puede afectar la energía ya que regula el nivel de voltaje en el transformador. Se evidencia que los contactos están flojos e incremento su temperatura 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$784.26 4. Acción correctiva: Revisión del estado del cambiador de tomas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				11	Cambiador de tomas en mal estado	Condensadores desgastados	1. Evidencia: Una falla en el cambiador de tomas puede afectar la energía ya que regula el nivel de voltaje en el transformador 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad y al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$784.27 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar los condensadores aprox. 5 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				12	Cambiador de tomas en mal estado	Desgaste regular del resorte	1. Evidencia: No se puede realizar el cambio de toma ya que el resorte presenta pérdida de su elasticidad y deformación, afectando la energía ya que regula el nivel de voltaje en el transformador. 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)

						3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$784.26 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el resorte aprox. 5 horas		
			13	Cambiador de tomas en mal estado	Motor del cambiador descompuesto	1. Evidencia: El motor no arranca, por lo que el cambiador de tomas no se acciona 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 10 horas ocasionando pérdidas económicas de \$1568 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el motor aproximadamente 10 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
			14	Bushing dañado	Exceso de impurezas	1. Evidencia: El autotransformador pierde eficiencia. Presencia de descargas parciales 2. Riesgos a seguridad/ambiente: No afecta a la seguridad y al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Puede afectar a la producción 4. Acción correctiva: Limpieza del bushing	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
			15	Bushing dañado	Grietas en bushings	1. Evidencia: El autotransformador pierde eficiencia. Presencia de descargas parciales 2. Riesgos a seguridad/ambiente: No afecta a la seguridad y al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Puede afectar a la producción 4. Acción correctiva: Reemplazo del bushing	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
			16	Bushing dañado	Conexiones flojas	1. Evidencia: El autotransformador pierde eficiencia. Presencia de descargas parciales 2. Riesgos a seguridad/ambiente: No afecta a la seguridad y al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto al menos 3 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 470,55 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reajustar los terminales aprox. 3 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años

HOJA DE INFORMACIÓN DEL RCM II		SISTEMA	Grupo de generación		SISTEMA N°	Facilitador:	Fecha:	Hoja N°	
		SUBSISTEMA	Excitatriz		CM-G1	D. Arévalo	15/03/2020	1	
					SUBSISTEMA N°	Auditor:	Fecha:	de	
					CM-G1-EGE05	C. Gallegos	15/04/2020	1	
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	CAUSA DE LA FALLA	EFECTO DE LA FALLA		CONSECUENCIAS	PROBABILIDAD DE FALLA	
Excitatriz									
1	Alimentar de corriente continua el rotor del generador con una corriente de 4.2 amperios de intensidad	A	Incapaz de alimentar de corriente continua el rotor del generador con una corriente de 4.2 amperios de intensidad	1	Bobinas del estator quemadas	Pérdida de aislamiento en bobina	1. Evidencia: El generador incrementa su temperatura, pérdida de unión en conductores 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de electrocución, exposición a materiales muy calientes 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 120 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 18822 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el aislamiento aprox. 120 horas	SEGURIDAD	1 vez cada dos años
				2	Bobinas del estator quemadas	Alta temperatura de trabajo por acumulación de suciedad en las bobinas	1. Evidencia: El devanado incrementa su temperatura nominal de trabajo 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de electrocución, exposición a materiales muy calientes 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 120 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 18823 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para limpiar las bobinas y mejorar el flujo de aire aprox. 120 horas	SEGURIDAD	1 vez cada año
				3	Bobinas del estator quemadas	Operación con sobrecarga	1. Evidencia: Disparo del guardamotor, el generador se detiene 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de electrocución, exposición a materiales muy calientes 3. Riesgos a la producción: Afecta a la calidad del servicio 4. Acción correctiva: Inspeccionar visualmente las medidas de intensidad de carga	SEGURIDAD	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
				4	Cortocircuito del devanado de campo	Aislamiento roto	1. Evidencia: La excitatriz se detiene. El devanado de campo presenta una capa oscura en su superficie (chamuscado). El aislamiento se encuentra quebradizo 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de electrocución 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 120 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 18822 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar las bobinas/aislamiento aprox. 120 horas	SEGURIDAD	1 vez cada dos años
				5	Cortocircuito del devanado de campo	Sobrecarga de corriente	1. Evidencia: El devanado de campo incrementa su corriente de excitación nominal. La temperatura de operación aumenta 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de electrocución 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 120 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 18822 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el devanado aprox. 120 horas	SEGURIDAD	1 vez cada dos años
				6	Cortocircuito del devanado de campo	Rotura de espiras	1. Evidencia: Aumento de temperatura en el autotransformador. Las espiras se encontrarán sueltas 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de electrocución 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 120 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 18822 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el devanado aprox. 120 horas	SEGURIDAD	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)

					3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 120 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 18822 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el bobinado del estator aprox 120 horas		
		21	Cortocircuito entre espiras del estator	Rotura de conductores	1. Evidencia: El generador se detiene. Los conductores se encuentran partidos, pelados. 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de electrocución 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 120 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 18822 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el bobinado del estator aprox 120 horas	SEGURIDAD	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
B	Alimenta de corriente continua al rotor del generador a menos de una corriente de 4.2 amperios de intensidad	1	Desgaste del aislamiento del bobinado del estator	Operación a temperaturas relativamente altas	1. Evidencia: El aislamiento puede encontrarse quebradizo o inflado 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de electrocución 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 120 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 18822 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el aislamiento aprox. 120 horas	SEGURIDAD	1 vez cada dos años
		2	Desgaste del aislamiento del bobinado del estator	Mala calidad del material aislante	1. Evidencia: El aislamiento puede encontrarse quebradizo o inflado 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de electrocución 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 120 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 18822 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el aislamiento aprox. 120 horas	SEGURIDAD	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
		3	Desgaste del aislamiento del bobinado del estator	Suciedad en las bobinas	1. Evidencia: Aumento de temperatura por bloqueo de los conductos de ventilación, presencia de polvo u otros contaminantes en las bobinas 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de exposición a materiales muy calientes 3. Riesgos a la producción: No existe consecuencias a la producción 4. Acción correctiva: Limpiar e inspeccionar periódicamente las bobinas e intercambiadores de calor	NO OPERACIONALES	1 vez cada dos años
		4	Desgaste en las escobillas	Aumento en la corriente de excitación	1. Evidencia: Presencia de arcos eléctricos (chispazos) lo cual reduce considerablemente la longitud de las escobillas. Presencia de capas de carbón sobre los portaescobillas y conductores 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 784,26 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar las escobillas aprox. 5 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
		5	Desgaste en las escobillas	Conductores flojos	1. Evidencia: El paso de corriente no es el óptimo por lo que la corriente de excitación se reduce 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 2 horas ocasionando pérdidas económicas de \$313,70 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para ajustar los conductores del sistema aprox. 2 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
		6	Tensión de alimentación baja	Falta de mantenimiento	1. Evidencia: La salida de tensión no es la adecuada para alimentar la excitatriz 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Afecta la producción de energía 4. Acción correctiva: Reemplazar el transformador de excitación	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
		7	Tensión de alimentación baja	Malas conexiones eléctricas	1. Evidencia: El paso de corriente no es el óptimo por lo que la corriente de excitación se reduce 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Afecta a la calidad del servicio 4. Acción correctiva: Reconectar las conexiones eléctricas correctamente	NO OPERACIONALES	1 vez cada dos años
		8	Tensión de alimentación baja	Variación de corriente en el rectificador trifásico	1. Evidencia: La salida de corriente no es la adecuada, por lo que la corriente de excitación se reduce. 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Puede afectar a la producción intermitentemente 4. Acción correctiva: Revisar la conexión de los tiristores del puente rectificador trifásico	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
		9	Tensión de alimentación baja	Deterioro normal del transformador	1. Evidencia: La salida de tensión no es la adecuada para alimentar la excitatriz 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Puede afectar a la producción intermitentemente 4. Acción correctiva: Reemplazar el transformador de excitación	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
		10	Rotor desbalanceado	Errores en el diseño y montaje	1. Evidencia: La potencia medida es menor a la nominal. El generador disminuye su eficiencia de trabajo 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Puede afectar a la producción 4. Acción correctiva: Verificar las tolerancias de maquinado para el correcto montaje	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
		11	Rotor desbalanceado	Desgaste irregular	1. Evidencia: Presencia de vibraciones. El generador disminuye su eficiencia de trabajo 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Puede afectar a la producción 4. Acción correctiva: Inspeccionar el estado del rotor	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
		12	Rotor desbalanceado	Acumulación de depósitos de material durante su operación	1. Evidencia: Presencia de residuos sobre la superficie del rotor. Presencia de vibraciones. El generador disminuye su eficiencia de trabajo 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto al menos 48 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 7528 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para limpiar los residuos acumulados sobre la superficie aprox. 48 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
		13	Rotor desbalanceado		1. Evidencia: La temperatura de funcionamiento aumenta. Presencia de vibraciones. El generador disminuye su eficiencia de trabajo	NO OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por

				Dilataciones térmicas durante el funcionamiento	2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Puede afectar a la producción 4. Acción correctiva: Controlar la temperatura de funcionamiento		baja probabilidad de ocurrencia)
--	--	--	--	---	---	--	----------------------------------

