



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

**GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO AL GENERADOR Y TURBINA DE
VAPOR UTILIZANDO ANÁLISIS DE TERMOGRAFÍAS DE UNA PLANTA
TERMOELÉCTRICA DE 41.5MW, BASADO EN LA NORMA GER-3621**

Ing. Brian Enrique Chicol Morales

Asesorado por el Ma. Ing. Carlos Enrique Chicol Cabrera

Guatemala, septiembre de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO AL GENERADOR Y TURBINA DE VAPOR UTILIZANDO ANÁLISIS DE TERMOGRAFÍAS DE UNA PLANTA TERMOELÉCTRICA DE 41.5MW, BASADO EN LA NORMA GER-3621

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. BRIAN ENRIQUE CHICOL MORALES

ASESORADO POR EL MA. ING. CARLOS ENRIQUE CHICOL CABRERA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN ARTES EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordóva Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martinez
VOCAL III	In. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Mtra. Aurelia Anabela Cordóva Estrada
DIRECTOR	MSc. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Mtra. Sandra Nineth Ramírez Flores
EXAMINADOR	Mtro. Javier Fidelino García
SECRETARIO	MSc. 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:

GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO AL GENERADOR Y TURBINA DE VAPOR UTILIZANDO ANÁLISIS DE TERMOGRAFÍAS DE UNA PLANTA TERMOELÉCTRICA DE 41.5MW, BASADO EN LA NORMA GER-3621

Tema aprobado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha noviembre de 2018.



Ing. Brian Enrique Chicol Morales

EEPFI-757-2019

En mi calidad como 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 Estudios de Postgrado, al Trabajo de Graduación de la Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento titulado: **“GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO AL GENERADOR Y TURBINA DE VAPOR UTILIZANDO ANÁLISIS DE TERMOGRAFÍAS DE UNA PLANTA TERMOELÉCTRICA DE 41.5MW, BASADO EN LA NORMA GER-3621”** presentado por el Ingeniero Electricista **Brian Enrique Chicol Morales** quien se identifica con Carné **200914888**, procedo a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

“Id y Enseñad a Todos”



Inga. Aurelia Anabela Córdova Estrada★
Decana
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

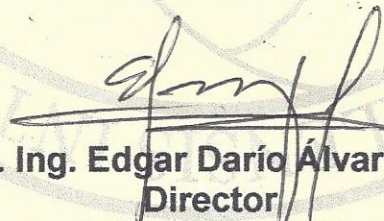
Guatemala, septiembre de 2019

EPPFI-758-2019

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y verificar la aprobación del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística al Trabajo de Graduación titulado: **“GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO AL GENERADOR Y TURBINA DE VAPOR UTILIZANDO ANÁLISIS DE TERMOGRAFÍAS DE UNA PLANTA TERMOELÉCTRICA DE 41.5MW, BASADO EN LA NORMA GER-3621”** presentado por el Ingeniero Electricista **Brian Enrique Chicol Morales** quien se identifica con Carné **200914888**, correspondiente al programa de Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”



Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Coti
Director

**Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala**



Guatemala, septiembre de 2019

EPPFI-759-2019

Como Coordinador de la Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento doy el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado: **“GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO AL GENERADOR Y TURBINA DE VAPOR UTILIZANDO ANÁLISIS DE TERMOGRAFÍAS DE UNA PLANTA TERMOELÉCTRICA DE 41.5MW, BASADO EN LA NORMA GER-3621”** presentado por el Ingeniero Electricista **Brian Enrique Chicol Morales** quien se identifica con Carné **200914888**.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”



Mtra. Inga. Sandra Ninett Ramirez Flores
Coordinadora de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Guatemala, septiembre de 2019

EEPFI-760-2019

En mi calidad como Asesor del Ingeniero Electricista **Brian Enrique Chicol Morales** quien se identifica con Carné **200914888** procedo a dar el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado: **“GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO AL GENERADOR Y TURBINA DE VAPOR UTILIZANDO ANÁLISIS DE TERMOGRAFÍAS DE UNA PLANTA TERMOELÉCTRICA DE 41.5MW, BASADO EN LA NORMA GER-3621”** quien se encuentra en el programa de Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento en la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”



Mtro. Ing. Carlos Enrique Chicol Cabrera
Asesor

Carlos Enrique Chicol Cabrera
Ingeniero Mecánico
Col. 6965

Guatemala, septiembre de 2019

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser el creador, enviar todas las bendiciones posibles a mi vida y nunca abandonarme en ningún momento, iluminando mi caminar.
- Mis padres** Carlos Enrique Chicol Cabrera y Reina Inés Morales de Chicol, por su gran amor, comprensión, estar a mi lado en todo momento, este nuevo logro es suyo. Los amo con todo mi corazón.
- Mi esposa** Débora Rosmery Morales Caravantes, por brindarme su apoyo, amor, comprensión y alentarme a llegar a un nuevo triunfo. Te amo enormemente.
- Mis hijos** Nataly Rosmery y Mateo Alessandro Chicol Morales, por ser esas personitas por quien lucho cada día para ser mejor, un buen ejemplo y porque son la más grande bendición. Los amo.
- Mi hermano** Carlos Snell Chicol Morales, por estar a mi lado en todos los momentos alentándome y terminar esta meta juntos.

Mis bisabuelos

Juan Francisco Donis (q.e.p.d), Inés Fernández de Donis, Rosa Arévalo de Cabrera (q.e.p.d), que con sus bendiciones siempre he seguido adelante.

Mis abuelos

Justo Nery Chicol, Natalia Cabrera, Vidalina Donis Fernández, Mauricio Valenzuela (q.e.p.d), por brindarme su cariño, apoyo y cuidarme en todo momento.

Mis tíos

Helmunt Federico Chicol Cabrera, German Leonel Chicol Cabrera, por su gran apoyo.

Mis sobrinos

Valery Chicol, Snell Chicol, por ser especiales y por su amor tan sincero.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por brindarme estudio, por permitirme formar parte de tan bella y tan grande Universidad.
Facultad de Ingeniería	Por aceptarme ser miembro de esta gran Facultad.
Mis amigos de la Facultad.	Erick Azurdía, Fernando Gallo, Mario Pacheco, Gary Sasvin, Ing. Jorge Tampan, Ing. David Barrientos, Ing. Ferdi Rodriguez, Noé David Ren Mateo, por apoyarme en este caminar.
Personal docente y administrativo de la Facultad de Ingeniería	Ing. Murphy Paiz, Inga. Anabella Córdova, Ing. Hugo Rivera, Ing. Otto Andrino, Ing. Pedro Agreda, Inga. Sandra Nineth Ramirez Flores, Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí, Dra. Aura Marina Rodriguez, Lic. Ruth Cardona, Ing. Eduardo Soto Castañeda, Ing. René Oswaldo Monge López, Sr. Luis Ricardo Cuevas Córdón.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	I
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
PLANTEAMIENTO PROBLEMA Y PREGUNTAS ORIENTADORAS.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Planta termoeléctrica.....	1
1.1.1. Caldera	3
1.2. Mantenimiento	4
1.2.1. Mantenimiento preventivo.....	4
1.2.2. Mantenimiento predictivo.....	5
1.2.3. Gestión de mantenimiento.....	6
1.2.4. Generador eléctrico	7
1.2.5. Turbina de vapor.....	11
1.2.6. Termografía	13
1.3. Norma.....	15
1.3.1. Factor de potencia.....	18
1.3.2. Curva de capacidad	21

2.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	23
2.1.	Verificación termográfica a la turbina	23
2.2.	Verificación de temperatura en la turbina.....	24
2.2.1.	Temperatura del aceite	24
2.3.	Verificación termográfica al generador.....	24
2.4.	Verificación de resistencia del devanado de cobre	25
2.5.	Verificaciones realizadas a turbina de vapor.....	25
2.5.1.	Verificación condiciones de operación	26
2.5.2.	Verificación de presión en turbina	26
2.5.3.	Verificación del sistema de lubricación.....	27
2.5.4.	Verificación bomba principal de aceite	27
2.5.5.	Verificación bomba auxiliar del aceite	27
2.5.6.	Verificación válvula de regulación	28
2.5.7.	Verificación de cojinetes.....	28
2.5.7.1.	Mala calidad del aceite	28
2.5.7.2.	Mal estado de cojinetes.....	28
2.5.8.	Verificación de sellado de vapor.....	29
2.5.8.1.	Sellos elípticos	29
2.5.9.	Verificación en los álabes.....	29
2.5.10.	Verificación de la curvatura del rotor por una parada en caliente.....	29
2.5.11.	Verificación de toberas y diafragmas	30
2.6.	Verificaciones realizadas a generador eléctrico	30
2.6.1.	Verificación de lubricantes.....	31
2.6.1.1.	Verificación del filtro de aceite	32
2.6.1.2.	Verificación del filtro de combustible	32
2.6.2.	Verificación del sistema de refrigeración.....	32
2.6.3.	Verificación de los devanados.....	32
2.6.3.1.	Megger	33

