



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO
CENTRADO EN CONFIABILIDAD (MCC) PARA EL GENERADOR DE POTENCIA DE 46
MVA ACOPLADO A TURBINA DE GAS DE UNA PLANTA GENERADORA DE ENERGÍA
ELÉCTRICA UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA, GUATEMALA**

Alexis Bardales Espinoza

Asesorado por el M. Sc. Ing. Jorge Enrique Mejía Morales

Guatemala, julio de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO
CENTRADO EN CONFIABILIDAD (MCC) PARA EL GENERADOR DE POTENCIA DE 46
MVA ACOPLADO A TURBINA DE GAS DE UNA PLANTA GENERADORA DE ENERGÍA
ELÉCTRICA UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ALEXIS BARDALES ESPINOZA

ASESORADO POR EL M.SC. ING. JORGE ENRIQUE MEJÍA MORALES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

GUATEMALA, JULIO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Jorge Luis Pérez Rivera
EXAMINADOR	Ing. Romeo Neftali López Orozco
EXAMINADOR	Ing. Pablo Rodolfo Zúñiga Ramírez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO
CENTRADO EN CONFIABILIDAD (MCC) PARA EL GENERADOR DE POTENCIA DE 46
MVA ACOPLADO A TURBINA DE GAS DE UNA PLANTA GENERADORA DE ENERGÍA
ELÉCTRICA UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA, GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 17 de junio de 2022.

Alexis Bardales Espinoza



EEPFI-PP-0775-2022

Guatemala, 17 de junio de 2022

Director
Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica
Presente.

Estimado Ing. Rivera

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (MCC) PARA EL GENERADOR DE POTENCIA DE 46 MVA ACOPLADO A TURBINA DE GAS DE UNA PLANTA GENERADORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA, GUATEMALA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Gestión del Mantenimiento - Control de efectividad de mantenimiento basado en indicadores (disponibilidad, tiempo entre fallas, criticidad, tiempo medio entre fallas, entre otros)**, presentado por el estudiante **Alexis Bardales Espinoza** carné número **200412304**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Ingeniería De Mantenimiento.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"



Mtro. Jorge Enrique Mejía Morales
Asesor(a)



Rocio Medina Galindo

Mtra. Rocio Carolina Medina Galindo
Coordinador(a) de Maestría

Edgar Darío Álvarez Cotí

Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





EEP-EIME-0775-2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica de la Facultad de Ingenieria de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (MCC) PARA EL GENERADOR DE POTENCIA DE 46 MVA ACOPLADO A TURBINA DE GAS DE UNA PLANTA GENERADORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Alexis Bardales Espinoza**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Director
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica

Guatemala, junio de 2022

LNG.DECANATO.OI.550.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (MCC) PARA EL GENERADOR DE POTENCIA DE 46 MVA ACOPLADO A TURBINA DE GAS DE UNA PLANTA GENERADORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA, GUATEMALA**, presentado por: **Alexis Bardales Espinoza**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, julio de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por haberme permitido alcanzar una más de mis metas.

Mis padres

Arnoldo Bardales y Juana Espinoza, por haberme traído al mundo y guiado a través de él, mi eterno agradecimiento por su apoyo incondicional.

Mi esposa

Susan Canizalez, gracias por los sacrificios y por darme los ánimos necesarios para alcanzar esta meta. Gracias por alegrar mi vida.

Mis hijos

Daniel y Alexis Josué, son mi fortaleza y mi motor de superación, a quienes dedico este logro y que el mismo sirva de ejemplo en sus años futuros.

Mis hermanos

Walter, Marvin y Arelys Bardales Espinoza, por su apoyo y compañía durante mi vida.

Mis abuelos

Roque Bardales (q.e.p.d.) y Amanda Ortíz, por sus sabias enseñanzas y consejos.

Mis tíos

Ana María Bardales y en especial a Verónica Bardales y Héctor Madrid (q.e.p.d.), por abrirme las puertas de su hogar.

Mis primos

Luis y María Madrid por compartir tantos días de risas y desvelos, gracias por su cariño.

Mis amigos

Víctor Barrios, Fernando Vallejo, Daniel Figueroa, Eddy Santos, Melzar de León, Wuilmar Velásquez, Abner Castellanos, William Colindres, Anael Argueta, Esteban Pérez, Pablo Aceituno y Rodolfo Castillo, por estar siempre en las buenas y malas.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser el alma mater que me permitió nutrirme de conocimientos.
Facultad de Ingeniería	Por proporcionarme los conocimientos que me han permitido realizar este trabajo de graduación.
Mis amigos de la Facultad	Por haberme acompañado durante la carrera.
Mi asesor	M. Sc. Ing. Jorge Mejía, por haberme guiado durante el trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	VII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
3.1. Contexto general	9
3.2. Descripción del problema	9
3.3. Formulación del problema	10
3.4. Delimitación del problema	11
3.5. Viabilidad....	11
3.6. Consecuencias	11
4. JUSTIFICACIÓN	13
5. OBJETIVOS	15
5.1. General.....	15
5.2. Específicos.....	15
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	17
7. MARCO TEÓRICO.....	21

7.1.	Mantenimiento centrado en confiabilidad	21
7.1.1	Historia del mantenimiento... ..	21
7.1.1.1.	Primera generación	22
7.1.1.2.	Segunda generación	22
7.1.1.3.	Tercera generación	23
7.1.2.	Características del mantenimiento centrado en confiabilidad.....	23
7.1.2.1.	Objetivos y beneficios del mantenimiento centrado en confiabilidad.....	24
7.1.2.2.	Pasos para implementar el mantenimiento centrado en confiabilidad.....	25
7.1.2.3.	Confiabilidad operacional	25
7.1.2.4.	Mantenibilidad	26
7.1.2.5.	Gestión de los activos	27
7.1.2.6.	Falla funcional	27
7.1.2.7.	Modo de falla.....	27
7.1.2.8.	Efecto de falla.....	29
7.1.2.9.	Consecuencia de falla	30
7.1.2.10.	Análisis de modos y efectos de fallas... ..	31
7.1.2.11.	Análisis de criticidad	31
7.2	Control del mantenimiento	33
7.2.1.	Plan de mantenimiento.....	33
7.2.2.	Orden de trabajo.....	33
7.2.3.	Manual de mantenimiento.....	34
7.2.4.	Indicadores de mantenimiento	34
7.2.4.1	Principales indicadores de la gestión de mantenimiento.....	35
7.2.4.1.1.	Tiempo medio entre	

	fallas	35
7.2.4.1.2.	Tiempo medio para reparación	36
7.2.4.1.3.	Disponibilidad	37
7.2.4.1.4.	Confiabilidad.....	37
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	39
9.	METODOLOGÍA.....	41
9.1	Enfoque	41
9.2	Diseño	41
9.3	Tipo	41
9.4	Alcance del estudio	42
9.5	Variables e indicadores	42
9.6	Fases del estudio	44
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	47
11.	CRONOGRAMA.....	49
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	51
13.	REFERENCIAS.....	53
14.	APÉNDICES.....	59

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema de solución	19
2.	Crecimiento de las expectativas del mantenimiento.....	23
3.	Confiabilidad operacional	26
4.	Modelo de falla	29
5.	Aspectos de la confiabilidad operacional.....	32
6.	Tiempo medio entre fallas	36
7.	Tiempo medio para reparación.....	36
8.	Disponibilidad	37
9.	Cronograma de actividades.....	49

TABLAS

I.	Variables e indicadores	43
II.	Recursos necesarios para la investigación	51

GLOSARIO

ACR	Análisis de causa raíz.
AMFE	Análisis modal de fallas y efectos.
AMM	Administrador del mercado mayorista.
Confiabilidad	Probabilidad de que un equipo cumpla el trabajo por el que fue adquirido.
Criticidad	Nivel de importancia que tiene un equipo dentro del proceso productivo.
Disponibilidad	Porcentaje de tiempo que un equipo se encuentra disponible para ejecutar un trabajo.
DM	Disponibilidad mecánica.
Falla	Evento inesperado que implican el mal funcionamiento o el cese en las funciones de los equipos.
Generador de potencia	Máquina eléctrica rotativa que transforma energía mecánica en energía eléctrica.

Indicador	Unidades de medición que permite evaluar el rendimiento de los procesos
Mantenibilidad	Es la capacidad de un elemento, bajo determinadas condiciones de uso, para ser conservado o restaurado.
Matriz energética	Es una representación cuantitativa de la totalidad de energía que utiliza un país e indica las fuentes de las que procede cada tipo de energía.
MCC	Mantenimiento centrado en confiabilidad.
Modo de falla	Causa de falla o posible manera en la que un equipo puede fallar.
MTBF	Tiempo medio entre fallas, por sus siglas en inglés.
MTTR	Tiempo medio para reparación, por sus siglas en inglés.
MVA	Mega voltio ampere.
Paros no programados	Eventos imprevistos que obligan detener un equipo para resolver un problema.

Planta térmica

Instalación empleada en la generación de energía eléctrica a partir de la energía liberada por combustibles fósiles como el diésel.

Repotenciar

Proceso para mejorar las funcionalidades y desempeño de los equipos.

Stock

Conjunto de productos que se encuentran almacenados.