HOJA DE INFORMACIÓN DEL RCM II	SISTEMA	Grupo de generación	SISTEMA N° CM-G1	Facilitador:	Fecha:	15/03/2020	Hoja N° 1		
	SUBSISTEMA	Turbina	SUBSISTEMA N° CM-G1-MTB01	Auditor:	Fecha:	15/04/2020	de 1		
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	CAUSA DE LA FALLA	EFFECTO DE LA FALLA	CONSECUENCIAS	PROBABILIDA DE FALLA		
Turbina									
1	Transformar la energía hidráulica del agua en energía mecánica de rotación del eje del generador con una presión de ingreso de 500 psi.	A	Incapaz de transformar la energía hidráulica del agua en energía mecánica de rotación del eje del generador con una presión de ingreso de 500 psi.	1	Rodete atascado (no gira)	Dispositivos de paro accionados	1. Evidencia: El rodete no gira. Las alarmas/dispositivos de paro se encuentran accionados 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 2 horas ocasionando pérdidas económicas de \$313,70 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para verificar el accionamiento de las alarmas/dispositivos de seguridad aproximadamente 2 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				2	Rodete atascado (no gira)	Falta de aceite en patines de empuje	1. Evidencia: El rodete no gira. Los patines de empuje están secos por falta de aceite. 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 2 horas ocasionando pérdidas económicas de \$313,71 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para rellenar el aceite de los patines aprox. 2 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				3	Rodete atascado (no gira)	No se inyecta el chorro de agua necesario para girar el rodete	1. Evidencia: El rodete no gira. Los inyectores no producen el chorro de agua necesario para girar la turbina 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 2 horas ocasionando pérdidas económicas de \$313,70 4. Acción correctiva: Tiempo muerto inspeccionar el estado y funcionamiento de los inyectores aprox. 2 horas	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
				4	Rodete atascado (no gira)	Eje de la turbina desalineado	1. Evidencia: El rodete no puede girar debido a que el eje se encuentra desalineado o roto. 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 8 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1254,81 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para alinear el eje de la turbina aprox. 8 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				5	Inyectores averiados	Posición incorrecta de las agujas	1. Evidencia: El rodete no gira debido a que la posición de las agujas para inyectar el chorro de agua no es el correcto 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 8 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1254,81 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para limpiar la aguja y las cañerías con agua a presión aprox. 8 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				6	Inyectores averiados	Aguja obstruida por cuerpos extraños	1. Evidencia: El rodete no gira. Los inyectores no producen el chorro de agua necesario para girar la turbina 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 8 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1254,81 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para limpiar la aguja y las cañerías con agua a presión aprox. 8 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				7	Inyectores averiados	Desgaste irregular de la aguja	1. Evidencia: La turbina genera ruidos anormales. Pérdida de presión de agua 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 120 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 18822 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar la aguja aprox. 120 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				8	Inyectores averiados	Acople del inyector flojo/ roto	1. Evidencia: El acople presenta fisuras y el generador no arranca 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 120 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 18822 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el acople aprox. 120 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				9	Inyectores averiados	Sensores de los inyectores dañados	1. Evidencia: La turbina no gira debido a que los sensores no mandan las señales para dar apertura a la aguja del inyector y generar el chorro de agua 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 48 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 7528,85 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar los sensores aprox. 48 horas	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
				10	Rotura de deflectores		1. Evidencia: Los deflectores son incapaces de desviar el chorro de agua a los inyectores 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente	OPERACIONALES	1 vez cada dos años

				Oxidación-daños físicos por cuerpos extraños	3. Riesgos a la producción: Afecta a la producción de energía 4. Acción correctiva: Reemplazo o Reparación de los deflectores mediante soldadura				
			11	Rotura de deflectores	Servomotor desanclado	1. Evidencia: El servomotor no actúa, por lo que el vástago del servo no se acciona y se queda en una sola posición 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 24 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 3764,23 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el servomotor aprox. 24 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años	
			12	Rotura de deflectores	Fugas de aceite en ductos de la entrada del servomotor	1. Evidencia: El servomotor no actúa por la pérdida de presión en los ductos de las cañerías. Presencia de contaminación entre el aceite y el agua de la turbina. Retenes dañados 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Puede afectar a la seguridad por lesiones de quemaduras 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 8 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1254,81 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar los retenes de los acoples aprox. 8 horas	AMBIENTAL	1 vez cada dos años	
			13	Baja presión en grupo oleohidráulico	Elementos de la bomba de aceite desgastados	1. Evidencia: Se genera una alarma de baja presión y el sistema se para. Las lecturas de presión en los manómetros están por debajo de lo nominal 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 8 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1254,81 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar la bomba del grupo oleohidraulico aprox. 8 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años	
			14	Baja presión en grupo oleohidráulico	Fugas en el sistema	1. Evidencia: Se genera una alarma de baja presión y el sistema se para. Existe derrame de aceite 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 8 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1254,81 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar los retenes del grupo oleohidraulico aprox. 8 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años	
			15	Baja presión en grupo oleohidráulico	Válvula principal dañada	1. Evidencia: Se genera una alarma de baja presión y el sistema se para 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 48 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 7528,85 4. Acción correctiva: tiempo muerto para reemplazar la válvula principal aprox. 48 horas	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)	
			16	Baja presión en grupo oleo hidráulico	Entrada de aire (partículas externas) en el grupo	1. Evidencia: Se genera una alarma de baja presión y el sistema se para 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 784,26 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para purgar el aire del grupo aprox. 5 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años	
		B	Transformar la energía hidráulica del agua en energía mecánica de rotación del eje del generador a menos una presión de 500 psi.	1	Álabes del rodete parcialmente rotos	Fatiga-daños físicos por cuerpos extraños	1. Evidencia: Presencia de fisuras en los álabes. Excesiva vibración en cojinetes 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 720 horas ocasionando pérdidas económicas de \$112 932 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el rodete aprox. 30 días	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				2	Álabes del rodete parcialmente rotos	Corrosión-oxidación	1. Evidencia: Presencia de fisuras en los álabes. Excesiva vibración en cojinetes 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 720 horas ocasionando pérdidas económicas de \$112 932 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el rodete aprox. 30 días	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				3	Álabes del rodete parcialmente rotos	Fatiga del material	1. Evidencia: Presencia de fisuras en los álabes. Excesiva vibración en cojinetes 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 720 horas ocasionando pérdidas económicas de \$112 932 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el rodete aprox. 30 días	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
				4	Válvula reguladora parcialmente cerrada	Elementos de válvula atascados	1. Evidencia: La turbina gira, pero no a la velocidad nominal debido a la disminución de caudal de alimentación 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 48 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 7528,85 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar la válvula aprox. 48 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				5	Válvula reguladora parcialmente cerrada	Falta de mantenimiento-lubricación	1. Evidencia: La turbina gira, pero no a la velocidad nominal debido a la disminución de caudal de alimentación 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 48 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 7528,86 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para engrasar la válvula aprox. 48 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				6	Aguja del inyector obstruida	Contaminación en el agua por cuerpos extraños	1. Evidencia: La turbina gira, pero no a la velocidad nominal debido a la disminución de caudal de alimentación 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 784,26 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para limpiar con agua a presión la aguja y cañerías del sistema aprox. 5 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				7	Desgaste irregular de la aguja	Mala calidad del material	1. Evidencia: La turbina gira, pero no a la velocidad nominal debido a la disminución de caudal de alimentación 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 120 horas ocasionando pérdidas económicas de \$18 822 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar la aguja aprox. 120 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
				8	Inyectores descalibrados	Falta de mantenimiento	1. Evidencia: La turbina gira, pero no a la velocidad nominal debido a la disminución de caudal de alimentación 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 48 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 7528,85	OPERACIONALES	1 vez cada dos años

						4. Acción correctiva: Tiempo muerto para calibrar los inyectores aprox. 48 horas		
			9	Tubería en espiral (caracol) rota	Mala calidad del material	1. Evidencia: Fugas de agua en la tubería. La turbina gira, pero no a la velocidad nominal debido a la disminución de caudal de alimentación 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 48 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 7528,85 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar la tubería o repararla mediante soldadura aprox. 48 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años

HOJA DE INFORMACIÓN DEL RCM II		SISTEMA	Grupo de generación		SISTEMA N°	Facilitador:	Fecha:	Hoja N°	
		SUBSISTEMA	Lubricación de cojinetes		CM-G1	D. Arévalo	15/03/2020	1	
					SUBSISTEMA N°	Auditor:	Fecha:	de	
					CM-G1-MSL01	C. Gallegos	15/04/2020	1	
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	CAUSA DE LA FALLA	EFECTO DE LA FALLA		CONSECUENCIAS	PROBABILIDAD DE FALLA	
Lubricación de cojinetes									
1	Lubricar y contener el aceite de lubricación a no menos de las 3/4 partes del total	A	Incapaz de lubricar y contener el aceite de lubricación a no menos de las 3/4 partes del total	1	Aceite lubricante deteriorado	deterioro normal	1. Evidencia: El lubricante deteriorado no posee las características adecuadas de viscosidad, por lo que los elementos sufren mayor rozamiento entre ellos, generando presencia de residuos y ruidos anormales 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 784,26 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para cambiar el aceite lubricante aprox. 5 horas	OPERACIONALES	1 vez cada año
				2	Aceite lubricante deteriorado	lubricante inadecuado	1. Evidencia: El lubricante inadecuado no posee las características adecuadas de viscosidad, por lo que los elementos sufren mayor rozamiento entre ellos, generando ruidos anormales 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 784,26 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el aceite lubricante por uno de características apropiadas aprox. 5 horas	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
				3	Aceite lubricante deteriorado	falta de reemplazo del aceite	1. Evidencia: El lubricante no posee las características adecuadas de viscosidad, por lo que los elementos sufren mayor rozamiento entre ellos, generando presencia de residuos y ruidos anormales 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 784,26 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para cambiar el aceite lubricante aprox. 5 horas	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
				4	Falta total de aceite lubricante	fugas de lubricante en el sistema	1. Evidencia: Derrames de aceite lubricante. En la mirilla del sistema no se observa el nivel de aceite apropiado 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de caídas al mismo nivel y puede afectar al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 24 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 3764,43 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para la reparación de fugas aprox. 48 horas	SEGURIDAD	1 vez cada dos años
				5	Falta total de aceite lubricante	falta de mantenimiento	1. Evidencia: El lubricante no posee las características adecuadas de viscosidad, por lo que los elementos sufren mayor rozamiento entre ellos, generando presencia de residuos y ruidos anormales 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Puede afectar a la calidad del servicio 4. Acción correctiva: Cambio del aceite lubricante	NO OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
				6	Falta total de aceite lubricante	empaques deteriorados	1. Evidencia: Derrames de aceite lubricante, los empaques están con fisuras. En la mirilla del sistema no se observa el nivel de aceite apropiado 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Puede afectar a la seguridad y al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 784,26 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para cambiar los empaques aprox. 5 horas	SEGURIDAD	1 vez cada dos años
				7	Falta total de aceite lubricante	consumo de aceite lubricante	1. Evidencia: En la mirilla del sistema no se observa el nivel de aceite apropiado 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 784,26 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el aceite lubricante por uno de características apropiadas aprox. 5 horas	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)