2.6.4.	Verificación de los cojinetes.....	34
2.6.5.	Verificación de escobillas	34
2.6.5.1.	Índice de polarización	34
2.6.6.	Verificaciones visuales	34
2.6.7.	Verificación del alternador	35
2.6.8.	Verificación del regulador de voltaje	35
2.6.9.	Verificación de la frecuencia	35
2.6.10.	Verificación de corriente de excitación	35
2.6.11.	Verificación de voltaje de excitación	35
2.6.12.	Verificación del factor de potencia	36
2.6.13.	Verificación voltaje de salida.....	36
2.6.14.	Verificación de potencia en el generador.....	36
2.7.	Resultados Norma GER-3621	36
2.8.	Plan de mantenimiento preventivo	37
2.9.	Verificaciones	38
2.9.1.	Planta de vapor.....	38
2.9.2.	Generador eléctrico	40
2.10.	Recomendaciones plan de mantenimiento preventivo para una planta termoeléctrica con base a la norma GER-3621	42
2.10.1.	Recomendaciones turbina de vapor con base a la norma GER-3621	43
2.10.2.	Recomendaciones generador eléctrico con base a la norma GER-3621	47
3.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	55
3.1.	Análisis interno	55
3.1.1.	Implementación de pruebas.....	56
3.1.2.	Prueba EL CID.....	57
3.1.3.	Prueba de factor de potencia.....	58

3.1.4.	Prueba dieléctrica.....	62
3.1.5.	Termografía en generador y turbina de vapor	63
3.1.6.	Enfriamientos	65
3.1.7.	Enfriamiento por ventilación	66
3.1.8.	Enfriamiento por hidrógeno	67
3.1.9.	Enfriamiento por agua	68
3.2.	Análisis externo	69
CONCLUSIONES.....		71
RECOMENDACIONES		73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		75
ANEXOS.....		83

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Turbina de vapor	26
2.	Esquema de turbina y generador eléctrico	31
3.	Prueba de Megger a generador	33
4.	Planta termoeléctrica convencional.....	37
5.	Esquema de funcionamiento turbina de vapor	40
6.	Esquema de funcionamiento generador eléctrico	42
7.	Termografía cojinete	47
8.	Termografía en la caja de conexiones	52
9.	Termografía carcasa de un generador eléctrico.....	53
10.	Ejemplo de descargas parciales y factor de potencia en fases del generador.....	59
11.	Comparación de altas y bajas descargas parciales en un generador ..	61
12.	Comparativa de descargas parciales en cada fase del generador.....	62

TABLAS

I.	Verificaciones para el mantenimiento de una turbina de vapor.....	39
II.	Verificaciones para el mantenimiento de un generador eléctrico	41

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
φ	Ángulo
Hz	Hercios
%	Porcentaje
P	Potencia activa
S	Potencia aparente
Q	Potencia reactiva
jQ	Potencia reactiva inductiva
W	Vatio
VA	Voltamperio
VA_r	Voltamperio reactivo

GLOSARIO

Combustión	Proceso físico-químico que realiza la liberación de energía interna controlada en forma de calor.
FEM	Fuerza electromotriz.
Hermetismo	Mezcla compuesta principalmente por gases.
Resguardo	Protección con respecto a inclemencias existentes, a través del tiempo.
Sinusoidal	Representación gráfica de la función seno, conformada por un período y una amplitud.
Vatio	Potencia eléctrica que se crea por medio de un diferencial de potencial y una corriente.
Voltamperio	Unidad de medición de potencia reactiva en un sistema eléctrico de corriente alterna.
Voltio	Diferencia de potencial que existe entre dos puntos existentes en el largo de un conductor eléctrico.

RESUMEN

La gestión de un plan de mantenimiento preventivo es una sistematización, porque se llevará a cabo una serie de verificaciones y recomendaciones a la turbina de vapor y generador de una planta termoeléctrica que tendrá como objetivo mantener la planta con una mejor calidad de funcionamiento, mejor funcionamiento de los componentes que conforman la planta, realizando de una forma periódica el mantenimiento, para evitar pérdidas totales o parciales.

El tipo de diseño que se realizó es no experimental, la realización de un plan de mantenimiento preventivo de la turbina de vapor y generador en la planta termoeléctrica, basándose en la Norma GER-3621, el planteamiento de una gestión de mantenimiento lograr una eficiencia de la entrega de energía eléctrica, manteniendo por más tiempo el funcionamiento de la planta, para evitar paros que se prolongan por más tiempo.

Con base a la Norma GER-3621, utilizada para la presente investigación de mantenimientos en una planta termoeléctrica, aplicada para la realización de recomendaciones y verificaciones que deben ser tomadas en cuenta al momento de realizar el mantenimiento preventivo en la turbina de vapor y generador así mejorar la eficiencia de generación de energía eléctrica.

Para evitar sobrecalentamientos o puntos calientes que afecten a la planta termoeléctrica, la utilización de termografía es de gran importancia para determinar por medio de imágenes la temperatura en los componentes para predecir fallas en todo el sistema, por ser parte fundamental para la gestión de

mantenimiento preventivo para la disminución de paros afectando la continuidad de funcionamiento en la generación de energía eléctrica. Los principales resultados de la implementación de la gestión de mantenimiento se establecen las debidas verificaciones que deben seguirse y las recomendaciones de una forma ordenada y realizar un historial de mantenimiento con base a la norma GER-3621.

Por medio de la termografía, la verificación de puntos calientes permite el análisis de las fallas que ocurren en la turbina y el generador eléctrico que deben ser reemplazadas o realizar las debidas verificaciones, para evitar los paros.

Con los datos iniciales y los datos del fabricante permite aportar una mejora en la verificación y recomendaciones, por medio de la norma GER-3621 que permite realizar las pruebas necesarias, para mantener la turbina y el generador en condiciones de operación continúa evitando los paros, mejorando el factor de potencia así mantener los aislamientos en condiciones favorables, para el correcto funcionamiento en la generación de energía.

PLANTEAMIENTO PROBLEMA Y PREGUNTAS ORIENTADORAS

La falta de un mantenimiento preventivo a los equipos puede ocasionar la presencia de fallas, y con ello disminuir la confiabilidad de utilización de la termoeléctrica afectando la disponibilidad, baja eficiencia y la continuidad de estos durante períodos prolongados de operación en la generación de energía.

Descripción del problema

En una planta termoeléctrica es fundamental el mantenimiento preventivo en la turbina y generador; debido a la falta de mantenimiento, radica la falta de control, la ausencia estructural del equipo o de un normativo eléctrico que repercute, tanto en el control de la planta como en el seguimiento del mantenimiento, para la mejora de generación de energía eléctrica.

La falta de mantenimiento preventivo, en la turbina y generador, al no ser realizado se tienen fallas catastróficas en la termoeléctrica, la falta de verificación del hermetismo del generador eléctrico, provoca que el aire o hidrógeno salgan de la máquina; el sobrecalentamiento del generador, provoca paros inesperados o la pérdida total de la planta, la baja en la calidad energética de generación de energía hace que el consumo de energía sea mayor y la entrega de generación de energía se vea afectada en el beneficio de entrega a los consumidores, la existencia de puntos calientes, temperaturas elevadas en el rotor del generador provocan el mal funcionamiento del generador.

- PREGUNTA GENERAL

¿Cómo el mantenimiento predictivo, utilizando termografía con base a la norma GER-3621 mejorará la confiabilidad y eficiencia de un generador eléctrico y turbina de vapor en una termoeléctrica?

- PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

¿Cuáles son las fallas iniciales para la implementación del mantenimiento adecuado por medio de la termografía?

¿Qué tipo de pruebas y verificaciones se pueden realizar a la turbina de vapor y generador eléctrico para detectar sobrecalentamientos?

¿Qué beneficios tiene la aplicación de la norma GER-3621 en análisis de termografía en generador eléctrico y turbina de vapor?