1. INTRODUCCIÓN

El presente diseño de investigación se desarrolla con base en una sistematización de un plan de mantenimiento eléctrico centrado en confiabilidad al generador de potencia de la unidad de estudio, el cual consta de mejorar las técnicas de mantenimiento, enfocándose en los modos de fallas del generador de potencia que representen paros no programados del equipo y que afecten directamente a la producción y venta de energía eléctrica e, indicadores de mantenimiento, como lo son los de disponibilidad, confiabilidad, indicador de tiempo medio entre fallas e indicador de tiempo medio de reparación, así como la determinación de los materiales y repuestos críticos con los que debe contar la bodega de materiales y repuestos de una planta generadora de energía eléctrica, ubicada en el departamento de Escuintla, Guatemala.

El problema actual de la planta generadora de energía eléctrica objeto de estudio es que no cuenta con planes de mantenimiento para el generador de potencia de 46 MVA y las actividades de mantenimiento son principalmente de carácter reactivo, ya que no existe un programa de mantenimiento adecuado para dicho equipo, ni estudio o análisis de fallas de los componentes del generador que nos permita determinar la causa raíz del problema, el modo de falla y los efectos de la misma antes que ocurre dicha falla, sino que se utilizan rutinas mantenimiento obsoletas, enfocadas principalmente al mantenimiento correctivo del generador de potencia.

La importancia de realizar el trabajo de investigación es que permitirá contar con un plan de mantenimiento basado en confiabilidad derivado de un análisis de modos de fallas y efectos de los elementos que componen al generador de

potencia de 46 MVA, evitando paros no programados del generador que se transformen en pérdidas económicas por no generación de energía eléctrica, sanciones de parte de los entes administradores del sector energético y sobrecostos de mantenimiento.

Una de las herramientas principales para obtención de los resultados es el análisis modal de fallas y efectos (AMFE), debido a que ofrece un enfoque analítico de los modos de falla potenciales del generador de potencia y las causas asociadas a estas, priorizando las fallas de acuerdo a su nivel de criticidad, lo cual permitirá crear una estrategia de mantenimiento para mejorar los indicadores de disponibilidad y confiabilidad del equipo; que se traducirá en ganancias económicas por mejora de dichos indicadores y ahorros por reducción de costos de mantenimientos.

El enfoque del trabajo de investigación es mixto, ya que se realiza un estudio cuantitativo en cuanto a los indicadores de la gestión de mantenimiento, mientras que el estudio de los niveles de criticidad de los elementos del generador es cualitativo y, como se necesita el control de ambos para la estandarización, el enfoque es mixto.

El trabajo de investigación es factible ya que se realizará con recursos propios del estudiante de maestría y apoyo de financiamiento por parte de la empresa de estudio, teniendo en cuenta que, al analizar la factibilidad del estudio se consideran los recursos humanos, materiales, físicos, tecnológicos y equipos, así como el acceso a información, permisos e infraestructura, entre otros, para su desarrollo.

El esquema que se ensayará en la solución constará de cinco fases, iniciando con la revisión documental para dar un contexto de los antecedentes

del problema y marco teórico. En la segunda fase se realizará un análisis de la información recopilada para posteriormente generar una matriz de criticidad de los elementos del generador de potencia. Para la tercera fase se clasificarán los elementos del generador de acuerdo con su nivel de criticidad, marcando la ruta crítica de repuestos del equipo. En la cuarta fase se elaborarán los documentos de control para la gestión de mantenimientos y, en la parte final se realizará una evaluación de resultados verificando la variación de los indicadores de la gestión de mantenimiento.

A continuación, se detalla un resumen de los capítulos que conformarán el informe final:

En el primer capítulo se desarrolla el marco teórico, en donde se realizará una revisión de la teoría relacionada con el análisis y clasificación de fallas del generador de potencia y títulos relacionados con esta.

En el segundo capítulo se genera el desarrollo de la investigación. Se dará a conocer la situación actual de la empresa referente a mantenimientos e indicadores de la gestión de mantenimiento, además se clasificará la criticidad de cada uno de los elementos del generador de potencia para clasificar los repuestos críticos con que debe contar la bodega y se desarrollarán los procedimientos necesarios para contar con un mínimo de estos en bodega.

El tercer capítulo será la presentación de resultados, el cual servirá de base para el análisis y posterior aplicación del plan de mantenimiento.

Para finalizar, en el cuarto capítulo se presenta una discusión de resultados con respecto a los datos obtenidos de la implementación del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad al generador de potencia.

2. ANTECEDENTES

Para el diseño de un plan de mantenimiento eléctrico basado en confiabilidad es importante el análisis de estudios que utilicen esta metodología, con el objeto de obtener información relevante en cuanto a las herramientas, técnicas o enfoques utilizados, que amplíen los conocimientos a aplicar en la presente investigación.

En la tesis de maestría titulada *Sistematización del modelo de mantenimiento de una planta de corte y doble, con enfoque a indicadores de disponibilidad con base a la herramienta mantenimiento centrado en la confiabilidad (mcc)*, se define que para aplicar “mantenimiento centrado en la confiabilidad, se realiza un análisis por componente de la máquina, del tiempo de vida útil del componente, determinado por el período que se presentaron fallas, información obtenida del historial de fallas” (Fuentes, 2018, p. 10).

Lo anterior aporta a la presente investigación las bases para realizar el análisis de cada elemento del generador de potencia, determinando el grado de criticidad de cada uno de acuerdo al histórico de fallas del equipo.

Asimismo, como exponen en el artículo *Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos*, el mantenimiento centrado en confiabilidad “es utilizado con frecuencia no solo para identificar tareas de mantenimiento, también se utiliza como marco de referencia para analizar el riesgo en equipos, clasificar por importancia los componentes significativos para el mantenimiento” (Campos, Tolentino, Toledo y Tolentino, 2018, p. 52).

Lo descrito anteriormente aporta a la investigación en que, es posible analizar y clasificar el nivel de criticidad de los elementos del generador de potencia de 46 MVA por medio del análisis modal de causas y efectos.

Como complemento, en la tesis de maestría titulada *Adaptación de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) en un sistema crítico de aire acondicionado de la Clínica Universitaria Bolivariana (CUB)*, podemos apreciar que entre los beneficios de aplicar mantenimiento basado en confiabilidad a un equipo se encuentran mejorar el rendimiento operacional de los activos, optimizar los costos de mantenimiento, permite extender la vida útil de los sistemas, aumenta la confiabilidad de los equipos e identifica y elimina las fallas crónicas (Gandur, 2017). Esto aporta a la investigación algunos beneficios que se alcanzarán al aplicar el análisis metodológico del mantenimiento centrado en confiabilidad en el generador de potencia 46 MVA.

Además, en la tesis de maestría titulada *Análisis de criticidad de equipos para el mejoramiento del sistema de gestión del mantenimiento en la empresa de aluminio CEDAL*, se indica que los modos de fallas de un elemento son todas las posibles formas que tiene dicho elemento de fallar, por lo tanto, puede tener uno o varios modos de falla y es el método más efectivo de análisis de confiabilidad (Tandalla, 2017). Esto aporta al trabajo de investigación la importancia de realizar la matriz de modos de fallas de los elementos del generador de potencia.

Complementado lo anterior, en la tesis de maestría titulada *Diseño de la estrategia de mantenimiento basada en el riesgo para incrementar los indicadores de mantenimiento de la Asociación Textil AETI de la ciudad de Ilo*, se indica que:

La mejor manera de mostrar la conexión y la distinción entre estado de fallas y los eventos que ocasionan estos es el de listar primero los estados de falla, luego registrar los modos de falla que pueden llevar a este estado. (Medina, 2021, p. 90)

Esto aporta al trabajo de investigación una forma efectiva de realizar la matriz de modos de fallas de los elementos del generador de potencia.

Finalmente, en la tesis de maestría titulada *Sistematización del modelo de mantenimiento de una planta de corte y doble, con enfoque a indicadores de disponibilidad con base a la herramienta mantenimiento centrado en la confiabilidad (mcc)*, se indica que “los principales indicadores para medir el desempeño de la gestión de mantenimiento son: tiempo medio entre fallas, tiempo medio de reparación y disponibilidad del equipo” (Fuentes, 2018, p. 27). Esto aporta al trabajo de investigación cuales son los indicadores a medir que permitan realizar una comparación entre la metodología anterior y la metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Contexto general

La planta generadora de energía eléctrica objeto de estudio pertenece a una empresa nacional que cuenta con diez plantas generadoras de energía eléctrica a lo largo del país, siendo nueve plantas hidráulicas y una planta térmica, las cuales poseen un plan de mantenimiento completo y bien definido para las unidades hidráulicas, sin embargo, en la planta térmica, existen unidades generadoras que no poseen un plan de mantenimiento adecuado y acorde al tiempo de operación que poseen dichas unidades, provocando que las mismas presenten paros no programados en su despacho diario de generación, derivado principalmente de fallas ocurridas en el generador de potencia, los cuales conllevan a sanciones económicas y operativas de parte de AMM.

3.2. Descripción del problema

En la planta generadora de energía eléctrica objeto de estudio, no se cuenta con planes de mantenimiento para el generador de potencia de 46 MVA y las actividades de mantenimiento son principalmente de carácter reactivo y en una mínima parte poseen tintes preventivos, ya que no existe un programa de mantenimiento adecuado para dicho equipo, ni estudio o análisis de fallas de los componentes del generador que nos permita determinar la causa raíz del problema, el modo de falla y los efectos de la misma antes que ocurre dicha falla.

La problemática radica en la utilización de rutinas de mantenimiento obsoletas, enfocadas principalmente al mantenimiento correctivo del generador

de potencia, dejando de lado la implementación de técnicas de mantenimiento que mezclen un análisis modal de fallas y efectos u otra técnica que permita la identificación de la falla y sus consecuencias.