			8	Impulsor de la bomba de aceite atascado	aceite lubricante contaminado	1. Evidencia: Un exceso de residuos y de partículas obstruyen la bomba y filtros provocando que se recaliente y que no pueda bombear el lubricante 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 784,26 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el aceite lubricante aprox. 5 horas	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
			9	Impulsor de la bomba de aceite atascado	filtro de aceite taponado	1. Evidencia: Exceso de residuos y de partículas obstruyen la bomba y filtros provocando que se recaliente y que no pueda bombear el lubricante 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 784,26 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para cambiar el filtro de aceite aprox. 5 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
			10	Impulsor de la bomba de aceite atascado	retén y/o otros elementos dañados	1. Evidencia: Derrames de aceite lubricante, el retén está con fisuras. En la mirilla del sistema no se observa el nivel de aceite apropiado 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Puede afectar a la seguridad y al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 784,26 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para cambiar el retén aprox. 5 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
			11	Filtros taponados	deterioro normal	1. Evidencia: Exceso de residuos y de partículas en el filtro, provocando que la bomba se recaliente y que no pueda bombear el lubricante 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 784,26 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar los filtros aprox. 5 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
			12	Filtros taponados	aceite lubricante contaminado	1. Evidencia: Un exceso de residuos y de partículas obstruyen la bomba y filtros provocando que se recaliente y que no pueda bombear el lubricante 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 784,26 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el filtro y el aceite lubricante aprox. 5 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
			13	Motor eléctrico quemado	cortocircuito en bobinas	1. Evidencia: El motor incrementa su temperatura nominal de trabajo. Las bobinas están quemadas (chamuscadas) 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de electrocución 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 120 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 18822 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el bobinado del motor aprox 120 horas	SEGURIDAD	1 vez cada dos años
			14	Motor eléctrico quemado	sobrecarga de operación	1. Evidencia: El motor aumenta su temperatura nominal de funcionamiento. La corriente en las bobinas se incrementa 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Puede afectar a la seguridad 3. Riesgos a la producción: Afecta a la calidad del servicio 4. Acción correctiva: Inspeccionar visualmente las medidas de intensidad de carga	SEGURIDAD	1 vez cada dos años

HOJA DE INFORMACIÓN DEL RCM II	SISTEMA	Grupo de generación	SISTEMA N°	Facilitador:	Fecha:	Hoja N°			
	SUBSISTEMA	Regulador de velocidad	CM-G1	D. Arévalo	15/03/2020	1			
			SUBSISTEMA N°	Auditor:	Fecha:	de			
			CM-G1-MRG01	C. Gallegos	15/04/2020	1			
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	CAUSA DE LA FALLA	EFFECTO DE LA FALLA	CONSECUENCIAS	PROBABILIDAD DE FALLA			
Regulador de velocidad									
1	Reducir la velocidad del grupo de generación hasta cero	A	Incapaz de reducir la velocidad del grupo de generación hasta cero	1	falta total de aceite en el sistema regulador	fugas de aceite en el sistema	1. Evidencia: Se presencia derrames de aceite. El nivel de aceite está por debajo de lo adecuado 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de caídas al mismo nivel 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto al menos 8 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1254,81 4. Acción correctiva: Reparación de las fugas de aceite y reposición del aceite	SEGURIDAD	1 vez cada dos años
				2	falta total de aceite en el sistema regulador	cañerías de aceite rotas	1. Evidencia: Se presencia derrames de aceite bajo las cañerías. El nivel de aceite está por debajo de lo adecuado 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de caídas al mismo nivel 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto al menos 10 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1568,51 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar las cañerías aprox. 10 horas	SEGURIDAD	1 vez cada dos años
				3	falta total de aceite en el sistema regulador	uniones, empaques en mal estado	1. Evidencia: Se presencia derrames de aceite en las uniones de las cañerías. El nivel de aceite está por debajo de lo adecuado 2. Riesgos a seguridad/ambiente: No afecta a la seguridad y al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto al menos 10 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1568,51 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar los empaques aprox. 10 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años

4	gatos hidráulicos totalmente trabados	falta de alimentación de aire comprimido	1. Evidencia: Los gatos hidráulicos no se accionan y no alcanzan la distancia máxima de actuación 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto al menos 10 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1568,51 4. Acción correctiva: Revisión del compresor de aire	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
5	gatos hidráulicos totalmente trabados	partes móviles atascadas	1. Evidencia: El gato hidráulico no alcanza la altura máxima 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto al menos 10 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1568,51 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para lubricar las partes móviles aprox. 10 horas	OPERACIONALES	1 vez cada año
6	gatos hidráulicos totalmente trabados	fugas de aire comprimido en las mangueras	1. Evidencia: Los gatos hidráulicos no se accionan, o no alcanzan la altura máxima. Presencia de ruidos anormales en las mangueras de aire 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 784,26 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar las mangueras de aire aprox. 5 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
7	gatos hidráulicos totalmente trabados	no hay aceite en el cilindro	1. Evidencia: Derrames de aceite lubricante, los empaques están con fisuras. En la mirilla del sistema no se observa el nivel de aceite apropiado 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 784,26 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reponer el aceite en el cilindro aprox. 5 horas	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
8	compresor de aire sin arranque	falta de mantenimiento	1. Evidencia: El compresor de aire no arranca. 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto al menos 10 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1568,51 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el motor eléctrico aprox. 10 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
9	compresor de aire sin arranque	motor eléctrico quemado	1. Evidencia: El compresor de aire no arranca. 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto al menos 10 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1568,51 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el motor eléctrico aprox. 10 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
10	compresor de aire sin arranque	banda de transmisión rota	1. Evidencia: El motor eléctrico enciende, pero el compresor de aire no debido a que no hay transmisión de movimiento 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto al menos 10 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1568,51 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar la transmisión mecánica aprox. 10 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
11	compresor de aire sin arranque	tanque de almacenamiento roto	1. Evidencia: El compresor arranca, pero el aire comprimido no se acumula en el tanque debido a las fugas. Presencia de ruidos anormales 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto al menos 10 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1568,51 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reparar el tanque de almacenamiento mediante soldadura aprox. 10 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
12	desgaste total de las zapatas	deterioro normal del recubrimiento	1. Evidencia: Al accionarse el sistema, éste no desacelera la velocidad del grupo de generación 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 784,26 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar las zapatas aprox 5 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
13	desgaste total de las zapatas	desgaste irregular	1. Evidencia: Al accionarse el sistema, éste no desacelera la velocidad del grupo de generación. 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 784,26 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar las zapatas aprox 5 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
14	desgaste total de las zapatas	contaminación de las zapatas	1. Evidencia: Se puede evidenciar que en la superficie de las zapatas existe impregnación de aceite 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 2 horas ocasionando pérdidas económicas de \$313,70 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para limpiar las zapatas aprox. 2 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
1	bajo nivel de aceite en el sistema regulador	fugas de aceite en el sistema	1. Evidencia: Se presencia derrames de aceite. El nivel de aceite está por debajo de lo adecuado 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de caídas al mismo nivel 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto al menos 8 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1254,81 4. Acción correctiva: Reparación de las fugas de aceite y reposición del aceite	SEGURIDAD	1 vez cada dos años
2	bajo nivel de aceite en el sistema regulador	cañerías de aceite rotas	1. Evidencia: Se presencia derrames de aceite bajo las cañerías. El nivel de aceite está por debajo de lo adecuado 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Riesgo de caídas al mismo nivel 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto al menos 10 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1568,51 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar las cañerías aprox. 10 horas	SEGURIDAD	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
3	bajo nivel de aceite en el sistema regulador	uniones, empaques en mal estado	1. Evidencia: Se presencia derrames de aceite en las uniones de las cañerías. El nivel de aceite está por debajo de lo adecuado 2. Riesgos a seguridad/ambiente: No afecta a la seguridad y al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto al menos 10 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1568,51 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar los empaques aprox. 10 horas	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)

B
Reduce la velocidad del grupo de generación parcialmente pero no hasta cero

		4	gatos hidráulicos parcialmente trabados	falta de aire comprimido	1. Evidencia: Los gatos hidráulicos no se accionan 2. Riesgos a seguridad/ambiente: No afecta a la seguridad y al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto al menos 10 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1568,51 4. Acción correctiva: Revisión del compresor de aire	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
		5	gatos hidráulicos parcialmente trabados	partes móviles atascadas	1. Evidencia: El gato hidráulico no alcanza la altura máxima 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto al menos 10 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1568,51 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para lubricar las partes móviles aprox. 10 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
		6	gatos hidráulicos parcialmente trabados	fugas de aire comprimido en las mangueras	1. Evidencia: Los gatos hidráulicos no se accionan, o no alcanza la altura máxima. Presencia de ruidos anormales en las mangueras de aire 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 784,26 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar las mangueras de aire aprox. 5 horas	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
		7	gatos hidráulicos parcialmente trabados	bajo nivel de aceite en el cilindro	1. Evidencia: Derrames de aceite lubricante, los empaques están con fisuras. En la mirilla del sistema no se observa el nivel de aceite apropiado 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 784,26 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reponer el aceite en el cilindro aprox. 5 horas	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
		8	baja compresión de aire	conexiones de aire flojas	1. Evidencia: la presión de aire no es la necesaria por lo que los gatos no alcanzan toda su distancia de actuación máxima 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto al menos 10 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1568,51 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el motor eléctrico aprox. 10 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
		9	baja compresión de aire	conexiones eléctricas del motor eléctrico flojas	1. Evidencia: El compresor de aire arranca, pero no genera la presión de aire adecuada 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto al menos 10 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1568,51 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar el motor eléctrico aprox. 10 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
		10	baja compresión de aire	tanque de almacenamiento fisurado	1. Evidencia: El compresor arranca, pero el aire comprimido no se acumula en el tanque debido a las fugas. Presencia de ruidos anormales 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto al menos 10 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 1568,51 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reparar el tanque de almacenamiento mediante soldadura aprox. 10 horas	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
		11	desgaste excesivo de zapatas	sobreesfuerzos de trabajo	1. Evidencia: Al accionarse el sistema, éste desacelera la velocidad del grupo de generación, pero no hasta cero. 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 784,26 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para recubrir las zapatas con el espesor adecuado aprox. 5 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años
		12	desgaste excesivo de zapatas	zapatas deformadas	1. Evidencia: Al accionarse el sistema, éste no desacelera la velocidad del grupo de generación. Las placas de acero están deformadas-quebradas 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 5 horas ocasionando pérdidas económicas de \$ 784,26 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para reemplazar las zapatas aprox 5 horas	OPERACIONALES	1 vez cada cinco años (No se analizará por baja probabilidad de ocurrencia)
		13	desgaste excesivo de zapatas	contaminación de las zapatas	1. Evidencia: Se puede evidenciar que en la superficie de las zapatas existe impregnación de aceite 2. Riesgos a seguridad/ambiente: Sin efectos a la seguridad ni al medio ambiente 3. Riesgos a la producción: Tiempo muerto aproximadamente 2 horas ocasionando pérdidas económicas de \$313,70 4. Acción correctiva: Tiempo muerto para limpiar las zapatas aprox. 2 horas	OPERACIONALES	1 vez cada dos años