OBJETIVOS

General

Gestionar el mantenimiento predictivo al generador y turbina de vapor utilizando análisis de termografías de una planta termoeléctrica de 41.5MW, basado en la norma GER-3621.

Específicos

1. Identificar en base al historial de fallas y de mantenimiento correctivo los equipos a aplicar el mantenimiento predictivo, basado en termografías.
2. Realizar las pruebas para garantizar la vida útil de la turbina de vapor y generador eléctrico de la planta termoeléctrica, para su calidad de funcionamiento y generación de energía para detectar sobrecalentamientos.
3. Evaluar la gestión de mantenimiento utilizando la norma GER-3621, para mejorar la eficiencia en la generación de energía eléctrica con base a la termografía.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

El enfoque de estudio es mixto, de modo cuantitativo, cualitativo; se realizará por medio del tipo descriptivo transversal. La implementación de la gestión de mantenimiento preventivo debe realizarse periódicamente, para evitar posibles fallas críticas para la planta termoeléctrica.

Realizando de forma cualitativa, el planteamiento periódico para la implementación de la gestión de mantenimiento preventivo, para la turbina y generador de la planta termoeléctrica tomando en cuenta las verificaciones y pruebas propuestas.

El tipo de investigación a realizar es descriptiva, la implementación de un plan de mantenimiento preventivo de la turbina y generador de la planta termoeléctrica General Electric, basándose en la Norma GER-3621, para lograr una eficiencia de la entrega de energía eléctrica, mantiene por más tiempo el funcionamiento de la planta termoeléctrica, para evitar paros que se prolongan por más tiempo; el plan de mantenimiento preventivo permitirá basarse en verificaciones, inspecciones, recomendaciones propuestas, para lograr un mejor análisis y evaluación de la turbina y generador, así plantear las soluciones a los diferentes factores que se presenten.

Para la realización de la investigación se debe determinar las mediciones de variables a realizar a la turbina y generador de la planta termoeléctrica siguiendo las pruebas necesarias para la verificación y determinación de calidad de funcionamiento de la turbina y generador, para llevar a cabo la gestión de mantenimiento.

Fases

La primera fase consistió en la revisión documental con base en observaciones de fallas registradas, y averías para determinar las verificaciones y pruebas, para realizar el plan de mantenimiento con base a la norma GER-3621.

La segunda fase se gestionó el mantenimiento predictivo para describir y proponer las principales recomendaciones que se deben seguir en el el resguardo de la turbina y el generador para la realización de un mantenimiento ordenado.

La tercera fase con base al historial de fallas se realiza la termografía para el diagnóstico del mantenimiento preventivo, detectar fallas que no pueden ser inspeccionadas a simple vista, por donde suceden puntos de fugas de vapor, aislamientos.

La cuarta fase consistió en la implementación de la metodología de las pruebas necesarias utilizadas con base a la norma GER-3621, para la turbina y generador eléctrico, así evitar sobrecalentamientos y deterioros de ambos componentes.

La quinta fase se basó en mejorar la eficiencia con base a la norma GER-3621 para mejorar la calidad y vida útil en el funcionamiento de la turbina y generador en la planta termoeléctrica para aumentar el factor de potencia, para mejora en la generación de energía considerando las pérdidas.

INTRODUCCIÓN

La sistematización en la realización de un plan de mantenimiento preventivo para la turbina de vapor y generador en una planta termoeléctrica General Electric, encargada de generar energía eléctrica; cuya importancia en la industria ayuda a generar energía, por medio de sus turbinas convirtiendo la energía interna en energía mecánica.

El problema principal es la falta de mantenimiento adecuado o requerido cada cierto tiempo causa serios problemas en las mismas, falla en las turbinas internas, fallas en el generador, puntos calientes, sobrecalentamientos, causa que la generación de energía eléctrica no sea la adecuada o no sea generada en la totalidad de capacidad de la planta termoeléctrica.

Por medio de la realización del debido mantenimiento, basado en la norma GER-3621, será para mantener la termoeléctrica General Electric en operación de entrega de un amplio trabajo de potencia, para generar energía eléctrica; mantener su funcionamiento durante más tiempo, la utilización de indicadores como, incidencias, termografías; formarán parte del mantenimiento para que la planta termoeléctrica tenga un tiempo de funcionamiento más prolongado, los tiempos de paros sean reducidos, manteniendo de la mejor manera posible la generación de energía eléctrica realizándolo durante tiempos determinados periódicamente, por medio de verificaciones y recomendaciones, para prevenir las fallas que puedan surgir, la prevención de accidentes laborales, evitar daños irreparables o la pérdida total de toda la planta termoeléctrica.

La entrega de la energía eléctrica de la planta termoeléctrica, se debe al debido mantenimiento de la turbina, generador, para la mejora y la eficiencia de entrega de energía eléctrica se estará basado en la Norma GER-3621, para el mantenimiento adecuado y aprovechamiento de la energía.

La investigación está contemplada en los siguientes capítulos:

Capítulo I. Se describe el marco teórico de la evaluación, detección de fallas, riesgos, averías, explicación del funcionamiento y de cómo afectan las fallas a los componentes que conforman la planta termoeléctrica, explicación de las ventajas y desventajas de una planta termoeléctrica.

Capítulo II. Presentación de resultados, método de análisis de trabajo para la implementación del plan de mantenimiento con base de la Norma GER-3621, estableciendo propuestas de verificaciones, recomendaciones, calidad de generación de energía eléctrica.

Capítulo III. Discusión de resultados, análisis interno y externo de la implementación de las pruebas, termografía en generador y turbina, análisis de sobrecalentamientos implementando los tipos de enfriamiento con base a la norma GER-3621, para el correcto funcionamiento del generador y turbina de vapor.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Planta termoeléctrica

“Una planta termoeléctrica es una instalación que produce energía eléctrica, a partir de la combustión de combustibles fósiles, tales como: petróleo y sus derivados (gasoil, fueloil y petcoke; gas natural, carbón; y biomasa)” (Superintendencia del Medio Ambiente,2014). Se busca la forma de generar energía eléctrica con los recursos existentes, generar energía para lograr el abastecimiento necesario para la población, tanto en Guatemala como en el mundo entero, buscar siempre la innovación de nuevas generadoras.

“Una planta típica se compone de: una caldera, donde se produce la combustión; una turbina o motor de calor, que transforma la energía térmica proveniente de la combustión en energía mecánica; y un generador, que convierte la energía mecánica en energía eléctrica” (Superintendencia del Medio Ambiente,2014). Conocer las partes de una planta termoeléctrica es de suma importancia para realizar la inspección de fallas y averías que se pueden presentar, la conversión de energía por medio de una planta ayuda en el abastecimiento que demandan los entes que la utilizan.

“En forma general, una planta termoeléctrica a vapor está constituida por los siguientes bloques: caldera, conjunto turbina-generador, sistema de enfriamiento, equipos de control ambiental” (Cartaya, 2013).

- Ventajas

Una ventaja es de vital importancia la implementación del plan de mantenimiento a la planta para obtener condiciones favorables, para mejora de entrega en el servicio de generación de energía eléctrica. Basándose en las recomendaciones e inspecciones.

- Desventajas

Las desventajas en las plantas termoeléctricas tienen un gran impacto en el medio ambiente, debido a la utilización de sus calderas, la combustión que estas conllevan para su funcionamiento, la dispersión de lo que emiten afecta dependiendo del tamaño de éstas.

- Recomendaciones

Una recomendación es una sugerencia para realizar un buen plan de mantenimiento a la planta termoeléctrica, pasos a realizar de parte del personal encargado de realizar el mantenimiento.

- Verificaciones

La verificación basada en las recomendaciones para la planta será utilizada en inspecciones antes de la realización del debido mantenimiento y tomar en cuenta durante el funcionamiento de la planta.

- Prueba

Una prueba es la realización después de las verificaciones para detectar la razón, el argumento de una falla o una causa en la planta, para la verificación de la eficacia del plan de mantenimiento.

- Causa

La causa es una verificación del origen de la falla en la planta termoeléctrica, encontrar el motivo o la razón, por la cual se debe realizar el debido plan de mantenimiento.

- Combustión

La combustión surge del momento de reacción de la energía eléctrica al tener contacto con la existencia de oxígeno o con todo tipo de reacción química.

1.1.1. Caldera

“Intercambiador de calor en el cual se quema combustibles para convertirlos en energía y transferirlos al agua elevando su temperatura hasta el punto de ebullición alcanzando su estado de vapor” (Cusme & Valencia, 2014).