Otro factor importante que influye en agravar el problema cuando se presenta una falla en el generador de potencia es que no se cuenta con un *stock* de repuestos en bodega derivado de un análisis de criticidad de estos y dependiendo del tipo de falla, adquirir el repuesto conlleva tiempos prolongados debido a que el mismo es necesario importarlo del extranjero.

3.3. Formulación del problema

Esto lleva a plantear la pregunta principal de este estudio: ¿Cuáles son los pasos por seguir para el diseño de un plan de mantenimiento eléctrico centrado en confiabilidad (MCC) para el generador de potencia de 46 MVA acoplado a turbina de gas de una planta generadora de energía eléctrica ubicada en el departamento de Escuintla, Guatemala? Para responder a esta interrogante se deberán contestar las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Cuáles son los elementos críticos del generador de potencia de 46 MVA de la unidad de estudio a los cuales se implementará la metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC)?
- ¿Cuáles serán los procedimientos por seguir para mantener una cantidad adecuada de repuestos críticos en bodega que permitan mejorar los indicadores de mantenimiento en la resolución de problemas?

- ¿Qué instrumentos e indicadores permitirán cuantificar el avance en la gestión de mantenimiento, así como conservar el control de costos de mantenimiento?
- ¿Cuáles son los beneficios de elaborar un plan de mantenimiento eléctrico centrado en confiabilidad (MCC) para el generador de potencia de 46 MVA?

3.4. Delimitación del problema

La investigación se realizará en una planta generadora de energía eléctrica ubicada en el departamento de Escuintla y se orientará en la elaboración del plan de mantenimiento eléctrico preventivo y predictivo al generador de potencia de 46 MVA, utilizando técnicas de análisis de modos de fallas y efectos, listando repuestos críticos con que debe contar la bodega de repuestos, sin enfocarse en alcanzar metas de reducción de costos operativos. El tiempo de ejecución será de marzo 2022 a julio 2022.

3.5. Viabilidad

La investigación es viable debido a que se cuenta con los recursos económicos, equipos, materiales y acceso de información técnica y operativa, así como la autorización para la elaboración de la misma.

3.6. Consecuencias

- De realizarse la investigación

Se contará con un plan de mantenimiento basado en confiabilidad derivado de un análisis de modos de fallas y efectos de los elementos que componen al

generador de potencia de 46 MVA, evitando paros no programados del generador que se transformen en pérdidas económicas por no generación de energía eléctrica, sanciones de parte de AMM y sobrecostos de mantenimiento.

- De no realizarse la investigación

Se continuarán realizando rutinas de mantenimiento obsoletas, corriendo el riesgo de que el equipo presente una falla franca o grave que lo inhabilite por tiempo indefinido, repercutiendo en los ingresos económicos de la empresa.

4. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de graduación se ubica en la línea de investigación de administración del mantenimiento de la Maestría en Ingeniería de Mantenimiento de la Universidad de San Carlos de Guatemala, enfocándose en el análisis histórico de fallas del generador de potencia con el fin de realizar un plan de mantenimiento eléctrico basándose en la metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC), enlazando el análisis modal de causas y efectos con los indicadores de gestión del mantenimiento.

La planta generadora de energía eléctrica en donde se realizará el estudio pertenece a una empresa estatal con un enfoque social, ya que todas sus plantas generadoras tienen un impacto alto en la matriz energética del país y que la generación de energía eléctrica provenientes de dichas plantas es utilizada como carga base en el despacho energético en tiempo real, por lo tanto es de suma importancia que no existan paros no programados en los equipos generadores, ya que esto conlleva a un aumento de la tarifa que paga el usuario final.

En la planta objeto de estudio se considera de carácter prioritario contar con un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC), garantizando que los equipos analizados con la metodología se encuentren en óptimas condiciones de funcionamiento y a la vez mejorar los índices de disponibilidad y confiabilidad.

El mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC) es una metodología sistemática para diseñar planes de mantenimiento que eleven la confiabilidad operacional de los equipos con un mínimo de costo y riesgo, mediante acciones

justificadas de forma técnica y económica, definiendo la criticidad de los elementos del generador eléctrico, así como las estrategias a seguir para realizar un mantenimiento de clase mundial.

Es importante resaltar que la metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC) fue seleccionada para realizar este plan de mantenimiento, debido a que la planta generadora de energía eléctrica dispone de un histórico de fallas del generador eléctrico a partir del 2012.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Diseñar un plan de mantenimiento eléctrico aplicando la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC) para el generador de potencia de 46 MVA acoplado a turbina de gas de una planta generadora de energía eléctrica ubicada en el departamento de Escuintla, Guatemala.

5.2. Específicos

- Identificar los elementos críticos del generador de potencia de 46 MVA de la unidad de estudio a los cuales se implementará la metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC).
- Describir los procedimientos a seguir para mantener una cantidad adecuada de repuestos críticos en bodega que permitan mejorar los indicadores de mantenimiento en la resolución de problemas.
- Elaborar los instrumentos e indicadores que permitirán cuantificar el avance en la gestión de mantenimiento, así como conservar el control de costos de mantenimiento.
- Evaluar los beneficios de elaborar un plan de mantenimiento eléctrico centrado en confiabilidad (MCC) para el generador de potencia de 46 MVA.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

La necesidad primordial por cubrir en la presente investigación es la elaboración de un plan de mantenimiento eléctrico centrado en confiabilidad a un generador de potencia de 46 MVA acoplado a turbina de gas, ya que la falta de dicho plan conlleva a paros no programados del equipo, quedando sujeta la planta generadora de energía eléctrica a sanciones de parte del ente regulador.

Para realizar el plan de mantenimiento centrado en confiabilidad se deben cumplir los objetivos definidos en la presente investigación, así de esta forma, se logrará dar solución a la problemática de acuerdo al siguiente esquema:

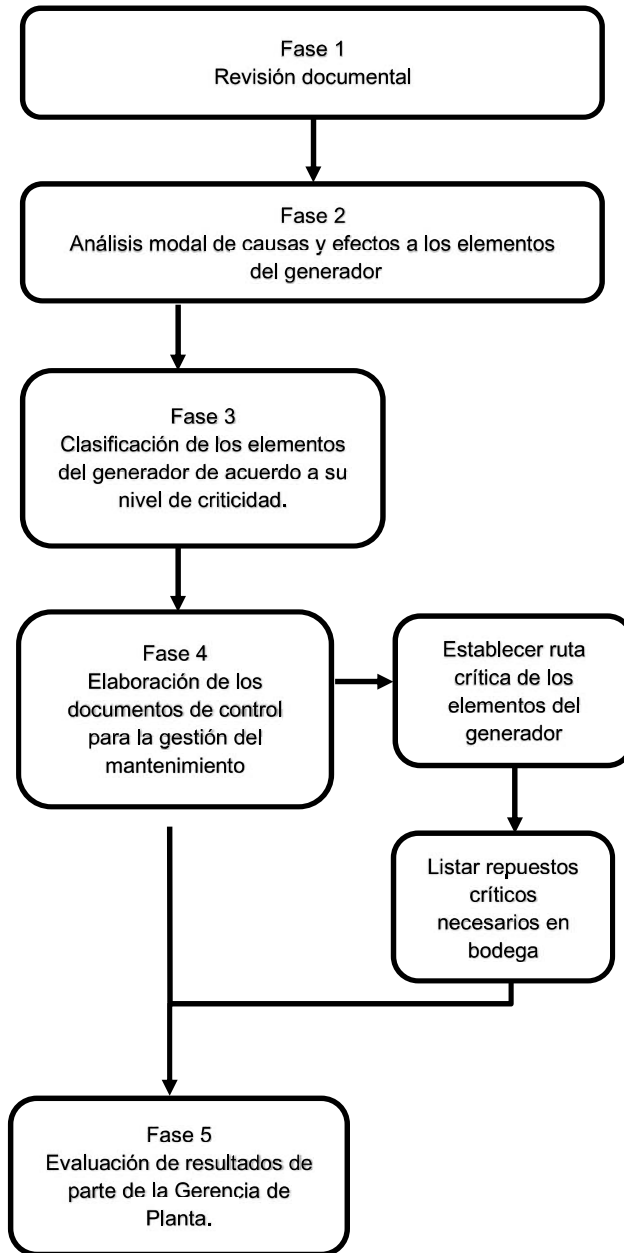
- Fase 1. Revisión documental: se efectuará la recopilación de datos de fallas del equipo de los años 2015 a marzo 2022 proporcionados por la empresa determinando los elementos del generador de potencia con mayor índice de falla.
- Fase 2. Análisis: se efectuará un análisis modal de causas y efectos a los elementos del generador de potencia.
- Fase 3. Clasificación: de los datos extraídos del análisis modal de causas y efectos se efectuará la clasificación de los elementos críticos del generador de potencia de acuerdo a la cantidad de modos de fallas que presenten.
- Fase 4. Documentos de control: se elaborarán los documentos de control que permitirán registrar el avance en la gestión de mantenimiento, así

como los costos de mantenimiento, indicadores de la gestión y listado de repuestos críticos en bodega.

- Fase 5. Evaluación de resultados: se evaluará por parte de la gerencia de planta el plan de mantenimiento propuesto, así como los documentos que permitirán llevar un control de la gestión de mantenimiento e indicadores, además del *stock* de repuestos críticos en bodega.