ANEXO E: HOJAS DE DECISIÓN DE LOS ACTIVOS CRÍTICOS

HOJA DE DECISIÓN RCM II			SISTEMA				Auxiliares generales						Sistema N°	Facilitador:	Fecha	Hoja N°
			SUBSISTEMA				Banco de baterías						CM-AU	D. Arévalo	15/03/2020	1
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a la falta de"				Tarea propuesta	Frecuencia inicial	A realizarse por
							S1	S2	S3							
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4				
1	A	1	S	N	N	S	S						Análisis de la concentración de ácido e iones en el electrolito y medición del nivel en cada batería utilizando un densímetro.	Mensual	Eléctrico	
1	A	3	S	N	N	S	S						Realizar tomas de temperatura a las baterías verificando que no estén sobrecalentadas antes de ponerlas en marcha	Semanal	Eléctrico	
1	A	4	S	N	N	N	S						Realizar el ajuste de los contactos en los bornes de las baterías	Mensual	Eléctrico	
1	A	5	S	N	N	N	N	S					Realizar la limpieza de las placas (bornes) utilizando un limpiador anticorrosivo y un cepillo de acero, para eliminar la sulfatación acumulada en ellos	Trimestral	Eléctrico	
1	A	7	S	N	N	N	S						Medir mediante un multímetro que el voltaje de las baterías no disminuya de 132 v y la intensidad de 6 amp.	Mensual	Eléctrico	
1	A	8	S	N	S		S						Inspeccionar visualmente los niveles de electrolito en las baterías luego del tiempo de reposo, posterior a la carga.	Mensual	Eléctrico	
1	B	2	S	N	S		S						Inspeccionar visualmente que las placas y bornes de las baterías no presenten sulfatación en su superficie	Mensual	Eléctrico	

HOJA DE DECISIÓN RCM II			SISTEMA Auxiliares generales							Sistema N° CM-AU			Facilitador: D. Arévalo	Fecha 15/03/2020	Hoja N° 1	
			SUBSISTEMA Transformador de potencia							Subsistema N° CM-AU-ETR01			Auditor: C. Gallegos	Fecha 15/04/2020	de 1	
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a la falta de"				Tarea propuesta	Frecuencia inicial	A realizarse por
							S1	S2	S3							
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4				
1	A	1	S	S			N	S					Colocar una capa de barniz en las láminas del núcleo	Trimestral	Eléctrico	
1	A	3	S	S			S						Realizar la medida de la resistencia óhmica DC utilizando un microohmetro, para detectar si hay cambios en los valores nominales de resistencia del núcleo a tierra y núcleo al tanque, atribuibles a falsos contactos o espiras cortocircuitadas, comparando los resultados obtenidos con los otorgados por el fabricante u otras pruebas realizadas	Mensual	Eléctrico	
1	A	4	N				S	N	N	S			Realizar pruebas de funcionamiento simulando las condiciones a las que el mecanismo debería responder para verificar que los actuadores del sistema de control de gases y nivel de aceite (alarma/flotador) funcione correctamente	Trimestral	Eléctrico	
1	A	6	S	N	N	S	S						Inspeccionar visualmente que el detector de nivel opere correctamente	Semanal	Eléctrico	
1	A	7	S	N	S		S						Inspeccionar visualmente que la cuba del transformador no se encuentre perforada, fisurada o presente porosidades por corrosión	Mensual	Eléctrico	
1	A	8	S	N	S		S						Inspeccionar visualmente que el nivel de aceite sea el adecuado verificando que no existan fugas en el sistema	Mensual	Eléctrico	
1	A	9	S	N	N	S	N	S					Realizar pruebas de funcionamiento simulando las condiciones a las que el termostato debería accionarse y cerrarse verificando que funcione correctamente	Trimestral	Eléctrico	
1	A	10	S	S			N	S					Realizar la revisión del estado de los aisladores de llegada de manera que se identifique roturas o fisuras sobre ellos	Mensual	Eléctrico	

1	B	1	S	N	N	S	S						Inspeccionar visualmente el estado de la bomba y las lecturas de presión entregadas por la misma para verificar su correcto funcionamiento	Mensual	Mecánico
1	B	2	S	N	N	S	N	N	S				Realizar la sustitución periódica de los empaques (retén) de la bomba de aceite	Semestral	Mecánico
1	B	4	S	N	N	S	N	S					Realizar la limpieza general del ventilador y sus elementos para eliminar el polvo, impurezas y agentes extraños, utilizando un guaipe, franela y una brocha	Trimestral	Mecánico
1	B	5	S	N	N	S	S						Verificar mediante mediciones que el ventilador con el motor se encuentre perfectamente alineados	Trimestral	Mecánico
1	B	7	S	N	N	S	N	S					Realizar una limpieza a los contactos del ruptor utilizando solvente dieléctrico para eliminar la suciedad sobre la superficie de los contactos	Trimestral	Eléctrico
1	B	13	S	N	N	S	N	S					Revisar mediante pruebas que las relaciones de transformación para todas las posiciones del tap bajo carga estén dentro de los parámetros de funcionamiento. Los valores obtenidos en la prueba de relación de transformación para considerarse satisfactorios deberán estar dentro del 0,5 % de los valores de placa	Anual	Eléctrico
1	B	14	S	N	N	S	S						Realizar mediciones eléctricas mediante un multímetro a los condensadores para comprobar su correcto funcionamiento	Trimestral	Eléctrico
1	B	16	S	N	N	S	S						Realizar mediciones eléctricas mediante un multímetro al motor del cambiador para comprobar su correcto funcionamiento	Trimestral	Eléctrico
1	B	17	N				S	N	N	S			Realizar pruebas de funcionamiento simulando las condiciones a las que la válvula debería responder para verificar que los elementos de actuación (émbolo/resorte) funcionen correctamente	Semestral	Mecánico

HOJA DE DECISIÓN RCM II			SISTEMA Grupo de generación							Sistema N° CM-G1			Facilitador: D. Arévalo	Fecha 15/03/2020	Hoja N° 1	
			SUBSISTEMA Tablero de control							Subsistema N° ECU01			Auditor: C. Gallegos	Fecha 15/04/2020	de 1	
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a la falta de"				Tarea propuesta	Frecuencia inicial	A realizarse por
							S1	S2	S3							
F	FF	FM	H	S	E	O	NI	N2	N3	H4	H5	S4				
1	A	1	S	N	N	N	S						Inspeccionar visualmente el estado de los elementos del tablero de control	Semanal	Eléctrico	
1	A	3	S	S			N	S					Revisar el cableado de alimentación y las conexiones verificando que se encuentren en buen estado	Mensual	Eléctrico	
1	A	4	S	N	N	N	N	S					Revisar el estado y correcto funcionamiento de las perrillas de accionamiento del tablero de control	Mensual	Eléctrico	
2	A	1	S	S			S						Realizar pruebas de termografía utilizando una cámara termográfica para identificar deltas de temperatura en los conductores del tablero de control	Mensual	Eléctrico	
2	A	3	S	S			S						Mediante un multímetro realizar mediciones eléctricas y verificar que el voltaje de ingreso sea el adecuado	Mensual	Eléctrico	
2	A	4	S	N	N	S	S						Realizar pruebas de termografía utilizando una cámara termográfica para identificar deltas de temperatura en el breaker del tablero de control	Mensual	Eléctrico	

2	A	8	N					N	S				Realizar pruebas de funcionamiento para verificar el correcto funcionamiento del breaker	Trimestral	Eléctrico
---	---	---	---	--	--	--	--	---	---	--	--	--	--	------------	-----------

HOJA DE DECISIÓN RCM II			SISTEMA Grupo de generación										Sistema N°	Facilitador:	Fecha	Hoja N°
			SUBSISTEMA Generador										CM-G1	D. Arévalo	15/03/2020	1
													Subsistema N°	Auditor:	Fecha	de
													CM-G1-EGE01	C. Gallegos	15/04/2020	1
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a la falta de"				Tarea propuesta	Frecuencia inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4				
							O1	O2	O3							
1	A	1	S	N	N	S	S							Realizar pruebas de termografía utilizando una cámara termográfica para identificar deltas de temperatura en todos los puntos de los cojinetes y eje	Mensual	Mecánico
1	A	2	S	N	N	S	S							Realizar el reajuste en todos las tuercas y pernos que requieran del cojinete utilizando un torquímetro de manera que sea aplique el mismo torque a todos	Trimestral	Mecánico
1	A	4	S	N	N	S	S							Realizar mediciones eléctricas mediante un multímetro para verificar que la tensión y corriente que llega al varistor sea la adecuada	Mensual	Eléctrico
1	A	6	S	S			S							Realizar pruebas de termografía utilizando una cámara termográfica para identificar deltas de temperatura en todos los puntos de las bobinas del estator	Mensual	Mecánico

1	A	7	S	S			N	N	N	N	N	S	<p>Limpieza general de estator: Antes y después de la limpieza se debe primero realizar una inspección visual de los devanados inferiores y superiores en busca de anomalías y determinar el estado de los mismos. Realizar pruebas de resistencia de aislamiento (IR) e índice de polarización (PI) al inicio y final de la tarea, para evaluar el grado de contaminación y determinar la calidad de limpieza que se necesite. Luego, realizar la limpieza general, utilizando una franela humedecida con disolvente dieléctrico o un cepillo plástico de cerdas suaves, procediendo a retirar el exceso de suciedad en los devanados, ductos de ventilación, anillos circulares, barra circunferencial y sus conductores y las placas de presión del núcleo. Después pulverizar mediante aire a presión el solvente dieléctrico para llegar a zonas de difícil acceso hasta observar que el estator quede totalmente limpio. Por último, en caso de requerir se aplicará una o dos capas de barniz aislante</p>	Anual	Mecánico y Eléctrico
1	A	9	S	N	N	S	N	S					<p>Realizar la calibración en el relé de sincronismo</p>	Semestral	Eléctrico
1	A	10	S	N	N	S	S						<p>Realizar una inspección general de todos los elementos del circuito de excitación para comprobar su correcto funcionamiento y estado</p>	Mensual	Eléctrico
1	A	12	S	N	N	S	N	S					<p>Realizar la calibración de los relés diferenciales de sobrecorriente y de falla a tierra</p>	Trimestral	Eléctrico
1	A	13	S	N	N	S	N	N	N	N	N	S	<p>Limpieza general de rotor: Antes y después de la limpieza primero realizar una inspección visual del rotor en busca de anomalías y determinar el estado del mismo. Para la limpieza general, primero se debe retirar las guías de aire interpolares para tener una mejor accesibilidad, luego utilizando una franela humedecida con disolvente dieléctrico o un cepillo plástico de cerdas suaves, se procede a retirar el exceso de suciedad de las guías, y en toda la araña del rotor, los ductos de ventilación y los polos. Después pulverizar mediante aire a presión el solvente dieléctrico para llegar a zonas del entrehierro, las caras laterales y el devanado de amortiguación de los polos, hasta observar que el rotor quede totalmente limpio.</p>	Anual	Mecánico y Eléctrico
1	A	16	S	S			N	N	N	N	N	S	<p>Realizar pruebas de resistencia al aislamiento sólido del estator utilizando un Megger con el fin de diagnosticar el estado del mismo, así como a la vez realizar una inspección termográfica al estator para detectar deltas de temperatura en el aislamiento sólido que incrementen la degradación del aislamiento</p>	Mensual	Eléctrico