“La caldera es el equipo responsable de la generación de vapor a las condiciones de temperatura necesarias a la entrada de la turbina. En su interior, específicamente en la zona conocida como el horno u hogar, ocurre un proceso de combustión” (Cartaya, 2013).

“La caldera es una máquina o dispositivo de ingeniería diseñado para generar vapor. Este vapor se genera a través de una transferencia de calor a presión constante, en la cual el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia su fase” (García, 2013).

1.2. Mantenimiento

Acción utilizada para llevar comprobaciones, mediciones, reemplazos, ajustes y reparaciones que son necesarias para mantener en determinadas condiciones las unidades, o reparación de estas, es un proceso para lograr las condiciones que se desean llegar a lograr.

1.2.1. Mantenimiento preventivo

“El mantenimiento preventivo genera un conjunto de planes que deben realizarse en fechas pre programadas, son planes muy completos, debido a que en estos se detallan todos los materiales, herramientas y los repuestos a emplearse en dicho mantenimiento, también se tiene el detalle del personal técnico y el personal a cargo de la reparación” (Chang,2008). Realizar un mantenimiento de forma programada logra la obtención de mejora en los resultados y de realización de menor tiempo, debido a la información que existe de los componentes, materiales.

“El mantenimiento preventivo es la ejecución de un sistema de inspecciones periódicas programadas racionalmente sobre el activo fijo de la planta y sus equipos, con el fin de detectar condiciones y estados inadecuados de esos elementos que puedan ocasionar circunstancialmente paros en la producción o deterioro grave de máquinas, equipos o instalaciones” (Sierra, 2004).

Se debe tener documentada la información de las fallas y condiciones de los equipos reduce el tiempo de las máquinas, así evitar el deterioro ya sea permanente o grave de los componentes.

“Consiste en un programa anticipado a los posibles riesgos que puedan ocurrir en alguna operación que realice la maquinaria. Asimismo, se requiere que la organización se comprometa a cumplir las actividades de parada planificada sin interrumpir el plan de producción y no ver afectado al plan de ventas acordado con los clientes” (Salas, 2012). La prevención anticipada de los riesgos o fallas que pueden ocurrir a la maquinaria se convierte en un proceso fundamental para mejorar la producción o generación cumpliendo las actividades de una forma más segura.

- Mantenimiento programado

Es el tipo de mantenimiento donde las revisiones se realizan por períodos, según sea la necesidad.

1.2.2. Mantenimiento predictivo

“Se basa en el pronóstico físico de las fallas de un determinado componente de la máquina a causa de la situación y cualidades con lo que efectúan los operarios las máquinas sin perjudicar el normal funcionamiento” (Salas, 2012). El mantenimiento predictivo utilizado en el momento necesario que se debe efectuar con un seguimiento para que no varíe la utilización y sea un período prolongado.

“Es un mantenimiento “on condition” automático, evolucionado, planificado y programado que se fundamenta en el análisis técnico, programas de inspección y reparación de equipos, el cual se adelanta al suceso de las fallas en funcionamiento” (Abarca Iglesias, 2012).

“Consiste en la recopilación de datos periódicamente, el cual permite la creación de gráficas de tendencia que indican las condiciones de los equipos y sistemas, de tal manera que se pueda determinar su operación de manera segura y eficiente” (Valdez San Martín, 2009). Se debe tomar en cuenta el estado de los equipos con su debido historial de fallas o tipos de mantenimiento que se le han realizado, se tendrá una tendencia que se utiliza para basarse en ellos para saber qué procedimientos seguir.

- Seguridad eléctrica

En una instalación eléctrica debe estar de forma segura para que no exista o cause riesgos para las personas o equipos que se encuentren instalados en dicha instalación dando una mayor efectividad del equipo.

1.2.3. Gestión de mantenimiento

“La gestión de mantenimiento tiene como significado el conjunto de elementos que están relacionados para establecer un marco de referencia permitiendo que sea conservado, a fin de cumplir un fin determinado” (Velazco,2014). La implementación de una gestión de mantenimiento conlleva a realizar un trabajo más ordenado en un tiempo determinado para lograr cumplir el objetivo de las empresas.

“Se conoce como la aplicación sistemática de un conjunto de conocimientos, habilidades, herramientas fundamentadas en la planificación, ejecución y control para lograr el máximo rendimiento y máxima calidad y seguridad” (García, 2015). Con la información requerida para llevar un control de mantenimiento se podrá tener como resultado la mejora de entrega y de generación de un buen trabajo.

“El objetivo primordial de la gestión de mantenimiento es evitar la para innecesaria de la actividad productiva a causa de fallos en los equipos, máquinas e infraestructura. Y de presentarse, que tengan el menor impacto posible” (Quezada, 2014). Para las empresas es importante evitar las paras de productividad o generación por fallas que ocurren inesperadamente, por lo que llevar la debida gestión mejora el trabajo de entrega.

1.2.4. Generador eléctrico

“Un generador es una máquina que convierte energía mecánica en energía eléctrica, utilizando el principio de electromagnetismo y una fuerza externa de accionamiento. Debe mantener los niveles de frecuencia y voltaje en sus valores nominales, ya que estas variables dependen fuertemente de la operación del generador y de los cambios de carga” (Yescas, 2003).

“Un generador eléctrico es un dispositivo que convierte energía mecánica a energía eléctrica, usando generalmente inducción electromagnética. Pertenece al grupo denominado “máquinas eléctricas” al que también pertenecen los motores, que son muy similares a los generadores, pero realizan el proceso inverso de conversión” (Bravo, 2008).

Para la entrega de energía eléctrica es por medio de un generador eléctrico, debe estar en su correcto funcionamiento para que la calidad de

entrega de energía eléctrica pueda cubrir las necesidades de los entes que la utilizan.

“La energía que suministra un generador a un circuito eléctrico depende de la cantidad de carga que lo atraviese. Dado que la fuerza electromotriz FEM de un generador representa la energía que suministra al circuito por cada unidad de carga que lo atraviesa” (Villegas, 2013).

La fuerza electromotriz es un tipo de voltaje inducido manteniendo un diferencial de potencia que existe entre dos puntos dentro de un circuito abierto o que se produce una corriente eléctrica dentro de un circuito cerrado, esta es una característica importante en cada generador eléctrico que define el voltaje que este suministra.

- Generadores primarios

Es el encargado de convertir en energía eléctrica la energía de otra naturaleza que recibe o la que dispone inicialmente, como dinamos, alternadores.

- Generadores secundarios

Es el encargado de entregar una parte de la energía eléctrica que recibe previamente, posteriormente transforma nuevamente la energía que almacena en energía eléctrica.

- Generadores térmicos

Es el tipo de generador que tienen como finalidad convertir la energía térmica en energía eléctrica. Convierte directamente la energía que proviene del calor, utilizándolo para creación de energía.

- Generadores mecánicos

Este tipo de generadores recurren a la energía mecánica para así poner en funcionamiento el generador, tienen una capacidad de transformación de energía superior en eficiencia.

- Generadores de combustibles fósiles

Es el tipo de generador que produce electricidad a partir de la combustión de: gas, carbón, petróleo. Es el encargado de quemar el combustible para calentar las calderas de agua y estas producir vapor, el vapor a alta presión es disparado contra las aspas de los generadores, capaz de mover y producir energía mecánica necesaria para ser convertida en energía eléctrica.

- Energía mecánica

Es el tipo de energía que se crea con referencia de otro cuerpo, o dependiendo del movimiento que este tenga o dependiendo de la situación en que ambos cuerpos se encuentren.

- Energía eléctrica

Es el tipo de energía que se crea con referente a la existencia de dos puntos obteniendo entre ellos una diferencia de potencias permite que exista un movimiento de carga eléctrica que puede ser transportada por un conductor eléctrico.

La importancia de la generación de energía eléctrica para la población debido a que es completamente indispensable, por la tecnología que se está utilizando y las innovaciones que están surgiendo para mejorar el consumo de esta.

- Electromagnetismo

El electromagnetismo es la unificación existente entre la electricidad y el magnetismo dependiendo, según su posición variante entre el tiempo y el espacio, tiene el electromagnetismo movimiento o reposo de cargas eléctricas por medio de la existencia de campos magnéticos o campos eléctricos.

- Frecuencia

La frecuencia es la determinación con que ocurren sucesos concordantes a un período, en espacios determinados, dando como resultado una variación de repeticiones, midiéndose por medio de hercios (Hz). Dando lugar a obtener en términos eléctricos, una frecuencia de onda.