El trabajo de investigación tiene validez porque permitirá evaluar la gestión de mantenimiento referente al avance de las actividades de mantenimiento, tiempos de ejecución del mantenimiento, utilización de insumos y repuestos, personal involucrado en las actividades, inventario de repuestos críticos, capacidad de respuesta del personal de mantenimiento ante una falla potencial o falla franca y, análisis de la información obtenida para crear una política de mejora continua dentro del departamento de mantenimiento que garanticen la conservación operativa de los equipos de producción.

Figura 1. Esquema de solución



Fuente: elaboración propia, realizado con Word.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Mantenimiento centrado en confiabilidad

El proceso para la gestión del mantenimiento:

Está enfocado en asegurar que los equipos de trabajo o sistemas que lo conforman permitan realizar las tareas que los usuarios deseen lograr en un contexto operacional. Para ello, es necesario la regulación y mejoramiento de la confiabilidad operacional de un sistema, que trabaje en condiciones definidas en función de la criticidad de los activos, corresponda a dichos sistemas. Esta estrategia se puede llevar a cabo mediante la implementación de herramientas como son: la instauración de los niveles mínimos para la seguridad del mantenimiento, la confiabilidad, los efectos que generan los modos de fallos en los activos, el medio que lo rodea (ambiente), las operaciones, su disponibilidad, rentabilidad, matriz de criticidad y árboles de fallas. (Trujillo, 2018, p. 17)

7.1.1 Historia del mantenimiento

Desde la aparición de las primeras herramientas, ha sido necesario mantener en buen estado los equipos. Barreda (2015) menciona que las fallas provocadas en las máquinas eran causadas por llevar la misma hasta el límite la capacidad de trabajo de estas, provocando que ya no fueran capaces de hacer su función, de manera que el mantenimiento era aplicado cuando ya era extremadamente difícil recuperarlas. Este tipo de mantenimiento se conoce como Mantenimiento ante fallo y esta clase de falla sigue apareciendo hasta el

día hoy, aunque ciertamente con una frecuencia menor debido a la evolución del mantenimiento.

Tomando en cuenta la evolución del mantenimiento se puede mencionar que la historia y evolución del mantenimiento se traza en tres generaciones.

7.1.1.1. Primera generación

La primera generación del mantenimiento, según Vega (2009) se extiende hasta la Segunda Guerra Mundial y en este período la industria no se encontraba muy mecanizada, por lo tanto, los paros no programados no impactaban negativamente en la producción, ya que los equipos de esa época se caracterizaban por ser sencillos y se diseñaban para una función específica, lo que los hacía confiables y sencillos de reparar. En la primera generación los equipos solo se reparaban cuando se dañaban en su totalidad.

7.1.1.2. Segunda generación

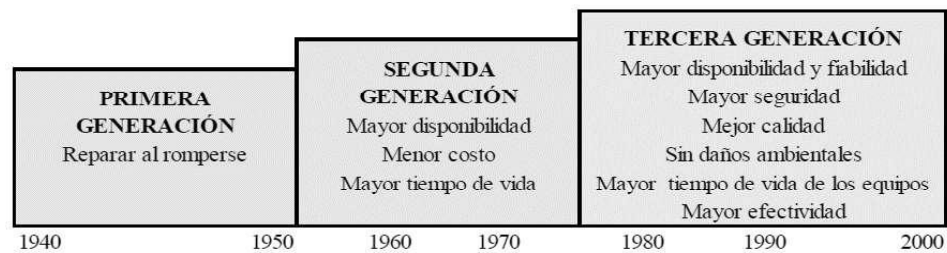
Para la segunda generación del mantenimiento, Soto (2018) indicó que la misma se dio posterior a la Segunda Guerra Mundial, ya que fue necesario automatizar los equipos derivado de la disminución de la mano de obra calificada, por lo tanto, los equipos de producción eran más autónomos y los paros no programados influían directamente en la producción. En los años 50 surge el concepto de mantenimiento programado, empezando a planificar las diferentes actividades referentes al tema de mantenimiento.

7.1.1.3. Tercera generación

La tercera generación del mantenimiento, según Cabrera y Tapia (2019) inicia en los años 70 debido al aumento de requerimientos en la industria, que conllevó a un mayor equipamiento y complejidad de los sistemas de producción, provocando que el tiempo de paro de los equipos sea una variable crítica, afectan la capacidad de producción y los costos de producción aumentan, afectando en gran medida al cliente. El aumento de la mecanización y automatización de los equipos y sistemas hizo que la disponibilidad y confiabilidad fueran indicadores necesarios en la gestión de mantenimiento.

A lo largo de los años, el mantenimiento fue modificando sus expectativas marcando un crecimiento en cada cambio de generación.

Figura 2. Crecimiento de las expectativas del mantenimiento



Fuente: Moubray (2004, p. 3)

7.1.2. Características del mantenimiento centrado en confiabilidad

El objetivo primordial del mantenimiento es conservar el estado normal u original de los equipos para que estos realicen las actividades asignadas en forma continua, tomando en cuenta las condiciones de operación a las que son sometidos.

Dentro de las características principales del mantenimiento centrado en confiabilidad encontramos que la metodología considera la fiabilidad propia del equipo, asegura que el equipo desempeñe su función de forma continua, mantiene la capacidad productiva sin sacrificar calidad, toma en cuenta las condiciones de operación y la forma de uso. Además, es necesario indicar que si se desea aumentar la capacidad del equipo, mejorar el rendimiento de este, mejorar la calidad de producción o aumentar la confiabilidad, será primordial realizar un rediseño del equipo (Hung, 2008).

7.1.2.1. Objetivos y beneficios del mantenimiento centrado en confiabilidad

El objetivo primordial de utilizar la metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad es aumentar la confiabilidad de los sistemas o equipos que lo conforman, disminuyendo los paros no programados, evitando que esto afecte las metas productivas (Cano, 2017).

Además, en el mismo informe de investigación, Cano (2017) indica que, al ser aplicado correctamente la metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad se producen los siguientes beneficios: detección temprana de fallas, mejoran los rendimientos operativos, aumenta el control de los costos derivados del mantenimiento, se aprovecha mejor el tiempo de vida útil de los equipos y aumenta la seguridad y protección del entorno que rodea a los equipos.

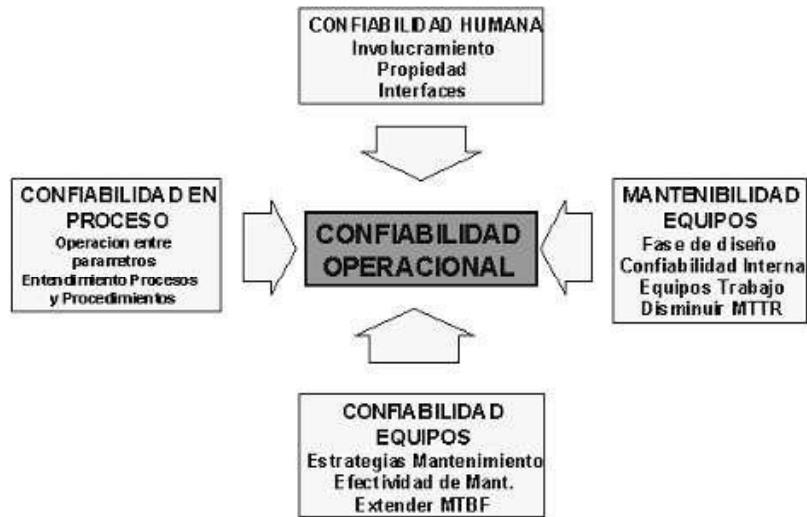
7.1.2.2. Pasos para implementar el mantenimiento centrado en confiabilidad

Para realizar una implementación de mantenimiento centrado en confiabilidad es necesario alcanzar 8 pasos primordiales y según Maya (2018) el primer paso es listar los equipos a los que se les realizará la metodología, esto para conocer el inventario disponible, el segundo paso consiste en realizar un listado de funciones y especializaciones de cada equipo, el tercer paso es la determinación de las fallas potenciales de los equipos, el cuarto paso es la determinación de los modos de falla, el quinto paso es realizar un análisis de criticidad derivado de las fallas, el sexto paso consiste en determinar las medidas preventivas para evitar el fallo o minimizar los efectos, el séptimo paso es agrupar las medidas preventivas de acuerdo al tipo de prevención y el octavo paso consiste en poner en funcionamiento las medidas preventivas planteada.

7.1.2.3. Confiabilidad operacional

Aguinaga (2007) define la confiabilidad operacional como los distintos procesos de mejora continua, los cuales van incorporando sistemáticamente herramientas de diagnóstico avanzado, nueva tecnología y métodos de análisis para la optimización de la gestión, planificación, ejecución y control de la producción. Cabe mencionar que para que exista un sistema de confiabilidad operacional es necesario realizar los siguientes estudios de confiabilidad: humana, de los procesos, mantenibilidad y de los equipos.

Figura 3. **Confiabilidad operacional**



Fuente: Aguinaga (2007, p. 3)

En el mismo trabajo de investigación Aguinaga (2007) menciona que la confiabilidad operacional integra métodos de análisis como los son: análisis de causa raíz (RCM2), diagrama de Ishikawa (diagrama de pescado), diagrama de Pareto, análisis de árbol de fallos, análisis modal de falla y efecto (AMFE) y el mantenimiento centrado en confiabilidad.