1	A	18	S	S				N	N	N	N	N	S	Realizar pruebas de resistencia de aislamiento al rotor utilizando un Megger con el fin de diagnosticar el estado del mismo, así como a la vez realizar una inspección termográfica al rotor para detectar deltas de temperatura en el aislamiento sólido que incrementen la degradación del aislamiento	Mensual	Eléctrico
1	A	21	S	S				S						Inspeccionar visualmente el estado del recinto de escobillas verificando que el recinto no este contaminado y que las escobillas no estén muy cortas	Mensual	Eléctrico
1	B	1	S	S				S						Inspeccionar visualmente las lecturas de temperatura de operación verificando que estén en el rango óptimo de operación	Semanal	Eléctrico
1	B	4	S	N	N	S	N	S						Realizar la revisión de los elementos de excitación como portaescobillas y escobillas para verificar su correcto posicionamiento	Mensual	Eléctrico
1	B	5	S	N	N	S	N	S						Realizar el reajuste de presión de las escobillas	Trimestral	Eléctrico
1	B	6	S	N	S	S	N	S						Realizar la limpieza a las tuberías mediante agua a presión para eliminar la acumulación de residuos	Trimestral	Mecánico
1	B	7	S	N	S	S	N	N	S					Realizar el cambio de los filtros	Trimestral	Mecánico
1	B	8	S	N	S	S	N	S						Realizar la limpieza del tanque mediante agua a presión para eliminar la acumulación de residuos	Trimestral	Mecánico
1	B	9	S	N	N	S	N	S						Realizar la revisión de la posición de los deflectores, el sistema eléctrico y la transmisión mecánica, verificando que funcione correctamente	Trimestral	Mecánico

HOJA DE DECISIÓN RCM II			SISTEMA									Grupo de generación			Sistema N°	Facilitador:	Fecha	Hoja N°
			SUBSISTEMA									Autotransformador			CM-G1	D. Arévalo	15/03/2020	1
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a la falta de"				Tarea propuesta	Frecuencia inicial	A realizarse por		
							S1	S2	S3									
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4						
1	A	1	S	S			N	S					Colocar una capa de barniz en las láminas del núcleo	Trimestral	Eléctrico			
1	A	3	S	S			S						Realizar la medida de la resistencia óhmica DC utilizando un microohmetro, para detectar si hay cambios en los valores nominales de resistencia del núcleo a tierra y núcleo al tanque, atribuibles a falsos contactos o espiras cortocircuitadas, comparando los resultados obtenidos con los otorgados por el fabricante u otras pruebas realizadas	Mensual	Eléctrico			
1	A	4	S	S			S						Realizar pruebas de resistencia de aislamiento utilizando un Megger con el fin de diagnosticar el estado del aislamiento, así como a la vez realizar una inspección termográfica al rotor para detectar deltas de temperatura en todos sus puntos que incrementen la degradación del mismo	Mensual	Eléctrico			
1	A	5	S	S			S						Realizar pruebas de rigidez dieléctrica aplicando una tensión de C.A. entre dos electrodos sumergidos en aceite a una distancia de 2,54 mm o 2,0 mm con el fin de identificar la presencia de agentes contaminantes (agua, polvo, partículas conductoras), para verificar el estado adecuado del aceite dieléctrico. Se recomienda realizar el proceso bajo los lineamientos de la norma ASTM D 1816/D 877 o la norma IEC 60156	Mensual	Eléctrico			
1	A	7	N				S	N	N	S			Realizar pruebas de funcionamiento simulando las condiciones a las que el mecanismo debería responder para verificar que los actuadores del sistema de control de gases y nivel de aceite (alarma/flotador) funcione correctamente	Trimestral	Eléctrico			
1	A	9	S	N	N	S	S						Inspeccionar visualmente que el detector de nivel opere correctamente	Semanal	Eléctrico			
1	A	10	S	N	S		S						Inspeccionar visualmente que la cuba del transformador no se encuentre perforada, fisurada o presente porosidades por corrosión	Mensual	Eléctrico			
1	A	11	S	N	S		S						Inspeccionar visualmente que el nivel de aceite sea el adecuado verificando que no existan fugas en el sistema	Mensual	Eléctrico			

1	B	14	S	N	N	S	N	S						Realizar la limpieza general de los bushings para eliminar agentes contaminantes como polvo, polución y sedimentos utilizando una brocha, franela o guaipe y un solvente dieléctrico	Semestral	Eléctrico
1	B	15	S	N	N	S	S							Inspeccionar visualmente la superficie de los bushings para verificar si presenta daños físicos, fisuras u oxidación	Mensual	Eléctrico
1	B	16	S	N	N	S	N	S						Revisar que las conexiones eléctricas y las conexiones a tierra en las distintas partes del centro de transformación estén en buen estado	Mensual	Eléctrico

HOJA DE DECISIÓN RCM II			SISTEMA Grupo de generación										Sistema N°	Facilitador:	Fecha	Hoja N°
			SUBSISTEMA Excitatriz										CM-G1	D. Arévalo	15/03/2020	1
													Subsistema N°	Auditor:	Fecha	de
													CM-G1-EGE05	C. Gallegos	15/04/2020	1
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a la falta de"				Tarea propuesta	Frecuencia inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4				
							O1	O2	O3							
1	A	1	S	S			S						Realizar pruebas de termografía utilizando una cámara termográfica para identificar deltas de temperatura en todos los puntos de las bobinas del estator	Mensual	Mecánico	
1	A	2	S	S			N	N	N	N	N	S	Limpieza general de estator: Antes y después de la limpieza se debe primero realizar una inspección visual de los devanados inferiores y superiores en busca de anomalías y determinar el estado de los mismos. Realizar pruebas de resistencia de aislamiento (IR) e índice de polarización (PI) al inicio y final de la tarea, para evaluar el grado de contaminación y determinar la calidad de limpieza que se necesite. Luego, realizar la limpieza general, utilizando una franela humedecida con disolvente dieléctrico o un cepillo plástico de cerdas suaves, procediendo a retirar el exceso de suciedad en los devanados, ductos de ventilación, anillos circulares, barra circunferencial y sus conductores y las placas de presión del núcleo. Después pulverizar mediante aire a presión el solvente dieléctrico para llegar a zonas de difícil acceso hasta observar que el estator quede totalmente limpio. Por último, en caso de requerir se aplicará una o dos capas de barniz aislante	Anual	Mecánico y Eléctrico	

1	A	4	S	S			S						Realizar pruebas de resistencia de aislamiento utilizando un Megger con el fin de diagnosticar el estado del aislamiento, así como a la vez realizar una inspección termográfica al rotor para detectar deltas de temperatura en todos sus puntos que incrementen la degradación del mismo	Mensual	Eléctrico
1	A	5	S	S			S						Realizar pruebas de termografía al cableado de conexión del devanado de campo utilizando una cámara termográfica para identificar deltas de temperatura de sobrecarga en todos los puntos del cableado	Mensual	Mecánico
1	A	7	S	N	N	S	S						Realizar la medición de la longitud de las escobillas mediante un pie de rey verificando que la longitud sea la adecuada	Trimestral	Mecánico
1	A	8	S	N	N	S	N	S					Realizar el reajuste de presión de las escobillas	Trimestral	Eléctrico
1	A	9	S	N	N	S	N	S					Realizar la limpieza del recinto de las escobillas utilizando solvente dieléctrico empañado en una franela procediendo a retirar todo el exceso de polvo de carbón del recinto	Semestral	Eléctrico
1	A	11	S	N	N	S	N	S					Realizar la revisión de los cables estacionarios verificando que se encuentren conectados y en un correcto estado	Mensual	Eléctrico
1	A	12	S	N	N	S	N	S					Realizar la revisión del recinto de portaescobillas verificando que se encuentren conectados y en un correcto estado	Mensual	Eléctrico
1	A	13	S	N	N	S	S						Inspeccionar visualmente que los anillos rozantes no presenten erosiones o arqueos durante su operación	Semanal	Eléctrico
1	A	14	S	N	N	S	N	S					Inspeccionar visualmente que los anillos rozantes no presenten surcos o hendiduras sobre su superficie	Semanal	Eléctrico

1	B	6	S	N	N	S	S							Inspeccionar visualmente que las lecturas de tensión entregadas por el transformador de excitación sea la adecuada	Semanal	Eléctrico
1	B	7	S	N	N	S	S							Realizar una inspección visual al transformador de excitación para verificar que las conexiones eléctricas no se encuentren sueltas o flojas	Semanal	Eléctrico
1	B	11	S	N	N	S	N	S						Realizar el balanceo del rotor	Bianual	Mecánico
1	B	12	S	N	N	S	S							Realizar análisis de vibraciones al rotor con el fin de detectar síntomas de desequilibrio, así como verificar los límites de vibración permitidos en el sistema	Bimestral	Mecánico