- Voltaje

El voltaje es la existencia de un potencial eléctrico formado entre dos puntos, existiendo una partícula entre ambos puntos, su movimiento se realizará dentro de un campo eléctrico, tiene como medida el voltio. Se le llama también el trabajo por una unidad de carga que es ejercido por medio del campo eléctrico.

- Carga

La carga se manifiesta en los campos electromagnéticos por medio de dos tipos de fuerza, la de repulsión o de atracción de las partículas subatómicas.

1.2.5. Turbina de vapor

“Es la encargada de transformar la energía térmica del fluido en energía cinética que acoplada al generador producirá la energía eléctrica” (Ramos, 2012).

“Las turbinas convierten la energía de un salto de agua en energía de rotación en un eje. La selección del tipo de turbina a utilizar depende de las características del sitio” (Alberto, 2011).

“En las máquinas generadoras, la energía cinética del aire o vapor en movimiento proporciona energía mecánica a un rotor o hélice que, a través de un sistema de transmisión mecánico, hace girar el rotor de un generador, convirtiendo la energía mecánica rotacional en energía eléctrica” (Orduz, 2011).

- Turbina de acción

El cambio en la expansión se realiza en los álabes directores o por medio de las toberas de inyección, estando estos elementos sujetos al estator.

Al existir un paso de vapor por el rotor se mantendrá una presión constante y existirá una reducción de la velocidad.

- Turbina Pelton

Turbina que consta principalmente del inyector, del rodete, el inyector tiene como misión la inducción del vapor de una manera puntual en la dirección conveniente, según el rodete.

- Turbina de reacción

La expansión del vapor se puede realizar por medio del estator como en el rotor, cuando ocurre una expansión únicamente en el rotor la turbina se le conoce como de reacción pura neta.

- Turbina de flujo axial

Es un método utilizado para el paso de vapor que se realiza siguiendo un cono que tiene el mismo eje de la turbina.

- Turbina de flujo radial

El paso de vapor se realiza siguiendo las direcciones perpendiculares al eje que existe en la turbina.

- Turbina con extracción de vapor

Se realiza en alta presión, enviando parte del vapor de vuelta a la caldera para esta sobrecalentarlo y reenviarlo a etapas intermedias. En algunas ocasiones el vapor es extraído de una etapa para derivarlo a otros procesos.

- Turbina de contrapresión

La presión que existe del vapor hacia la salida de la turbina es superior a la atmosférica, suele estar conectado a un condensador inicial que condensa el vapor.

- Turbina de condensación

El vapor se emite a una presión inferior a la atmosférica, en este tipo de turbina existe un alto aprovechamiento energético que, a contrapresión, se tiene agua de refrigeración de la condensación. Este tipo de turbina se utiliza cuando se busca un alto rendimiento.

1.2.6. Termografía

“La termografía es una técnica que permite medir temperaturas exactas a distancia y sin necesidad de contacto físico con el objeto a estudiar. Mediante la captación de la radiación infrarroja del espectro electromagnético” (Abarca Iglesias, 2012). La utilización de la radiación infrarroja no puede verse a simple vista ni puede ser captada por el ojo humano, es por eso que la termografía ayuda en la conversión de este tipo de señales en imágenes que resultan ser visibles con respecto a este método.

“La termografía resulta ser un método excepcional para detectar fallos en máquinas eléctricas. Las averías pueden ser detectables con esta técnica que son principalmente fallos en rodamientos, devanados, paquete magnético” (Picazo, 2016). La termografía es muy utilizada para realizar el estudio de detección del calor en los diferentes cuerpos para la localización de posibles problemas en los equipos, fallas antes que ocurran durante el funcionamiento de la maquinaria.

“La termografía es una técnica utilizada en la captación de la radiación emitida por los cuerpos. Una imagen termográfica es representada mediante los colores o los diferentes niveles de grises en un mapa de temperaturas superficiales” (Ruano, 2005). La captura de imágenes por medio de la termografía se utiliza para la prevención de averías, por medio de la distribución existente por medio de la temperatura en los equipos eléctricos o mecánicos, ayuda a la reducción del consumo energético, para conocer las ineficiencias por medio de puntos calientes.

- Emisividad

Es uno de los parámetros más importantes, siendo esta una medida de cuanta radiación es emitida por un objeto, comparándolo con la de un cuerpo negro perfecto de una misma temperatura.

- Temperatura aparente reflejada

Es la temperatura que influye en el resultado de una medición, aparentemente parecida a lo que ocurre en la emisividad, se debe determinar y ajustar la temperatura en la cámara termográfica.

La temperatura reflejada tiene una influencia en la medición, sobre todo cuando se miden objetos con emisividad muy baja.

- Humedad relativa

Es la fracción en la presión de la saturación que representa la presión del vapor de agua en el espacio en estudio.

1.3. Norma

Norma estándar utilizada para garantizar el mantenimiento a realizar en una planta termoeléctrica, utilizada por General Electric para el mantenimiento de este tipo de termoeléctricas, que consiste en un estándar de mantenimiento de verificaciones y recomendaciones a utilizar durante el período de revisión de la termoeléctrica determinando el tiempo determinado y la frecuencia para la realización de este tipo de mantenimiento.

- Norma

“Documento cuyo texto principal contiene cláusulas de carácter obligatorio que indican requisitos, cuyo formato generalmente es apropiado para que otro código o norma haga referencia y este sea adoptado como ley” (Jacome, 2011).

Tener una norma fijada en el mantenimiento preventivo ayudará a que el personal deba seguir los lineamientos establecidos para que se lleve a cabo como se debe el correcto funcionamiento.

- Código

“Es una compilación extensa de cláusulas que tienen como objetivo cubrir una amplia gama de temas que son adoptadas en leyes por medio de la existencia de otras normas y/o códigos” (Jacome, 2011).

El cumplimiento del código llevará al personal encargado de operar la planta a tener que regirse por medio del código, lo que se debe realizar basados a las normas.

- Salvaguarda

El propósito de la Norma GER-3621 es salvaguardar la propiedad de fallas, riesgos, personas derivadas que se tiene de la planta termoeléctrica, turbina de vapor y generador eléctrico para la eficiencia en la mejora de energía eléctrica.

- Suficiencia

La Norma GER-3621 son de consideración necesaria y útil para la seguridad. El mantenimiento y cumplimiento de esta en un mantenimiento dará como resultado una función libre de riesgos.

- Cobertura

La Norma GER-3621 son específicamente realizadas para cubrir las necesidades de mantenimiento de un generador eléctrico y una turbina de vapor en la planta termoeléctrica, tomando en cuenta las debidas verificaciones y recomendaciones por la norma, para mantener en mejor estado los componentes mencionados anteriormente.

- Capacidad

Las capacidades en los sistemas eléctricos tienen un diseño basado en la carga para cubrir la demanda del servicio en existencia que se va a utilizar, tomando en cuenta la demanda de generación que requiere por medio de la planta termoeléctrica mejorando la eficiencia en generación del generador eléctrico y la turbina de vapor.

- Falla

La falla puede ocurrir en momentos donde alguno de los componentes o piezas llegan a fallar en determinado momento, así afectando el funcionamiento correcto de la máquina en uso, interfiriendo con el flujo de corriente en el generador o turbina ocasionando un punto de operación con baja generación de energía, provocado por un sobrecalentamiento, flujos de vapor, deterioro de los componentes de la planta termoeléctrica.

- Sobrecalentamiento

El sobrecalentamiento ocurre al momento de existir una falla y esta ocasionar una temperatura mayor a la temperatura que puede soportar una máquina produciéndole una avería o deterioro a la misma.

- Avería

Una avería ocurre al momento existente de un fallo afectando el buen funcionamiento de la maquinaria.

- Deterioro

El deterioro es un problema que se produce al momento de una deformación, al momento de ocurrir una deformación o un destrozo.

1.3.1. Factor de potencia

“En los sistemas de corriente alterna existen dos componentes de la corriente que logran hacer posible que la energía sea transferible. Una de estas es convertida por el equipo en trabajo, conocida como la componente de corriente activa. La otra es encargada de producir un flujo necesario en la operación de equipos electromagnéticos como los motores de inducción” (Santana, 2011).

“Se denomina factor de potencia al cociente que existe entre una potencia activa y una potencia aparente, que es coincidente con el coseno del ángulo entre la corriente y la tensión para formar una onda sinusoidal pura” (López, 2011). Proporcionar una potencia reactiva necesaria, esto ayuda en la reducción de la corriente, es decir, consume menos potencia, para lograr así ventajas en la utilización de los generadores eléctricos.