7.1.2.4. Mantenibilidad

Marchena (2018) define a la mantenibilidad como la característica de los equipos o sistemas asociada a la capacidad de recuperarse para el servicio, después de realizado un mantenimiento bajo condiciones determinadas y con los procedimientos adecuados, restableciendo la función operativa del equipo a un estado como si fuera nuevo. En la intervención anterior se producen gastos necesarios cuyo valor dependerá de la complejidad del mantenimiento realizado.

7.1.2.5. Gestión de los activos

A la gestión de activos dentro del marco conceptual del mantenimiento, Olmedo (2019) la define como las acciones que realiza la empresa, teniendo como fin principal el repotenciar el desempeño y, por ende, aumentar los beneficios propios de sus activos minimizando los riesgos intrínsecos, costos y tiempo destinado al mantenimiento durante el tiempo operacional de los equipos. Lo anterior se realiza teniendo como misión alcanzar las metas y objetivos propuestos en el plan estratégico de la empresa por medio un proceso establecido para asegurar la vida útil de los activos, en un tiempo a mediano y largo plazo.

7.1.2.6. Falla funcional

A una falla funcional, Cano (2017) la describe como la falta de capacidad que tiene un equipo para cumplir con las funciones por las cuales se ha adquirido. Las fallas funcionales solamente describen la incapacidad que el equipo cumplía de la función deseada, pero no se amplía más que eso, ya que no explica ni detalla las causas del porqué ocurrió la falla.

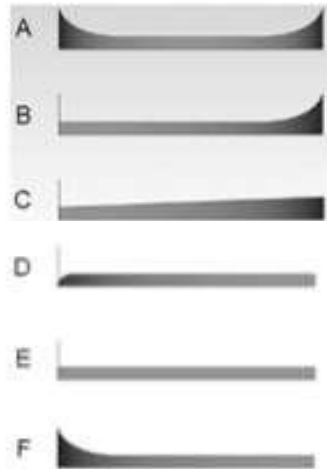
7.1.2.7. Modo de falla

En cuanto a los modos o patrones de falla, según comenta Poveda y Lozano (2012), que las causas de las fallas deben de considerar los patrones que tiene relación directa con la edad, la aleatoriedad de la falla y la mortalidad infantil de los elementos instalados. Agregan que estas consideraciones se pueden describir en 6 tipos de patrones de falla distintos.

Poveda y Lozano (2012) también indican que los primeros patrones de falla están relacionados con elementos sencillos, simples o a equipos con una complejidad alta que mantiene contacto directo con el producto. Estos tres patrones o modos de falla se relacionan con la fatiga de los elementos, la corrosión, abrasión y evaporación, además que dichos modos de falla se producen por fallas cíclicas donde existe una zona de desgaste posterior a un tiempo determinado.

Estos mismos autores comentan que para los tres últimos patrones de falla, el análisis corresponde a equipos neumáticos, hidráulicos y electrónicos, los cuales presentan una complejidad alta. Agregan que estos modos de falla están asociados a fallas aleatorias, en las cuales se desconoce el tiempo de vida útil de cada elemento. La complejidad de las fallas aleatorias aumenta drásticamente ya que estas pueden ser súbitas o progresivas. Si la falla es súbita no es posible prevenirla y se debe de buscar el medio para mitigarla, sin embargo, si la falla es aleatoria o progresiva se pueden tomar acciones para monitorear las condiciones de operación y definiendo un periodo de tiempo, tratar el modo de falla que se observe.

Figura 4. **Modelo de falla**



Fuente: Poveda, A. y Lozano, M. (2012, p. 4)

7.1.2.8. **Efecto de falla**

Para los efectos de falla dentro de la implementación de la metodología, Montoya (2017) comenta que, para cada uno de los modos de falla existentes se deben identificar los efectos de falla producidos, donde se indicará lo ocurrido cuando la falla se suscita y se deben evaluar sus consecuencias para la integridad del equipo o sistema, además, antes de realizar la clasificación de cada modo de falla es sumamente importante identificar y responder las siguientes interrogantes:

- ¿La falla presentó evidencia antes de suscitarse?
- ¿Durante la falla se mostró alguna alarma?
- ¿Se puede detectar la falla?
- ¿Con qué velocidad desapareció la falla?

- ¿La falla pone en riesgo la seguridad de las personas o del equipo?
- ¿Existe riesgos de explosión o electrocución para el personal?
- ¿La falla implica algún riesgo para la empresa o el prestigio de esta?
- ¿Existen consecuencias ambientales?

Agrega Montoya (2017) que se debe tomar en cuenta que llevar a la práctica lo anterior implica mucha investigación y recolección de información, cobrando relevancia el que se tenga un histórico de eventos con sus respectivas atenciones.

7.1.2.9. Consecuencia de falla

Cubillas (2020) indica que la consecuencia de una falla se puede categorizar de acuerdo a los modos de fallas evidentes contra los modos de falla ocultos, pero también dichas consecuencias deberán diferenciarse en modo de fallas y fallas múltiples, ya que las mismas provocan consecuencias que tienen relación con el medio ambiente y a la seguridad de los operarios. Se debe considerar que los modos de falla pueden repercutir en los ingresos de la empresa y se manifiestan como consecuencias operacionales y no operacionales.

En el mismo trabajo de investigación, Cubillas (2020) define que las consecuencias de las fallas ocultas no tienen relación directa con la organización, pero si pueden traer consecuencias graves, mientras que las consecuencias en lo relacionado a la seguridad y el medio ambiente, generan las condiciones ideales para que se propicien lesiones graves o, incluso casos de fatalidad entre los operadores de las máquinas o equipos, además de tener

consecuencias medio ambientales importantes si no se acatan las normativas vigentes tanto municipales, regionales o nacionales relacionadas con el ambiente y las consecuencias operacionales son detectadas siempre que afectan de alguna manera la producción, caso distinto a las consecuencias no operacionales, las cuales no tienen incidencia ni en el aspecto de seguridad como tampoco en la producción, generándose solo gastos relacionados con el costo por la reparación directa del equipo.

7.1.2.10. Análisis de modos y efectos de fallas

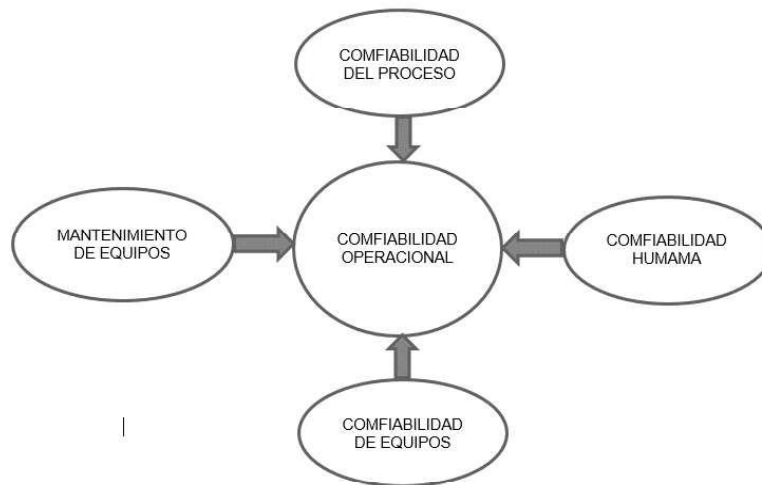
El análisis de modos y efectos de fallas, Martínez (2004), lo define como una técnica analítica y que tiene como objetivo identificar y evaluar los modos potenciales de falla, sus causas y efectos para corregir las mismas por medio de acciones específicas o mecanismos de control. Este análisis es un proceso sistemático para la identificación de las fallas potenciales provenientes del diseño del equipo o de un proceso, antes de que estas ocurran, buscando eliminarlas o por lo menos minimizarlas, incluyendo los riesgos asociados a las mismas.

7.1.2.11. Análisis de criticidad

Al utilizar la metodología del análisis de criticidad, Gandur (2017) indica que se puede establecer un orden jerárquico o las distintas bondades de los procesos, sistemas y equipos, ya que se crea un orden jerárquico que facilita tomar decisiones, volviéndose estas acertadas y efectivas, ya que esfuerzos y recursos son direccionados hacia los sectores o áreas en donde se necesite mejorar la confiabilidad operacional, considerando siempre la situación actual. Para mejorar la confiabilidad de un sistema y sus elementos es necesario analizar cuatro variables fundamentales como lo son: confiabilidad del proceso,

humana, de los equipos y los mantenimientos de los equipos del sistema.

Figura 5. **Aspectos de la confiabilidad operacional**



Fuente: elaboración propia, realizado con Word

Además, en el trabajo de investigación de Alfonso et al. (2017) se comentan cuáles son las razones para realizar un análisis de criticidad, las que están ligadas principalmente con temas de costos de mantenimiento y operación, tiempo de reparación y frecuencia de las fallas, seguridad y medio ambiente y por supuesto, producción. En el mismo documento se comenta que el objetivo de realizar un análisis de criticidad es establecer un método para determinar el orden jerárquico de los procesos productivos, sistemas o equipos de una planta, logrando reducir los sistemas en partes más pequeñas que puedan ser analizadas de forma unitaria, sin la complejidad que el mismo sistema provoca.

Alfonso et al. (2017) también indican que el análisis de criticidad se aplica a cualquier componente, equipo, sistema, planta o proceso que deba ser jerarquizado en función del impacto que tenga en el rol de negocio.

Exponen, además, que para poner en práctica un análisis de criticidad primero se debe de definir el alcance y objetivo de realizar el análisis, estableciendo los criterios necesarios para ejecutar una evaluación objetiva y posteriormente seleccionar el método adecuado de evaluación que permita crear una jerarquía entre los equipos objeto del análisis.