HOJA DE DECISIÓN RCM II			SISTEMA Grupo de generación										Sistema N°			Facilitador:	Fecha	Hoja N°
			SUBSISTEMA Turbina										CM-G1			D. Arévalo	15/03/2020	1
													Subsistema N°			Auditor:	Fecha	de
													CM-G1-MTB01			C. Gallegos	15/04/2020	1
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a la falta de"			Tarea propuesta			Frecuencia inicial	A realizarse por	
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	O1	O2	O3						H4
1	A	1	S	N	N	S	N	S								Verificar el funcionamiento de los instrumentos de medición de los parámetros hidráulicos (presión, caudal), alarmas, dispositivos de seguridad, detectores que puedan generar el paro del sistema	Semanal	Mecánico
1	A	2	S	N	N	S	N	N	S							Realizar la reposición del aceite en los patines de empuje hasta su nivel adecuado	Trimestral	Mecánico
1	A	4	S	N	N	S	N	S								Verificar el par de apriete en toda la tornillería de los acoplamientos: eje-turbina, eje-corredor, acoplamiento de la válvula y acoplamiento inyector-colector	Anual	Mecánico

1	A	14	S	N	N	S	S							Inspeccionar visualmente el nivel de aceite, el estado de las uniones y juntas en las tuberías, válvulas y accesorios, verificando que no existan derrames de aceite en el sistema	Semanal	Mecánico
1	A	16	S	N	N	S	S							Inspeccionar el estado de estanqueidad en las tuberías de aceite, válvulas y accesorios	Semanal	Mecánico
1	B	1	S	N	N	S	S							Realizar ensayos de líquidos penetrantes para detectar fisuras o poros sobre la superficie del rodete	Anual	Mecánico
1	B	2	S	N	N	S	N	S						Realizar la limpieza e inspección de la pintura del rodete, recinto de la turbina y rejillas quiebra chorros	Anual	Mecánico
1	B	4	S	N	N	S	N	S						Realizar la revisión del estado funcional de la válvula para verificar que no se encuentre atascada u obstruida por cuerpos extraños	Trimestral	Mecánico
1	B	5	S	N	N	S	N	N	S					Realizar el engrase de la válvula reguladora	Semestral	Mecánico
1	B	6	S	N	N	S	S							Inspeccionar visualmente que el sistema de inyección no esté obstruido por cuerpos extraños	Semanal	Mecánico
1	B	7	S	N	N	S	N	N	S					Realizar el reemplazo de la aguja del inyector	Bianual	Mecánico
1	B	8	S	N	N	S	N	S						Realizar la calibración electrónica de carrera de operación de las agujas del inyector y los deflectores	Semestral	Mecánico/Electrónico

1	B	9	S	N	N	S	S							Realizar la inspección visual del estado del caracol en busca de fisuras, o grietas	Mensual	Mecánico
---	---	---	---	---	---	---	---	--	--	--	--	--	--	---	---------	----------

HOJA DE DECISIÓN RCM II			SISTEMA										Grupo de generación			Sistema N°		Facilitador:	Fecha	Hoja N°	
			SUBSISTEMA										Lubricación de cojinetes			CM-G1		D. Arévalo	15/03/2020	1	
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1			H2			H3			Tareas "a la falta de"			Tarea propuesta	Frecuencia inicial	A realizarse por
							S1	S2	S3	O1	O2	O3	H4	H5	S4						
F	FF	FM	H	S	E	O	NI	N2	N3												
1	A	1	S	S	N	S	N	N	S									Realizar el cambio del aceite lubricante Motorex AW68	Trimestral	Mecánico	
1	A	4	S	N	N	S	S											Realizar la inspección visual del nivel de aceite lubricante con el fin de detectar fugas y verificar que se encuentre en su nivel adecuado	Semanal	Mecánico	
1	A	6	S	N	N	S	S											Realizar la inspección visual del estado de los elementos del sistema en busca de fugas	Semanal	Mecánico	
1	A	9	S	N	N	S	S											Realizar la inspección visual de las lecturas de presión de la bomba de aceite con el fin de detectar anomalías en la bomba de aceite	Semanal	Mecánico	
1	A	10	S	N	N	S	N	S										Realizar la revisión del estado funcional de los elementos del sistema de lubricación (bomba, filtros, aceite)	Semestral	Mecánico	

1	A	11	S	S	N	S	N	N	S				Realizar el reemplazo de filtros de aceite antes de realizar el cambio del aceite lubricante Motorex AW68	Trimestral	Mecánico
1	A	12	S	S	N	S	S						Tomar una muestra de aceite y verificar que el mismo no presente partículas extrañas que contaminen el aceite	Trimestral	Mecánico
1	A	13	S	S			S						Realizar pruebas de termografía utilizando una cámara termográfica para identificar deltas de temperatura en todos los puntos del motor eléctrico	Mensual	Mecánico
1	A	14	S	S			S						Mediante un multímetro realizar mediciones eléctricas al motor eléctrico (voltaje, corriente) en busca de detectar sobrecorrientes o corrientes de sobrecarga que puedan ocasionar un cortocircuito	Mensual	Eléctrico

HOJA DE DECISIÓN RCM II			SISTEMA							Grupo de generación				Sistema N°		Facilitador:	Fecha	Hoja N°
			SUBSISTEMA							Regulador de velocidad				Subsistema N°		Auditor:	Fecha	de
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a la falta de"				Tarea propuesta		Frecuencia inicial	A realizarse por	
							S1	S2	S3									
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4						
1	A	1	S	N	N	S	S							Realizar la inspección visual del nivel de aceite en el sistema verificando que se encuentre en el nivel adecuado	Semanal	Mecánico		
1	A	2	S	S			S							Realizar la inspección visual del estado de los elementos del sistema regulador (cañerías, depósito de aceite) en busca de fugas	Semanal	Mecánico		
1	A	3	S	N	N	S	S							Realizar la inspección visual en las uniones de las cañerías verificando que no existan derrames de aceite, con el fin de detectar anomalías en los empaques	Semanal	Mecánico		
1	A	4	S	N	N	S	S							Inspeccionar visualmente que los gatos hidráulicos alcancen su distancia (altura) máxima de operación, con el fin de detectar síntomas de atascamiento	Semanal	Mecánico		
1	A	5	S	N	N	S	N	S						Realizar la lubricación de las partes móviles de los gatos utilizando el aceite Motorex AW68	Trimestral	Mecánico		
1	A	6	S	N	N	S	S							Realizar la inspección visual en las mangueras (cañerías) de los gatos hidráulicos, verificando que no existan fugas de aire	Mensual	Mecánico		
1	A	8	S	N	N	S	N	S						Realizar la revisión del estado funcional de los elementos del compresor (transmisión, tanque, motor eléctrico, mangueras, accesorios)	Trimestral	Mecánico		

1	B	8	S	N	N	S	N	S					Verificar que las conexiones de aire del sistema no se encuentren flojas o sueltas	Mensual	Mecánico
1	B	9	S	N	N	S	N	S					Verificar que las conexiones eléctricas del motor eléctrico no se encuentren flojas o sueltas	Mensual	Eléctrico
1	B	11	S	N	N	S	S						Realizar la inspección visual de las zapatas verificando que el espesor del recubrimiento no esté muy desgastado, y que no exista contaminación en el sistema	Mensual	Mecánico

ANEXO F: PLANES DE MANTENIMIENTO DE LOS ACTIVOS CRÍTICOS

Sistema	Auxiliares Generales	Código CM-AU	Facilitador Dennis Arévalo
Subsistema	Banco de baterías	Código EBB01	Hoja N° 1
TAREAS DE MANTENIMIENTO PROPUESTAS			
Tareas		Frecuencia en semanas	A realizar por
Análisis de la concentración de ácido e iones en el electrolito y medición del nivel en cada batería utilizando un densímetro.		4	Eléctrico
Realizar tomas de temperatura a las baterías verificando que no estén sobrecalentadas antes de ponerlas en marcha		1	Eléctrico
Realizar el ajuste de los contactos en los bornes de las baterías		4	Eléctrico
Realizar la limpieza de las placas (bornes) utilizando un limpiador anticorrosivo y un cepillo de acero, para eliminar la sulfatación acumulada en ellos		12	Eléctrico
Medir mediante un multímetro que el voltaje de las baterías no disminuya de 132 v y la intensidad de 6 amp.		4	Eléctrico
Inspeccionar visualmente los niveles de electrolito en las baterías luego del tiempo de reposo, posterior a la carga.		4	Eléctrico
Inspeccionar visualmente que las placas y bornes de las baterías no presenten sulfatación en su superficie		4	Eléctrico

Realizar un barrido de las conexiones de las baterías mediante una cámara termográfica identificando los puntos calientes.	4	Eléctrico
Realizar el ajuste de los pernos en las baterías	4	Eléctrico
Cargar las baterías con un tiempo mínimo de ocho horas, dejarlas reposar por al menos una hora antes de ponerlas en marcha.	24	Eléctrico
Verificar que las baterías no se encuentren sobrecalentadas antes de ponerlas en marcha	1	Eléctrico
Realizar la sustitución de la batería bajo los parámetros de las normas IEEE 450 o IEEE 1188	96	Eléctrico