“El factor de potencia puede variar entre cero y uno, dependerá del valor que tenga el ángulo, el factor de potencia puede ser en adelanto o en atraso, dependiendo que la corriente esté en adelanto o en atraso con respecto al voltaje” (Maldonado, 1965). El desfase existente entre la relación de corriente y voltaje es el encargado de indicar el correcto aprovechamiento de la energía eléctrica. La recomendación para que no sea afectada la red eléctrica es que el factor de potencia este en valor de uno.

El factor de potencia es el coseno del ángulo que existe entre la potencia aparente y la potencia activa, obteniendo su fórmula como: (1), en donde “jQ” es la potencia reactiva inductiva. El factor de potencia puede estar en:

$$S = P + jQ \quad (1)$$

- Factor de potencia en adelanto

Se denomina que el factor de potencia está en adelanto cuando en la existencia de una corriente se adelanta en función de la tensión.

- Factor de potencia en atraso

Se denomina que el factor de potencia está en atraso cuando en la existencia de una corriente se retrasa en función de la tensión, dice que existe una carga inductiva.

- Triángulo de potencia

Determina la relación existente con los tipos de potencia que se encuentran en un circuito eléctrico de corriente alterna, la interacción de una potencia con respecto a otras dos, debido a que si se modifica una potencia está afectará a las otras dos potencias. Determinadas las potencias como potencia activa y potencia aparente.

- Potencia activa (P)

Es el tipo de potencia creada por los dispositivos de tipo resistivos existentes. Llamada también como potencia útil, es decir, es la potencia que

existe en el momento del funcionamiento de un equipo eléctrico realiza este como consecuencia un trabajo. La unidad de medida en esta potencia es el vatio (W). Su fórmula es: (2)

$$P = I * V * \cos \varphi \quad (2)$$

- Potencia aparente (S)

Es el tipo de potencia creada en una red de distribución eléctrica, por ello, la potencia total que es creada por los generadores en la planta eléctrica, convirtiéndose en los valores de eficacia existente entre tensión e intensidad. La unidad de medida en esta potencia es el voltamperio (VA). Su fórmula para utilizar es: (3)

$$S = I * V \quad (3)$$

- Potencia reactiva (Q)

Es el tipo de potencia existente en la generación de campos eléctricos y campos magnéticos actuando entre el generador y los receptores. Por ello, la potencia que es consumida en los dispositivos eléctricos que tienen un tipo de bobina o condensador. La unidad de medida en esta potencia es el voltamperio reactivo (VAr). Su fórmula es: (4)

$$Q = I * V * \sin \varphi \quad (4)$$

1.3.2. Curva de capacidad

“En una curva de capacidad se puede determinar las combinaciones existentes entre la potencia activa y la potencia reactiva que pueden ser producidos por el generador con respecto a diferentes factores de potencia y ángulos de potencia” (Castillo, 2013).

La curva de capacidad permite saber los límites a los cuales puede operar un generador sin que ocurran fallas al mismo, la curva de capacidad determina los cambios ocurridos en los transcurso de tiempos de funcionamiento de la maquinaria.

“La curva de capacidad, es donde se muestran las limitaciones con base a la potencia activa y reactiva, cuando la máquina funciona a sus valores nominales; son valores a los cuales el núcleo y el devanado alcanzan una temperatura de régimen de diseño” (Alton, 1993).

“Debido a que la demanda eléctrica es impredecible, la potencia activa y reactiva que despachan los generadores siempre cambia respecto al tiempo, es por esto que se necesita conocer los límites a los que opera la máquina para realizar una correcta protección de la misma y evitar daños respecto a magnitudes eléctricas” (Astudillo Pinos, 2016).

- Eficiencia energética

La eficiencia energética se define como la reducción del consumo de la energía eléctrica, aprovechando la emisión de energía de una mejor manera, mostrando de manera eficaz el correcto uso de la energía, potenciando la demanda de calidad de energía por el consumo.

La fórmula a utilizar para la verificación de la eficiencia eléctrica o eficiencia energética es: (5)

$$Eficiencia = \frac{Potencia\ útil}{Potencia\ consumida\ (teórica)} \quad (5)$$

Donde se puede decir que la potencia útil es la cantidad realizada de trabajo mecánico o también interpretada como la energía consumida. La potencia consumida es la cantidad de trabajo o la energía que se está utilizando como entrada necesaria para que se efectúe el proceso (6).

$$\% \text{ eficiencia} = \frac{Producción\ real}{Producción\ esperada} * 100 \quad (6)$$

2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

El objeto del estudio del presente trabajo de graduación es la gestión de mantenimiento predictivo basado al estado de sobrecalentamientos en la turbina de vapor y generador eléctrico de acuerdo con la norma GER-3621, basado en lo anterior implementar una gestión de mantenimiento eficiente.

- Para identificar las fallas y de mantenimiento correctivo los equipos a aplicar el mantenimiento predictivo, basado en termografía se presentan los siguientes resultados:

2.1. Verificación termográfica a la turbina

Por medio de la termografía en la turbina se puede comparar con el desempeño de la turbina de vapor que genera en condiciones de operación de manera controlada. Tomando en cuenta las especificaciones del fabricante. Realizando la termografía se puede anticipar a fallas, mediante la temperatura, fallas en la presión, fallas en la eficiencia. La termografía es utilizada como una base importante del mantenimiento de la planta de generación eléctrica.

La verificación de los puntos que superan los márgenes establecidos de temperatura son el diagnóstico para las zonas que han sufrido daño en la turbina, permitiendo de esta manera una mejora en el ajuste por el desgaste que ha sufrido durante la operación de la planta termoeléctrica. Detectando por medio de la termografía fracturas existentes en los álabes, carcas de la turbina.

2.2. Verificación de temperatura en la turbina

La realización de la termografía en la turbina se debe realizar en marcha, permitiendo saber si se producen pérdidas en el rendimiento por un aislamiento deficiente o que existan fugas de vapor. Por medio de la termografía es posible establecer las características en que se encuentra la turbina, ubicando las raíces de los problemas.

2.2.1. Temperatura del aceite

La temperatura máxima de un aceite en los cojinetes debe de estar entre los 55 ° y 70° C, al estar la temperatura en un nivel mas bajo provoca que la viscosidad aumente demasiado, al estar la temperatura a un nivel mayor reducen la vida del aceite provocando deterioros a la turbina. El calentamiento del aceite puede provocar la formación de ceras, lodos y contaminación.

2.3. Verificación termográfica al generador

La termografía en los generadores puede ser utilizada para la verificación de la temperatura existente en las bobinas del estator para la verificación de fallas, desgastes en los devanados que producen fallas o pérdidas totales, temperatura en los aceites de lubricación para corroborar aumento de temperatura o falta de lubricación en puntos específicos, temperatura del agua de enfriamiento, o aumento de temperatura en el tipo de refrigeración que sea el recomendado por el fabricante.

2.4. Verificación de resistencia del devanado de cobre

La verificación del devanado en el estator del generador se debe realizar la comprobación de la existencia de malas conexiones dentro del estator, las pausas de operación para la verificación de puntos calientes por medio de la termografía que determinan la falla en el devanado de cobre.