7.2 Control del mantenimiento

A continuación, se detallan algunos factores que se deben tomar en cuenta para tener un buen control de mantenimiento.

7.2.1. Plan de mantenimiento

Montes (2013) expresa que un plan de mantenimiento automatiza la generación de actividades de mantenimiento en una forma cronológica que permite la generación de reportes de los trabajos sistemáticos programados como lo son las rutinas de inspección o intervenciones periódicas, además, considera que un plan de mantenimiento es una herramienta principal en la gestión mantenimiento, permitiendo una programación de tareas ordenada, detallada y organizada.

7.2.2. Orden de trabajo

Villamil (2010) indica que la orden de trabajo (OT) es el instrumento que se utiliza para ordenar la ejecución de un trabajo o intervención de un equipo y la misma sirve como constancia que el trabajo ha sido ordenado; además de que sirve para asignar al responsable de realizar el trabajo e indicar el lugar, equipo o dispositivo al que hay que realizarle intervención. En la misma se puede definir

en qué momento se realizarán los trabajos, así como controlar los tiempos de duración del mismos.

7.2.3. Manual de mantenimiento

Dentro de las actividades de mantenimiento, los manuales de mantenimiento son documentos que se utilizan como apoyo, ya que los mismos contienen procedimientos de cómo realizar el trabajo, además de sugerencias para una elaboración efectiva de las actividades. En la industria actual, el manual de mantenimiento es elaborado considerando los catálogos de partes de los fabricantes de los equipos, manuales de usuarios de uso de los equipos y la experiencia de campo que posee el personal técnico y operativo de la empresa. Dentro del manual se encontrará las rutinas de mantenimiento para el equipo que se intervendrá.

7.2.4. Indicadores de mantenimiento

Dentro de la gestión de mantenimiento, los indicadores de mantenimiento permiten, según Amendola (2003) “evaluar el comportamiento operacional de las instalaciones, sistemas, equipos, dispositivos y componentes de esta manera será posible implementar un plan de mantenimiento orientado a perfeccionar la labor de mantenimiento” (p. 1).

La misma fuente también indica que entre los indicadores más relevantes para la gestión de mantenimiento están: tiempo medio entre fallas, tiempo medio de reparación, disponibilidad y confiabilidad, con los cuales determinamos y cuantificamos la gestión de mantenimiento de nuestros equipos.

7.2.4.1 Principales indicadores de la gestión de mantenimiento

Según Amendola (2003), los principales indicadores de la gestión de mantenimiento y a la vez los indicadores que más se utilizan dentro de la planificación de los mismos y que se encuentran asociados a la efectividad y operación de los componentes, dispositivos, equipos, sistemas e instalaciones, los cuales permiten efectuar un plan de mantenimiento orientado a la mejora continua del mantenimiento, se encuentran los siguientes:

- Tiempo medio de falla
- Tiempo medio de reparación
- Tiempo medio entre fallas
- Disponibilidad
- Utilización
- Confiabilidad

Para los intereses del presente estudio se analizarán los indicadores de gestión de mantenimiento siguientes: tiempo medio entre fallas, tiempo medio entre reparaciones, disponibilidad y confiabilidad.

7.2.4.1.1. Tiempo medio entre fallas

El tiempo medio entre fallas según Amendola (2003) es el lapso entre un arranque del equipo y la aparición de una falla, en otras palabras, es el tiempo que transcurre desde la puesta en marcha hasta una salida forzada. Cuando el tiempo medio entre fallas tiene un valor alto, significa que el equipo es bastante confiable. Uno de los parámetros que deben considerarse en el análisis de la

confiabilidad de los equipos es el tiempo medio entre fallas (MTBF, por sus siglas en inglés) eso por lo que este indicador modela de alguna forma el comportamiento del equipo analizado y para el cálculo de este se debe de utilizar el histórico de datos de fallas del equipo.

Figura 6. **Tiempo medio entre fallas**

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Horas trabajadas}}{\text{Número de paradas}} \quad (\text{Fórmula 1})$$

Fuente: Soria (2017, p. 91)

7.2.4.1.2. Tiempo medio para reparación

Para el tiempo medio para reparación de un equipo, Amendola (2003) expone que este indicador mide la efectividad para restablecer la unidad o equipo a condiciones óptimas de operación, después de la ocurrencia de una falla en un tiempo determinado. El tiempo medio para reparación (MTTR) es un indicador asociado directamente a la mantenibilidad o, en otras palabras, a los tiempos de ejecución de los mantenimientos programados para restablecer el equipo.

Figura 7. **Tiempo medio para reparación**

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Horas en reparación}}{\text{Número de paradas}} \quad (\text{Fórmula 2})$$

Fuente: Soria (2017, p. 92)

7.2.4.1.3. Disponibilidad

Amendola (2003) define la disponibilidad como una función que permite calcular en porcentaje el tiempo que un equipo o unidad se encuentre disponible para ejecutar el trabajo o función por el que fue adquirido. Por medio del análisis de los factores que están inmersos en la disponibilidad se puede evaluar alternativas de mantenimiento para lograr un aumento en este indicador, ya que el mismo está relacionado con el tiempo medio para reparación y el tiempo medio de falla.

Figura 8. Disponibilidad

$$DM = \frac{\text{Horas trabajadas}}{\text{Horas trabajadas} + \text{Horas Paradas}} \quad (\text{Fórmula 3})$$

Fuente: Soria (2017, p. 89)

7.2.4.1.4. Confiabilidad

La confiabilidad de un elemento, equipo o sistema, Amendola (2003) la define como a la probabilidad de que dicho elemento, equipo o sistema haga la función por la que fue adquirido, bajo condiciones determinadas en un periodo de tiempo definido, exponiendo que realizar un estudio de confiabilidad en la empresa es realizar un estudio de las fallas de un elemento, equipo o sistema. Bajo esa analogía, un equipo que no presenta fallas es un equipo 100 % confiable. Después de realizar un análisis de confiabilidad se obtiene información como: probabilidades de fallas, tiempo medio entre fallas, condición de la vida útil en que se encuentra el equipo.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PREGUNTAS ORIENTADORAS

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO REFERENCIAL

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Mantenimiento centrado en confiabilidad

2.1.1. Historia del mantenimiento

2.1.1.1. Primera generación

2.1.1.2. Segunda generación

2.1.1.3. Tercera generación

2.1.2. Características del mantenimiento centrado en confiabilidad

2.1.2.1. Objetivos y beneficios del mantenimiento centrado en confiabilidad

2.1.2.2. Pasos para implementar el mantenimiento centrado en confiabilidad

2.1.2.3. Confiabilidad operacional

- 2.1.2.4. Mantenibilidad
- 2.1.2.5. Gestión de activos
- 2.1.2.6. Falla funcional
- 2.1.2.7. Modo de falla
- 2.1.2.8. Efecto de falla
- 2.1.2.9. Consecuencia de falla
- 2.1.2.10. Análisis de modos y efectos de fallas
- 2.1.2.11. Análisis de criticidad
- 2.2. Control del mantenimiento
 - 2.2.1. Plan de mantenimiento
 - 2.2.2. Orden de trabajo
 - 2.2.3. Manual de mantenimiento
 - 2.2.4. Indicadores de mantenimiento
 - 2.2.4.1. Principales indicadores de la gestión de mantenimiento
 - 2.2.4.1.1. Tiempo medio entre fallas
 - 2.2.4.1.2. Tiempo medio para reparación
 - 2.2.4.1.3. Disponibilidad
 - 2.2.4.1.4. Confiabilidad

3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

APÉNDICES

9. METODOLOGÍA

En la presente sección se presenta la metodología de la investigación donde se describe el enfoque, diseño, tipo de estudio, alcances, variables e indicadores, fases y, resultados esperados

9.1. Enfoque

El enfoque del estudio propuesto es mixto, ya que se realiza un estudio cuantitativo en cuanto a los indicadores de la gestión de mantenimiento, mientras que el estudio de los niveles de criticidad de los elementos del generador es cualitativo y, como se necesita el control de ambos para la estandarización, el enfoque es mixto.

9.2. Diseño

El presente diseño de investigación es no experimental porque no se utilizará ensayos de laboratorio para determinar información a ser utilizada en el proyecto planteado y tampoco se manipulan variables en laboratorio. Los datos se obtienen mediante herramientas de análisis y control con el objetivo de optimizar la gestión de mantenimiento del generador de potencia por medio de un histórico de fallas, criticidad de los elementos del generador e indicadores de gestión de mantenimiento.

9.3. Tipo

Se ha seleccionado un tipo de estudio descriptivo, el cual pretende

responder las interrogantes del caso en estudio basado en la determinación del proceso actual, continuando con el registro de datos para visualizar las variables de control para luego efectuar un análisis de criticidad, instrumentos de control de costos y avance de la gestión y, posteriormente evaluar planes operativos para optimizar el proceso.

9.4. Alcance del estudio

El alcance metodológico es descriptivo, porque se tiene disponible la información del proceso actual, lo que permite tomar datos por medio de una revisión documental para evaluar y conocer a detalle las fallas del equipo de estudio.