Sistema	Auxiliares Generales	Código CM-AU	Facilitador Dennis Arévalo
Subsistema	Transformador de potencia	Código ETR01	Hoja N° 1
TAREAS DE MANTENIMIENTO PROPUESTAS			
Tareas		Frecuencia en semanas	A realizar por
Colocar una capa de barníz en las láminas del núcleo		12	Eléctrico
Realizar la medida de la resistencia óhmica DC utilizando un microohmetro, para detectar si hay cambios en los valores nominales de resistencia del núcleo a tierra y núcleo al tanque, atribuibles a falsos contactos o espiras cortocircuitadas, comparando los resultados obtenidos con los otorgados por el fabricante u otras pruebas realizadas		4	Eléctrico
Realizar pruebas de funcionamiento simulando las condiciones a las que el mecanismo debería responder para verificar que los actuadores del sistema de control de gases y nivel de aceite (alarma/flotador) funcione correctamente		12	Eléctrico
Inspeccionar visualmente que el detector de nivel opere correctamente		1	Eléctrico
Inspeccionar visualmente que la cuba del transformador no se encuentre perforada, fisurada o presente porosidades por corrosión		4	Eléctrico
Inspeccionar visualmente que el nivel de aceite sea el adecuado verificando que no existan fugas en el sistema		4	Eléctrico
Realizar pruebas de funcionamiento simulando las condiciones a las que el termostato debería accionarse y cerrarse verificando que funcione correctamente		12	Eléctrico
Realizar la revisión del estado de los aisladores de llegada de manera que se identifique roturas o fisuras sobre ellos		4	Eléctrico
Realizar una limpieza a los aisladores utilizando solvente dieléctrico para eliminar la suciedad y otros agentes contaminantes		12	Eléctrico
Realizar pruebas de termografía sobre los cojinetes utilizando una cámara termográfica, para verificar que la temperatura nominal de trabajo sobre el cojinete Gran (DS) sea de 43°C y la temperatura en el cojinete Chic (NDS) sea de 58°C y a la vez identificar deltas de temperatura en todos sus puntos		4	Mecánico
Realizar la sustitución periódica de los sellos de los cojinetes		48	Mecánico
Inspeccionar visualmente las lecturas de voltaje y corriente entregadas por el transformador verificando que sean las adecuadas		1	Eléctrico
Realizar pruebas de termografía utilizando una cámara termográfica para identificar deltas de temperatura en todos los puntos del aislamiento		4	Eléctrico
Realizar pruebas de rigidez dieléctrica aplicando una tensión de C.A. entre dos electrodos sumergidos en aceite a una distancia de 2,54 mm o 2,0 mm con el fin de identificar la presencia de agentes contaminantes (agua, polvo, partículas conductoras) para verificar el estado adecuado		24	Eléctrico
Realizar pruebas de cromatografía de gases (DGA) con el fin de detectar la formación de varios gases combustibles y no combustibles.		12	Eléctrico
Realizar pruebas de termografía utilizando una cámara termográfica para identificar deltas de temperatura en todos los puntos del sistema de radiación de calor		12	Eléctrico
Inspeccionar visualmente el estado de la bomba y las lecturas de presión entregadas por la misma para verificar su correcto funcionamiento		4	Mecánico
Realizar la sustitución periódica de los empaques (retén) de la bomba de aceite		24	Mecánico
Realizar la limpieza general del ventilador y sus elementos para eliminar el polvo, impurezas y agentes extraños, utilizando un guaípe, franela y una brocha		12	Mecánico
Verificar mediante mediciones que el ventilador con el motor se encuentren perfectamente alineados		12	Mecánico
Realizar una limpieza a los contactos del ruptor utilizando solvente dieléctrico para eliminar la suciedad sobre la superficie de los contactos		12	Eléctrico
Revisar mediante pruebas que las relaciones de transformación para todas las posiciones del tap bajo carga estén dentro de los parámetros de funcionamiento. Los valores obtenidos en la prueba de relación de transformación para considerarse satisfactorios deberán estar dentro del 0,5 % de los valores de placa)		48	Eléctrico
Realizar mediciones eléctricas mediante un multímetro a los condensadores para comprobar su correcto funcionamiento		12	Eléctrico
Realizar mediciones eléctricas mediante un multímetro al motor del cambiador para comprobar su correcto funcionamiento		12	Eléctrico
Realizar pruebas de funcionamiento simulando las condiciones a las que la válvula debería responder para verificar que los elementos de actuación (émbolo/resorte) funcionen correctamente		24	Mecánico
Inspeccionar visualmente que no exista fugas de aceite sobre el asiento de la válvula, así como también que no exista acumulación de suciedad en la válvula		4	Mecánico
Realizar la limpieza general de los bushings para eliminar agentes contaminantes como polución y humedad utilizando una brocha, franela o guaípe		24	Eléctrico
Inspeccionar visualmente la superficie de los bushings para verificar si presenta daños físicos, fisuras u oxidación		4	Eléctrico
Revisar que las conexiones eléctricas y las conexiones a tierra en las distintas partes del centro de transformación estén en buen estado		4	Eléctrico
Realizar la inspección visual del tanque en busca de fisuras, huecos, puntos de corrosión, o derrames de aceite		4	Eléctrico

Sistema	Grupo de generación	Código CM-G1	Facilitador Dennis Arévalo
Subsistema	Tablero de control	Código ECU01	Hoja N° 1
TAREAS DE MANTENIMIENTO PROPUESTAS			
	Tareas	Frecuencia en semanas	A realizar por
	Inspeccionar visualmente el estado de los elementos del tablero de control	1	Eléctrico
	Revisar el cableado de alimentación y las conexiones verificando que se encuentren en buen estado	4	Eléctrico
	Revisar el estado y correcto funcionamiento de las perrillas de accionamiento del tablero de control	4	Eléctrico
	Realizar pruebas de termografía utilizando una cámara termográfica para identificar deltas de temperatura en los conductores del tablero de control	4	Eléctrico
	Mediante un multímetro realizar mediciones eléctricas y verificar que el voltaje de ingreso sea el adecuado	4	Eléctrico
	Realizar pruebas de termografía utilizando una cámara termográfica para identificar deltas de temperatura en el breaker del tablero de control	4	Eléctrico
	Realizar pruebas de funcionamiento para verificar el correcto funcionamiento del breaker	12	Eléctrico

--	--	--

Sistema	Grupo de generación	Código CM-G1	Facilitador Dennis Arévalo
Subsistema	Generador	Código EGE01	Hoja N° 1
TAREAS DE MANTENIMIENTO PROPUESTAS			
	Tareas	Frecuencia en semanas	A realizar por
	Realizar pruebas de termografía utilizando una cámara termográfica para identificar deltas de temperatura en todos los puntos de los cojinetes	4	Mecánico
	Realizar el reajuste en todos las tuercas y pernos que requieran del cojinete utilizando un torquimetro de manera que sea aplique el mismo torque a todos	12	Mecánico
	Realizar mediciones eléctricas mediante un multímetro para verificar que la tensión y corriente que llega al varistor sea la adecuada	4	Eléctrico
	Realizar pruebas de termografía utilizando una cámara termográfica para identificar deltas de temperatura en todos los puntos de las bobinas del estator	4	Mecánico
	Primero realizar una inspección visual de los devanados inferiores y superiores en busca de anomalías y determinar el estado de los mismos. Realizar pruebas de resistencia de aislamiento (IR) e índice de polarización (PI) al inicio y final de la tarea, para evaluar el grado de contaminación y determinar la calidad de limpieza que se necesite. Luego realizar la limpieza general, utilizando una franela humedecida con disolvente dieléctrico o un cepillo plástico de cerdas suaves, procediendo a retirar el exceso de suciedad en los devanados, ductos de ventilación, anillos circulares, barra circunferencial y sus conductores y las placas de presión del núcleo. Después pulverizar mediante aire a presión el solvente dieléctrico para llegar a zonas de difícil acceso hasta observar que el estator quede totalmente limpio. Por último, en caso de requerir se aplicará una o dos capas de barniz aislante	48	Mecánico y Eléctrico
	Realizar la calibración en el relé de sincronismo	24	Eléctrico

Realizar una inspección general de todos los elementos del circuito de excitación para comprobar su correcto funcionamiento y estado	4	Eléctrico
Realizar la calibración de los relés diferenciales de sobrecorriente y de falla a tierra	12	Eléctrico
Limpieza general de rotor: Antes y después de la limpieza primero realizar una inspección visual del rotor en busca de anomalías y determinar el estado del mismo. Para la limpieza general, primero se debe retirar las guías de aire interpolares para tener una mejor accesibilidad, luego utilizando una franela humedecida con disolvente dieléctrico o un cepillo plástico de cerdas suaves, se procede a retirar el exceso de suciedad de las guías, y en toda la araña del rotor, los ductos de ventilación y los polos. Después pulverizar mediante aire a presión el solvente dieléctrico para llegar a zonas del entrehierro, las caras laterales y el devanado de amortiguación de los polos, hasta observar que el rotor quede totalmente limpio.	48	Mecánico y Eléctrico
Realizar pruebas de resistencia al aislamiento sólido del estator utilizando un Megger con el fin de diagnosticar el estado del aislamiento, así como a la vez realizar una inspección termográfica al estator para detectar deltas de temperatura en el aislamiento sólido	4	Eléctrico
Realizar pruebas de resistencia de aislamiento al rotor utilizando un Megger con el fin de diagnosticar el estado del aislamiento, así como a la vez realizar una inspección termográfica al rotor para detectar deltas de temperatura en el aislamiento sólido que incrementen la degradación del aislamiento	4	Eléctrico
Inspeccionar visualmente el estado del recinto de escobillas verificando que el recinto no este contaminado y que las escobillas no estén muy cortas	4	Eléctrico
Inspeccionar visualmente las lecturas de temperatura de operación verificando que estén en el rango óptimo de operación	1	Eléctrico
Realizar la revisión de los elementos de excitación como portaescobillas y escobillas para verificar su correcto posicionamiento	4	Eléctrico

Realizar el reajuste de presión de las escobillas	12	Eléctrico
Realizar la limpieza a las tuberías mediante agua a presión para eliminar la acumulación de residuos	12	Mecánico
Realizar el cambio de los filtros	12	Mecánico
Realizar la limpieza del tanque mediante agua a presión para eliminar la acumulación de residuos	12	Mecánico
Realizar la revisión de la posición de los deflectores, el sistema eléctrico y la transmisión mecánica, verificando que funcione correctamente	12	Mecánico
Inspeccionar visualmente el estado de los deflectores verificando que no presenten fisuras, porosidades, o huecos sobre su superficie	4	Mecánico
Realizar la comprobación de la alineación del eje del generador verificando que se encuentre entre las tolerancias adecuadas	24	Mecánico
Realizar pruebas de termografía utilizando una cámara termográfica para identificar deltas de temperatura en todos los puntos de acople generador-eje con el fin de detectar síntomas de desalineación	4	Mecánico
Realizar el reajuste en todas las fijaciones del generador	24	Mecánico

Realizar el balanceo del rotor	96	Mecánico
Realizar análisis de vibraciones al rotor con el fin de detectar síntomas de desequilibrio, así como verificar los límites de vibración permitidos en el sistema	8	Mecánico

Sistema	Grupo de generación	Código CM-G1	Facilitador Dennis Arévalo
Subsistema	Excitatriz	Código EGE05	Hoja N° 1
TAREAS DE MANTENIMIENTO PROPUESTAS			
Tareas		Frecuencia en semanas	A realizar por
Realizar pruebas de termografía utilizando una cámara termográfica para identificar deltas de temperatura en todos los puntos de las bobinas del estator		4	Mecánico
Limpieza general de estator: Antes y después de la limpieza se debe primero realizar una inspección visual de los devanados inferiores y superiores en busca de anomalías y determinar el estado de los mismos. Realizar pruebas de resistencia de aislamiento (IR) e índice de polarización (PI) al inicio y final de la tarea, para evaluar el grado de contaminación y determinar la calidad de limpieza que se necesite. Luego, realizar la limpieza general, utilizando una franela humedecida con disolvente dieléctrico o un cepillo plástico de cerdas suaves, procediendo a retirar el exceso de suciedad en los devanados, ductos de ventilación, anillos circulares, barra circunferencial y sus conductores y las placas de presión del núcleo. Después pulverizar mediante aire a presión el solvente dieléctrico para llegar a zonas de difícil acceso hasta observar que el estator quede totalmente limpio. Por último, en caso de requerir se aplicará una o dos capas de barniz aislante		48	Mecánico y Eléctrico
Realizar pruebas de resistencia de aislamiento utilizando un Megger con el fin de diagnosticar el estado del aislamiento, así como a la vez realizar una inspección termográfica al rotor para detectar deltas de temperatura en todos sus puntos que incrementen la degradación del mismo		4	Eléctrico
Realizar pruebas de termografía al cableado de conexión del devanado de campo utilizando una cámara termográfica para identificar deltas de temperatura de sobrecarga en todos los puntos del cableado		4	Mecánico