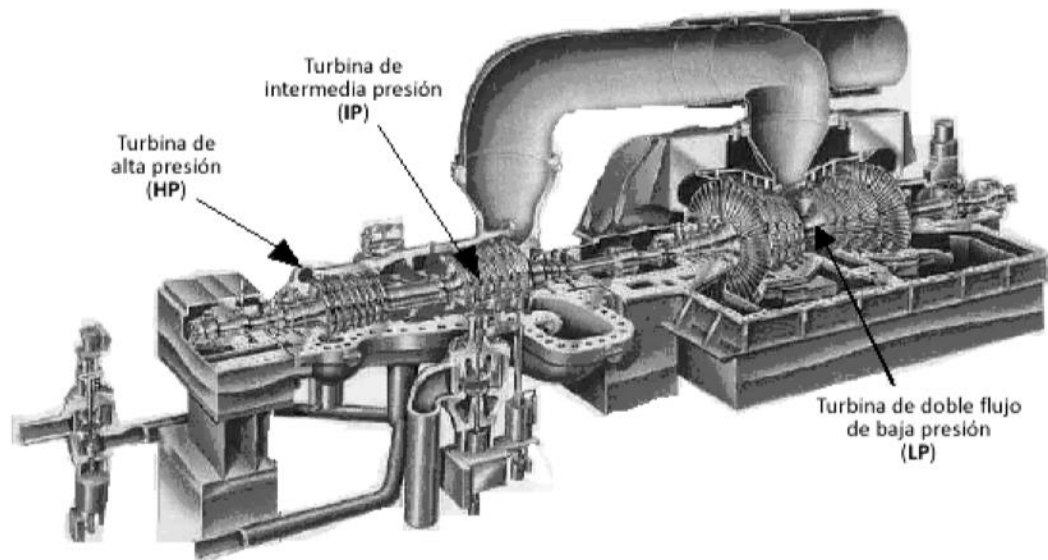
- Para realizar las pruebas para garantizar la vida útil de la turbina de vapor y generador eléctrico de la planta termoeléctrica, para su calidad de funcionamiento y generación de energía eléctrica se realizan las siguientes verificaciones:

2.5. Verificaciones realizadas a turbina de vapor

Una turbina de vapor debe ser conocida por los operarios instaladores y encargados de realizar el mantenimiento. Al introducir vapor a una presión y temperatura determinadas, el vapor realiza la operación de girar los álabes que están unidos a un rotor siendo este un eje. En la salida de la turbina, el vapor que es introducido en un nivel de energía determinado tiene una presión y una temperatura que es inferior. La energía que queda perdida por el vapor se utiliza para mover el rotor. Para su correcto funcionamiento es necesario que tenga un sistema de lubricación, un sistema de refrigeración, sistema de cojinetes de fricción, sistema de control, sistema de regulación.

En las verificaciones realizadas a una turbina de vapor se deben llevar a cabo por las instrucciones de operación al momento de arranque, durante la marcha de la turbina, y al momento de existir un paro del equipo. Se debe verificar la presión, temperatura de la turbina.

Figura 1. Turbina de vapor



Fuente: Pensado, E. *Diagnóstico automático de turbinas de vapor en línea*. 2008. shorturl.at/Q1589. Consulta, 2019.

2.5.1. Verificación condiciones de operación

Se debe realizar la verificación de operación en momentos de operación de procesos termodinámicos que operan con un grado de producción, verificación de operación transitoria, que dan la información de las fallas que suceden por fatiga, por los puntos críticos de materiales por medio de la termografía.

2.5.2. Verificación de presión en turbina

La verificación de fugas de vapor en la turbina ayuda en el proceso de poder mantener la presión necesaria para el buen funcionamiento de la turbina, se debe realizar la comprobación de la presión existente de vapor de sellos, la

presión de sellos, se debe regular a una presión determinada, según especificaciones existentes en la planta. La existencia de una presión menor puede provocar que el vapor se escape al exterior, se pierde energía y puede provocar la contaminación de aceite en el momento que el vapor entre en el cojinete, afectar a algún sensor medidor que recibe el vapor caliente.

2.5.3. Verificación del sistema de lubricación

La verificación de la lubricación y el uso correcto de lubricantes ayuda en la reducción de riesgos y producir enfriamiento. La verificación de lubricante debe estar basada en el desgaste, la fricción y el tipo de superficie. En el sistema de lubricación debe ser evitada la condensación de agua, utilizando un ventilador para la extracción en el tanque.

2.5.4. Verificación bomba principal de aceite

Bomba principal que se acciona por fuera de la flecha que contiene la turbina por medio de engranajes que suministran el aceite para lubricar, mientras la turbina esta funcionando.

2.5.5. Verificación bomba auxiliar del aceite

Bomba que permite la lubricación del aceite, mientras la turbina se encuentra en movimiento o en estado parado. Es una bomba compuesta de engranajes que se acciona por medio de un motor C.A.

2.5.6. Verificación válvula de regulación

Para el arranque y condiciones normales deben suministrar el vapor de una forma fiable y rápida, para evitar fugas, sobrecargas que deterioren o dañen a la turbina de vapor.

2.5.7. Verificación de cojinetes

Se deben sustituir periódicamente por ser elementos que tienen desgaste por el funcionamiento de la turbina. Los cojinetes son los encargados de evitar el empuje axial al rotor por medio del vapor. Verificándolos por medio de la termografía.

2.5.7.1. Mala calidad del aceite

Con el tiempo, el aceite pierde propiedades por degradación de los aditivos contaminándose con partículas con agua o metálicas. La presencia de variación en la viscosidad del aceite con la temperatura, la presencia de agua. La verificación semanal del aceite y el purgado de agua permite que no se entre en la lubricación y se puedan tener mejoras en las medidas de prevención.

2.5.7.2. Mal estado de cojinetes

Existen tres cojinetes en la generación de energía siendo estos el delantero, de empuje, trasero. Sufren desgastes con el pasar del tiempo, aunque se realice una lubricación adecuada. La verificación de las tolerancias, según las especificaciones del fabricante y de operación es necesario tomar en cuenta los intervalos de medida y cambios si presentan algún problema.

2.5.8. Verificación de sellado de vapor

Los sellos de una turbina son de material de carbón o de bronce, que son ajustados en el eje, evitan que el vapor tenga salida a la atmósfera, que tenga disminución térmica en la turbina de vapor. La fricción produce pérdida en los sellos que retienen los lubricantes, debido a la mala lubricación.

2.5.8.1. Sellos elípticos

Son el tipo de sellos que tienen un huelgo mayor en la parte superior e inferior que son utilizados para evitar el deterioro de sellos por los movimientos de los ejes en estos sentidos.

2.5.9. Verificación en los álabes

La existencia de una partícula extraña en una turbina puede provocar un golpe en un álabe y esto provocar la pérdida de material o puede ocasionar un daño que afecte al rotor y este este equilibrado. Para evitar la presencia de partículas extrañas se deben verificar los filtros que retienen objetos de determinado tamaño que se encuentren en circulación dentro de las tuberías de vapor.

2.5.10. Verificación de la curvatura del rotor por una parada en caliente

Una turbina de vapor está compuesta por un sistema virador que permite que el eje no este curvado en el momento de estar caliente. Este sistema permite distribuir los pesos de manera uniforme sobre el eje que esta en rotación y poder evitar que se desequilibre el rotor y existan curvaturas.

En el momento que una turbina es parada en caliente y el sistema de virado no entra inmediatamente en marcha, el eje puede tomar una curvatura hacia arriba.

2.5.11. Verificación de toberas y diafragmas

La verificación de erosiones existente por gotas de agua o existencia de partículas sólidas, existencia de corrosión, daños mecánicos, cambios de presión, cambios de temperatura en la admisión, verificación y evaluación de contaminantes existentes en la turbina.

2.6. Verificaciones realizadas a generador eléctrico

En las verificaciones realizadas al generador eléctrico, la importancia de verificación de la ventilación y el calentamiento es de realizarla en períodos diarios, para evitar sobrecalentamientos, observar las lubricaciones, comprobar las cargas, siempre realizar la verificación general del generador, corroborar la resistencia de aislamiento que no sea afectada por las altas temperaturas, equilibrio del rotor. Aplicar los enfriamientos adecuados, verificaciones de los enfriadores, se sabe que el generador esta conectado a la turbina de gas que es quien genera la potencia que se desea. El correcto funcionamiento del generador eléctrico permite tener una eficiencia de energía de mejor calidad durante la generación eléctrica de la planta termoeléctrica.

Figura 2. **Esquema de turbina y generador eléctrico**



Fuente: Izaguirre, C. *Análisis de un sistema de control distribuido para generación eléctrica con motores de combustión interna en una central termoeléctrica*. 2015. shorturl.at/swN34. Consulta, 2019.

2.6.1. Verificación de lubricantes

Para la verificación de los niveles de lubricante en el generador, se debe realizar con el generador en frío, el lubricante a utilizar debe ser el recomendado por el fabricante, el uso de un lubricante que no sea el recomendado por el fabricante puede causar que este se queme fácilmente, ocasionando deterioros al generador, que los filtros dentro del generador contengan mayor suciedad.

La verificación y cambio de aceite deben quedar a la medida que esta establecida por el fabricante sin sobrepasar el máximo permitido.

2.6.1.1. Verificación del filtro de aceite

El cambio del filtro del generador debe realizarse cuando lo señale el indicador de filtro, por el nivel de suciedad que contenga el filtro de admisión de aire, verificación del tamaño y la concentración que contenga de polvo y agentes externos que se encuentren en él. El cambio de filtro debe realizarse con una frecuencia de cada seis meses.