9.5. Variables e indicadores

Las variables en estudio se describen en la tabla que se presenta a continuación:

Tabla I. Variables e indicadores

Objetivos	Variables	Indicadores	Técnicas e instrumentos	Metodología	Plan de tabulación
Identificar los elementos críticos del generador de potencia de 46 MVA de la unidad de estudio a los cuales se implementará la metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC).	Identificación de los elementos críticos del generador de potencia.	Tipo de falla: eléctrico o mecánico. Causa de la falla. Frecuencia de falla de los elementos del generador durante el periodo comprendido del 2016 al 2021.	Bitácora de operación. Reportes de falla. Histórico en HMI de paros no programados por falla.	Se recopilarán los registros documentados para extraer listado y cantidad de fallas de los elementos del generador, identificando el tipo de falla y causa de la falla. Se realizará un análisis modal de fallas y efectos a los elementos del generador para extraer los elementos críticos.	La tabulación de los resultados será por medio de un listado de elementos del generador clasificando la frecuencia, el tipo y causa de la falla y por medio de una matriz de análisis modal de fallas y efectos a los elementos del generador.
Describir los procedimientos a seguir para mantener una cantidad adecuada de repuestos críticos en bodega que permitan mejorar los indicadores de mantenimiento en la resolución de problemas.	Procedimientos para mantener un <i>stock</i> mínimo de repuestos críticos en bodega.	Solicitud de compra de repuestos por personal técnico. Cumplimiento de tiempo de entrega. Inventario disponible por ubicación.	Reglamento de compras. Tarjetas Kardex de los repuestos. Movimientos de almacén de repuestos. Inventario físico de repuestos.	Se realizarán los procedimientos administrativos para la compra e inventario de los repuestos críticos, respetando el reglamento de compras de la empresa.	Procedimiento interno para compra de repuesto crítico. Flujograma para solicitud de requerimiento de compra de repuesto de parte del personal de bodega.

Continuación tabla I.

Elaborar los instrumentos e indicadores que permitirán cuantificar el avance en la gestión de mantenimiento, así como conservar el control de costos de mantenimiento	Elaboración de instrumentos para control de costos de mantenimiento.	Elaboración de órdenes de trabajo. Programación de mantenimiento Control de consumibles y repuestos. Según instrumentos para control de costos de mantenimiento	Ingreso de repuestos en bodega órdenes de compra y pago. Informes gerenciales de fallas. Manuales de equipos y repuestos. Bitácoras de operación y mantenimiento Cantidad de interrupciones en software de mantenimiento Ellipse.	Se recopilarán registros de mantenimiento en bitácora, en <i>software</i> de mantenimiento, en la programación a largo plazo (PLP) y por medio de entrevistas a los técnicos y operadores para elaborar procedimientos de actividades de mantenimiento.	Elaboración de órdenes de trabajo rutinarias con cuadro de control de consumibles y repuestos. Programación de mantenimientos rutinarios en <i>software</i> Ellipse.
Evaluar los beneficios de elaborar un plan de mantenimiento eléctrico centrado en confiabilidad (MCC) para el generador de potencia de 46 MVA.	Evaluación de beneficios de la elaboración de un plan de mantenimiento eléctrico centrado en confiabilidad.	Después de 3 meses de implementado el plan de mantenimiento se verificará el aumento o reducción de: tiempo medio de reparaciones, costos de mantenimiento, confiabilidad, disponibilidad.	Fórmulas de los indicadores.	Se realizará una comparación de los indicadores antes y después de aplicar la metodología, verificando la variación de los indicadores.	Cuadro comparativo de los indicadores antes y 3 meses después de aplicada la metodología.

Fuente: elaboración propia, realizado con Word.

9.6. Fases del estudio

El proceso para cumplir con los objetivos del diseño de investigación debe llevarse a cabo de la siguiente forma:

Fase 1: revisión documental para realizar la investigación de antecedentes del problema y marco teórico relacionado al mismo. El tiempo de duración para la presente fase es de 3 semanas.

Fase 2: análisis de la información recopilada para posteriormente realizar un listado de los elementos del generador de potencia, clasificando la frecuencia de la falla, el tipo y causa de la falla, además, se realizará una matriz de criticidad utilizando un análisis modal de fallas y efectos a los elementos del generador de potencia. El tiempo de duración para esta fase será de 3 semanas.

Fase 3: clasificación de los elementos del generador de acuerdo a su nivel de criticidad, identificando cuales elementos del generador de potencia conforman la ruta crítica de repuestos. El tiempo de duración para esta fase será de 1 semana.

Fase 4: elaboración de documentos de control para la gestión de mantenimiento, lo cual consiste en fraccionar los documentos internos de apoyo para el personal técnico y personal de bodega, que permitan mantener un inventario mínimo de repuestos críticos almacenados. También se elaborarán los documentos de control para costos de mantenimiento. El tiempo de duración para la presente fase será de 4 semanas.

Fase 5: evaluación de resultados por parte de la gerencia de planta verificando la variación de los indicadores de la gestión de mantenimiento. El tiempo de duración para la presente fase será de una semana.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Las herramientas que se emplearán para la recolección de datos que aporten a la investigación información relevante e inmediata y que permitirán dar respuesta a las preguntas y objetivos planteados son las siguientes:

Análisis modal de fallas y efectos que permitirá determinar por medio de una matriz los fallos potenciales en el generador de potencia, clasificando los elementos del equipo por el tipo de falla o el efecto de esta, obteniendo el nivel de criticidad de cada uno de los elementos analizados.

Se utilizarán gráficos de barras para verificar las variaciones de los indicadores de la gestión del mantenimiento como lo son el tiempo medio entre reparaciones, disponibilidad y confiabilidad, comparando los datos antes de la implementación y 3 meses después de esta.

Para los costos de mantenimiento se utilizará un cuadro de control de insumos y repuestos que posteriormente generará un gráfico de costos por tipo insumo o repuesto utilizado.

Por lo tanto, los resultados que se obtengan de tipo cualitativo se presentarán en listas, tablas o matrices, mientras que los resultados de tipo cuantitativo se presentarán en gráficas que permitan visualizar mejor los resultados

11. CRONOGRAMA

Figura 9. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia, realizado con Project 2016

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se realizará con recursos propios del estudiante de maestría y apoyo de financiamiento por parte de la industria, teniendo en cuenta que, al analizar la factibilidad del estudio se consideran los recursos humanos, materiales, físicos, tecnológicos y equipos, así como el acceso a información, permisos e infraestructura entre otros.

Los recursos necesarios para realizar el diseño de investigación para un plan de mantenimiento eléctrico basado en confiabilidad se presentan en la siguiente tabla:

Tabla II. Recursos necesarios para la investigación

	Ítem	Cantidad	Costos Q.	Porcentaje	Fuente de financiamiento
Recurso humano	Asesor	1	Q. 0.00	0.00 %	Propio
	Investigador	1	Q. 0.00	0.00 %	Propio
	Personal técnico	1	Q. 6,000.00	19.09 %	Por la industria
	Bodeguero	1	Q. 5,500.00	17.50 %	Por la industria
Recursos materiales	Resma de papel	2	Q. 80.00	0.25 %	Propio
	Juego de cartuchos de tinta	1	Q. 600.00	1.91 %	Propio
Recursos físicos	Vehículo (depreciación y combustible)	1	Q. 1,500.00	4.77 %	Propio
Recursos tecnológicos	Computadora	1	Q. 3,000.00	9.55 %	Propio
	Impresora	1	Q. 2,250.00	7.16 %	Propio
	Software de mantenimiento y licencia	1	Q. 10,000.00	31.82 %	Por la industria
Equipo	Multímetro	1	Q. 2,500.00	7.95 %	Por la industria
TOTAL			Q. 31,430.00	100.00 %	

Fuente: elaboración propia.

El investigador cubrirá el 23.64 % del presupuesto de la investigación.

13. REFERENCIAS

1. Aguinaga, A. (octubre de 2007). *Confiabilidad Operacional para la ingeniería del mantenimiento*. 8vo. Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, Cusco, Perú.
2. Alfonso, Y., García, A., Díaz, A., Rodríguez, A., Hourné, M. y Cedrón, G. (2017). Análisis de criticidad en los sistemas mecánicos de los grupos electrógenos. *Energía Energética*, XXXVIII(3), p. 224-230.
3. Amendola, L. (2003). *Indicadores de confiabilidad propulsores en la gestión del mantenimiento*. Departamento de Proyectos de Ingeniería Universidad Politécnica de Valencia, España.
4. Barreda, S. (2015). *Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en la EDAR de Nules-Vilavella*. (Tesis de pregrado) Universidad Jaime I de Castellón de la Plana, España.
5. Campos, O., Tolentino, G., Toledo, M. y Tolentino, R. (2019). Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos. *Científica*, 23(1), p. 51-59.
6. Cano, S. (2017). *Implementación de un sistema de mantenimiento centrado en confiabilidad para la maquinaria flexográfica y*

litográfica de la empresa Central de Empaques, S. A. (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

7. Cubillas, J. (2020). *Implementación de la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) y los efectos en la disponibilidad de las extrusoras hidráulicas, en la empresa ITALSOLDER S.A.C.* (Tesis de pregrado). Universidad Privada del Norte, Perú.
8. Fuentes, E. (2018). *Sistematización del modelo de mantenimiento de una planta de corte y doble, con enfoque a indicadores de disponibilidad con base a la herramienta mantenimiento centrado en la confiabilidad (mcc)* (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
9. Gandur, F. (2017). *Adaptación de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) en un sistema crítico de aire acondicionado de la Clínica Universitaria Bolivariana (CUB)* (Tesis de maestría). Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín, Colombia.
10. Hung, A. (2008). Mantenimiento centrado en confiabilidad como estrategia para apoyar los indicadores de disponibilidad y paradas forzadas en la planta Oscar A. Machado EDC. *Energética*, XXX(2), p. 12-18.
11. Marchena, F. (2018). *Implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para aumentar la productividad del área de*

producción de tableros de la empresa SERTES S.A.C, Lima, 2018
(Tesis de pregrado). Universidad César Vallejo, Lima, Perú.