Realizar la medición de la longitud de las escobillas mediante un pie de rey verificando que la longitud sea la adecuada	12	Mecánico
Realizar el reajuste de presión de las escobillas	12	Mecánico
Realizar la limpieza del recinto de las escobillas utilizando solvente dieléctrico empañado en una franela procediendo a retirar todo el exceso de polvo de carbón del recinto	24	Eléctrico
Realizar la revisión de los cables estacionarios verificando que se encuentren conectados y en un correcto estado	4	Eléctrico
Realizar la revisión del recinto de portaescobillas verificando que se encuentren conectados y en un correcto estado	4	Eléctrico
Inspeccionar visualmente que los anillos rozantes no presenten erosiones o arcos durante su operación	1	Eléctrico
Inspeccionar visualmente que los anillos rozantes no presenten surcos o hendiduras sobre su superficie	1	Eléctrico
Realizar mediciones eléctricas al transformador de excitación para verificar que la alimentación de energía entregada al sistema de excitación sea la adecuada	12	Eléctrico

Realizar mediciones eléctricas al rectificador para verificar que los parámetros de operación del circuito sea el adecuado	8	Electrónico
Realizar pruebas de termografía al transformador de excitación utilizando una cámara termográfica para identificar deltas de temperatura en todos los puntos del transformador	8	Mecánico
Realizar pruebas de resistencia de aislamiento al bobinado del estator utilizando un Megger con el fin de diagnosticar el estado del aislamiento, así como a la vez realizar una inspección termográfica al estator para detectar deltas de temperatura en todos sus puntos que incrementen la degradación del mismo	4	Eléctrico
Realizar pruebas de termografía utilizando una cámara termográfica para identificar deltas de temperatura en todos los puntos del aislamiento	4	Mecánico
Inspeccionar visualmente las lecturas de temperatura de operación verificando que estén en el rango óptimo de operación	1	Eléctrico
Inspeccionar visualmente que la longitud de las escobillas no se encuentre muy cortas	1	Eléctrico
Realizar el reajuste de los conductores del recinto de las escobillas	12	Eléctrico
Inspeccionar visualmente que las lecturas de tensión entregadas por el transformador de excitación sea la adecuada	1	Eléctrico

Realizar una inspección visual al transformador de excitación para verificar que las conexiones eléctricas no se encuentren sueltas o flojas	1	Eléctrico
Realizar el balanceo del rotor	96	Mecánico
Realizar análisis de vibraciones al rotor con el fin de detectar síntomas de desequilibrio, así como verificar los límites de vibración permitidos en el sistema	8	Mecánico

Sistema	Grupo de generación	Código CM-G1	Facilitador Dennis Arévalo
Subsistema	Turbina	Código MTB01	Hoja N° 1
TAREAS DE MANTENIMIENTO PROPUESTAS			
	Tareas	Frecuencia en semanas	A realizar por
	Verificar el funcionamiento de los instrumentos de medición de los parámetros hidráulicos (presión, caudal), alarmas, dispositivos de seguridad, detectores que puedan generar el paro del sistema	1	Mecánico
	Realizar la reposición del aceite en los patines de empuje hasta su nivel adecuado	12	Mecánico
	Verificar el par de apriete en toda la tornillería de los acoplamientos: eje-turbina, eje-corredor, acoplamiento de la válvula y acoplamiento inyector-colector	48	Mecánico

Inspeccionar visualmente que la posición de apertura de cada inyector-boquilla sea la normal	1	Mecánico
Realizar la limpieza de la aguja y cañerías del sistema de inyección utilizando agua a presión	12	Mecánico
Realizar la revisión del estado funcional de cada punta de boquilla y aguja	8	Mecánico
Realizar la verificación del ajuste de los acoples de los inyectores	8	Mecánico
Inspeccionar visualmente el estado de la superficie de los deflectores para verificar si presenta daños físicos, fisuras u oxidación	4	Mecánico
Realizar la verificación del apriete de las tuercas en el varillaje de anclaje	48	Mecánico
Reemplazar los retenes de los acoples en los ductos de la entrada al servomotor	24	Mecánico
Inspeccionar visualmente que las presiones en los manómetros de los circuitos de aceite sea la adecuada	1	Mecánico
Inspeccionar visualmente el nivel de aceite, el estado de las uniones y juntas en las tuberías, válvulas y accesorios, verificando que no existan derrames de aceite en el sistema	1	Mecánico

Inspeccionar el estado de estanqueidad en las tuberías de aceite, válvulas y accesorios	1	Mecánico
Realizar ensayos de líquidos penetrantes para detectar fisuras o poros sobre la superficie del rodete	48	Mecánico
Realizar la limpieza e inspección de la pintura del rodete, recinto de la turbina y rejillas quiebra chorros	48	Mecánico
Realizar la revisión del estado funcional de la válvula para verificar que no se encuentre atascada u obstruida por cuerpos extraños	12	Mecánico
Realizar el engrase de la válvula reguladora	24	Mecánico
Inspeccionar visualmente que el sistema de inyección no esté obstruido por cuerpos extraños	1	Mecánico
Realizar el reemplazo de la aguja del inyector	96	Mecánico
Realizar la calibración electrónica de carrera de operación de las agujas del inyector y los deflectores	24	Mecánico/Electrónico

Realizar la inspección visual del estado del caracol en busca de fisuras, o grietas	4	Mecánico
---	---	----------

Sistema	Grupo de generación	Código CM-G1	Facilitador Dennis Arévalo
Subsistema	Lubricación de cojinetes	Código MSL01	Hoja N° 1
TAREAS DE MANTENIMIENTO PROPUESTAS			
	Tareas	Frecuencia en semanas	A realizar por
	Realizar el cambio del aceite lubricante Motorex AW68	12	Mecánico
	Realizar la inspección visual del nivel de aceite lubricante con el fin de detectar fugas y verificar que se encuentre en su nivel adecuado	1	Mecánico
	Realizar la inspección visual del estado de los elementos del sistema en busca de fugas	1	Mecánico
	Realizar la inspección visual de las lecturas de presión de la bomba de aceite con el fin de detectar anomalías en la bomba de aceite	1	Mecánico
	Realizar la revisión del estado funcional de los elementos del sistema de lubricación (bomba, filtros, aceite)	24	Mecánico

Realizar el reemplazo de filtros de aceite antes de realizar el cambio del aceite lubricante Motorex AW68	12	Mecánico
Tomar una muestra de aceite y verificar que el mismo no presente partículas extrañas que contaminen el aceite	12	Mecánico
Realizar pruebas de termografía utilizando una cámara termográfica para identificar deltas de temperatura en todos los puntos del motor eléctrico	4	Mecánico
Mediante un multímetro realizar mediciones eléctricas al motor eléctrico (voltaje, corriente) en busca de detectar sobrecorrientes o corrientes de sobrecarga que puedan ocasionar un cortocircuito	4	Eléctrico

Sistema	Grupo de generación	Código CM-G1	Facilitador Dennis Arévalo
Subsistema	Regulador de velocidad	Código MRG01	Hoja N° 1
TAREAS DE MANTENIMIENTO PROPUESTAS			
	Tareas	Frecuencia en semanas	A realizar por
	Realizar la inspección visual del nivel de aceite en el sistema verificando que se encuentre en el nivel adecuado	1	Mecánico
	Realizar la inspección visual del estado de los elementos del sistema regulador (cañerías, depósito de aceite) en busca de fugas	1	Mecánico

Realizar la inspección visual en las uniones de las cañerías verificando que no existan derrames de aceite, con el fin de detectar anomalías en los empaques	1	Mecánico
Inspeccionar visualmente que los gatos hidráulicos alcancen su distancia (altura) máxima de operación, con el fin de detectar síntomas de atascamiento	1	Mecánico
Realizar la lubricación de las partes móviles de los gatos utilizando el aceite Motorex AW68	12	Mecánico
Realizar la inspección visual en las mangueras (cañerías) de los gatos hidráulicos, verificando que no existan fugas de aire	4	Mecánico
Realizar la revisión del estado funcional de los elementos del compresor (transmisión, tanque, motor eléctrico, mangueras, accesorios)	12	Mecánico
Realizar pruebas de termografía utilizando una cámara termográfica para identificar deltas de temperatura en todos los puntos del motor eléctrico	4	Mecánico
Realizar la verificación de la tensión de la banda de transmisión, para evitar la soltura o rotura de la misma, de manera que no presente ruidos anormales durante su operación	12	Mecánico
Realizar la inspección visual del estado del tanque de almacenamiento de aire en busca de fugas, fisuras, huecos entre otras	12	Mecánico
Realizar el cambio de zapatas	48	Mecánico

Realizar la medición del espesor de recubrimiento de las zapatas, verificando que no sea inferior a 2 mm	12	Mecánico
Realizar la limpieza del sistema, utilizando agua y detergente neutro proceder a retirar restos de aceite o cualquiera suciedad impregnada en la superficie	12	Mecánico
Realizar la inspección visual del nivel de aceite en el sistema con el fin de detectar fugas y verificar que se encuentre en su nivel adecuado	1	Mecánico
Realizar la inspección visual del estado funcional de los gatos para verificar que sus partes móviles no se encuentren atascadas, o con el fin de detectar falta de aceite en los cilindros	1	Mecánico



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 02/05/2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR

Nombres – Apellidos: DENNIS OMAR ARÉVALO ARÉVALO

INFORMACIÓN INSTITUCIONAL

Facultad: FACULTAD DE MECÁNICA

Carrera: MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Título a optar: INGENIERO DE MANTENIMIENTO

Ing. César Marcelo Gallegos Londoño MSc.

Director del Trabajo de Titulación

Ing. Sergio Raúl Villacrés Parra MSc.

Asesor del Trabajo de Titulación