12. Martínez, C. (2004). *Implementación de un análisis de modo y efecto de falla en una línea de manufactura para juguetes* (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
13. Maya, J. (2018). *Aplicación de RCM como estrategia de implementación de mantenimiento predictivo para la metodología TPM* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
14. Medina, A. (2021). *Diseño de la estrategia de mantenimiento Basado en el riesgo para incrementar los Indicadores de mantenimiento de la asociación Textil AETI de la ciudad de Ilo* (Tesis de maestría). Universidad José Carlos Mariátegui, Moquegua, Perú.
15. Moubray, J. (2004). *Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)*. Asheville, North Carolina USA: Aladon LLC.
16. Montes, J. (2013). *Diseño de un plan de mantenimiento para la flota articulada de INTEGRA S.A. usando algunas herramientas del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)* (Tesis de pregrado). Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.
17. Montoya, C. (2017). *Aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad en el sistema de excitación de un generador sincrónico utilizando el software IRCMS* (Tesis de maestría).

Universidad EAFIT de Medellín, Colombia.

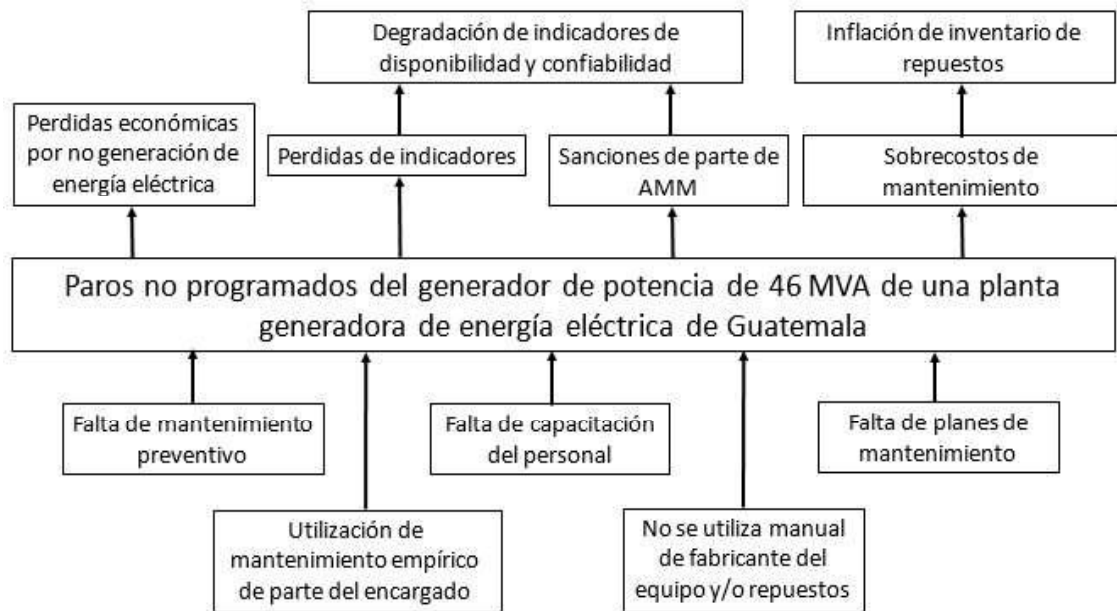
18. Olmedo, C. (2019). *Evaluación de la gestión del mantenimiento en generadores eléctricos para las agencias críticas de Banecuador B.P., y propuesta del sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad y costos del ciclo de vida, bajo la Norma ISO 55001 AE 16646, para el período 2015 – 2017* (Tesis de maestría). Universidad Internacional del Ecuador, Ecuador.
19. Poveda, A. y Lozano, M. (2012). *Aplicación de la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad para el desarrollo de planes de mantenimiento* (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral. Ecuador.
20. Soria, O. (2017). *Indicadores de clase mundial utilizados como herramienta de control en la gestión de mantenimiento preventivo y correctivo de equipo pesado, en minería subterránea de oro* (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
21. Soto, M. (2018). *Propuesta de implantación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), de los activos críticos de la unidad No. 1 de la central térmica El Descanso* (Tesis de maestría). Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador.
22. Tandalla, D. (2017). *Análisis de criticidad de equipos para el mejoramiento del sistema de gestión del mantenimiento en la*

empresa de aluminios CEDAL (Tesis de maestría). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.

23. Trujillo, A. (2018). *Propuesta de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), para la planta de tratamiento de aguas en Termosuria-Meta* (Tesis de pregrado). Universidad Libre de Colombia, Colombia.
24. Vega, P. (2009). *Diseño de la estrategia de mantenimiento basada en la confiabilidad, RCM, e inspección basada en el riesgo, RBI, para la línea crítica de producción de la planta para concentrados de la empresa ITALCOL S.C.A ubicada en Girón, Santander* (Tesis de pregrado). Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga, Colombia.
25. Villamil, J. (2010). Importancia de las herramientas administrativas requeridas para la planeación y gestión de las actividades de mantenimiento hospitalario en las instituciones de salud. *Umbral Científico*, 1(16), p. 40-46.

14. APÉNDICES

Apéndice 1. **Árbol de problemas**



Fuente: elaboración propia, realizado con Word.

Apéndice 2. Matriz de coherencia

Objetivos	VARIABLES	Indicadores	Técnicas e instrumentos	Metodología
Identificar los elementos críticos del generador de potencia de 46 MVA de la unidad de estudio a los cuales se implementará la metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC).	Identificación de los elementos críticos del generador de potencia.	Tipo de falla: eléctrico o mecánico. Causa de la falla. Frecuencia de falla de los elementos del generador durante el periodo comprendido del 2016 al 2021.	Bitácora de operación. Reportes de falla. Histórico en HMI de paros no programados por falla.	Se recopilarán los registros documentados para extraer listado y cantidad de fallas de los elementos del generador, identificando el tipo de falla y causa de la falla. Se realizará un análisis modal de fallas y efectos a los elementos del generador para extraer los elementos críticos.
Describir los procedimientos a seguir para mantener una cantidad adecuada de repuestos críticos en bodega que permitan mejorar los indicadores de mantenimiento en la resolución de problemas.	Procedimientos para mantener un stock mínimo de repuestos críticos en bodega.	Solicitud de compra de repuestos por personal técnico. Cumplimiento de tiempo de entrega. Inventario disponible por ubicación.	Reglamento de compras. Tarjetas Kardex de los repuestos. Movimientos de almacén de repuestos. Inventario físico de repuestos.	Se realizarán los procedimientos administrativos para la compra e inventario de los repuestos críticos, respetando el reglamento de compras de la empresa.

Continuación apéndice 2.

<p>Elaborar los instrumentos e indicadores que permitirán cuantificar el avance en la gestión de mantenimiento, así como conservar el control de costos de mantenimiento.</p>	<p>Elaboración de instrumentos para control de costos de mantenimiento. Elaboración de indicadores para cuantificar el avance en la gestión de mantenimiento.</p>	<p>Elaboración de órdenes de trabajo. Programación de mantenimientos. Control de consumibles y repuestos. Según instrumentos para control de costos de mantenimiento</p>	<p>Ingreso de repuestos en bodega. Órdenes de compra y pago. Informes gerenciales de fallas. Manuales de equipos y repuestos. Bitácoras de operación y mantenimiento. Cantidad de interrupciones en software de mantenimiento Ellipse.</p>	<p>Se recopilarán registros de mantenimiento en bitácora, en <i>software</i> de mantenimiento, en la programación a largo plazo (PLP) para mantenimientos mayores y por medio de entrevistas a los técnicos y operadores para realizar procedimientos de actividades de mantenimiento.</p>
<p>Evaluar los beneficios de elaborar un plan de mantenimiento eléctrico centrado en confiabilidad (MCC) para el generador de potencia de 46 MVA.</p>	<p>Evaluación de beneficios de la elaboración de un plan de mantenimiento eléctrico centrado en confiabilidad.</p>	<p>Después de 3 meses de implementado el plan de mantenimiento se verificará el aumento o reducción de: tiempo medio de reparaciones. Costos de mantenimientos. Confiabilidad. Disponibilidad.</p>	<p>Fórmulas de los indicadores.</p>	<p>Se realizará una comparación de los indicadores antes y después de aplicar la metodología, verificando la variación de los indicadores.</p>

Fuente: elaboración propia, realizado con Word.

Apéndice 3. **Listado de elementos fallados del generador de potencia**



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Ingeniería de Mantenimiento

Instrucciones: del histórico de fallas de los elementos del generador de potencia, llenar el cuadro con la información solicitada.

ELEMENTO	CANTIDAD DE FALLAS	TIPO DE FALLA	CAUSA DE LA FALLA	FECHA

Fuente: elaboración propia, realizado con Word

Apéndice 4. **Análisis de modos de fallas y efectos**



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Ingeniería de Mantenimiento

Instrucciones: con apoyo del personal técnico de la empresa llenar la matriz de fallas y efectos de los elementos que componen el generador de potencia.

Equipo:		Facilitador:		Hoja No.	
Parte:		Fecha:		de	
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de función)	MODO DE FALLA		EFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)
1		A	1		

Fuente: elaboración propia, realizado con Word