2.6.1.2. Verificación del filtro de combustible

La verificación del filtro del generador puede requerir de limpieza o de un cambio, según los agentes externos que puedan estar en el filtro. La forma de limpieza del filtro se debe retirar del equipo y realizar la limpieza con un tipo de detergente que no sea abrasivo y que sea fácil de secar.

2.6.2. Verificación del sistema de refrigeración

La verificación del sistema de refrigeración debe de llenarse con refrigerantes que puedan resguardar el generador contra la congelación y evitar la corrosión interna del generador. Al realizar la sustitución del refrigerante se debe realizar una limpieza del sistema de refrigeración.

2.6.3. Verificación de los devanados

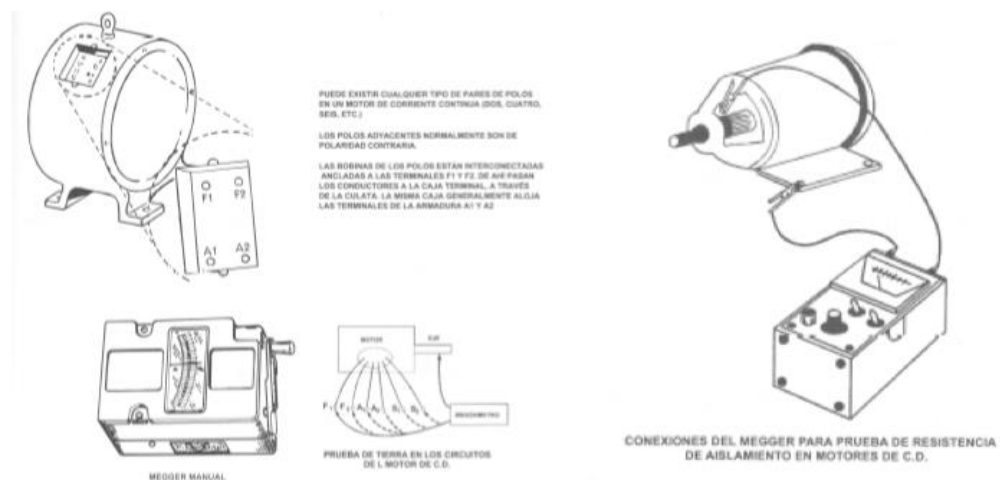
La verificación de los devanados por medio de la medición del aislamiento a tierra de la carcasa del generador, la resistencia de la carcasa se puede ver

afectada cuando se encuentra existencia de humedad o suciedad dentro de los devanaos, siendo la medición de los aislamientos lo que dará como resultado el estado en que se encuentra el estado del devanado. Para la medición del aislamiento se utiliza un dispositivo llamado Megger.

2.6.3.1. Megger

El Megger es utilizado para la medición de los aislamientos eléctricos dentro del generador, este consta de un generador de corriente continua, que suministra la corriente que se utilizará para llevar a cabo la medición con el mecanismo del cual se podrá medir el valor de resistencia. Este consiste en dos imanes que se encuentran rectos y de una forma permanente que se encuentran colocados paralelamente.

Figura 3. Prueba de Megger a generador



Fuente: Castillo, J. *Procedimientos a seguir para la puesta en funcionamiento de los sistemas eléctricos, en una planta industrial, afectada por una inundación*. Consulta, 2019.

2.6.4. Verificación de los cojinetes

Para la verificación de cojinetes se debe tener en cuenta la pérdida de aceite, comprobación del desgaste de los cojinetes, verificación de sobrecalentamientos en los cojinetes, verificación de la existencia de grasa para el buen funcionamiento o rodamiento de estos, los cojinetes deben ser cambiados cada 40,000 horas en servicio.

2.6.5. Verificación de escobillas

Las escobillas deben tener una duración que debe perdurar la vida útil del equipo, en algunos casos existen los desgastes en una cuarta parte de la longitud de las escobillas, es en estos casos que deben sustituirse.

2.6.5.1. Índice de polarización

La verificación del índice de polarización en el devanado del estator consiste en la inspección de contaminación existente dentro del devanado del estator, la verificación del deterioro del aislamiento de este.

2.6.6. Verificaciones visuales

La verificación visual se realiza sin utilización de ningún instrumento, se debe verificar la limpieza del generador, la poca existencia de materiales que no correspondan al generador, verificación de la existencia de piezas suelta o desplazadas, la corrosión existente en la parte externa del generador y los desgastes. Se debe tomar muy en cuenta la verificación de los conductos de ventilación que estos no se encuentren bloqueados.

2.6.7. Verificación del alternador

La verificación del estado de los devanados dentro del alternador y la verificación de los cojinetes, como el desgaste o suciedad de los aros rozantes.

2.6.8. Verificación del regulador de voltaje

El regulador de voltaje es un sistema de control que permite mantener el voltaje de un generador a un valor predeterminado para su funcionamiento, se utiliza para variar dependiendo las condiciones de operación del generador, es un circuito que tiene la función del censado de desviación entre el voltaje que emite el generador y un valor determinado.

2.6.9. Verificación de la frecuencia

El valor de la frecuencia debe estar ajustado por el regulador de la turbina durante el arranque del generador. Se puede verificar y ajustar durante la operación solo bajo la condición de cambios bruscos.

2.6.10. Verificación de corriente de excitación

Esta verificación debe realizarse de acuerdo con las condiciones de operación que se encuentre el generador.

2.6.11. Verificación de voltaje de excitación

Esta verificación debe realizarse de acuerdo con las condiciones de operación que se encuentre el generador durante el cambio de carga activa y reactiva.

2.6.12. Verificación del factor de potencia

La verificación del factor de potencia en general debe siempre mantenerse dentro de los límites de especificación para cada generador, según el fabricante, en algunos casos el factor de potencia puede variar, debido a las necesidades existentes, según la potencia reactiva y activa.

2.6.13. Verificación voltaje de salida

La verificación del voltaje de salida dependerá del regulador que contenga el generador, según la operación deseada o el voltaje necesario para la operación.

2.6.14. Verificación de potencia en el generador

La verificación debe ser realizada por medio del controlador regulador del generador, según las necesidades, ya sea aumentando el par del motor o bien disminuyendo, según la carga requerida.

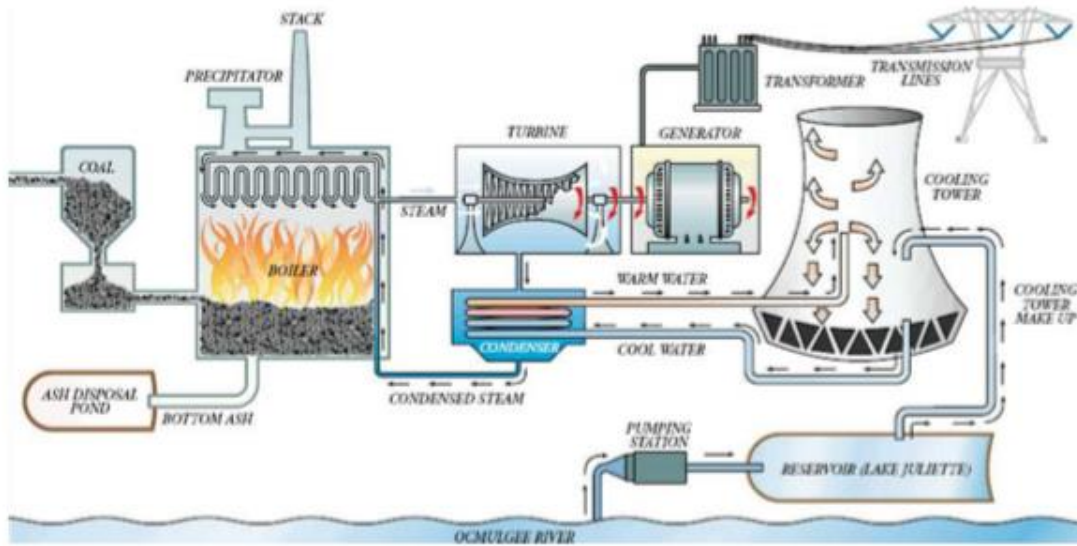
- Para la evaluación de la gestión de mantenimiento utilizando la norma GER-3621, para mejorar la eficiencia en la generación eléctrica se presentan las siguientes verificaciones y recomendaciones.

2.7. Resultados Norma GER-3621

La implementación de un plan de mantenimiento preventivo en una planta termoeléctrica es de suma importancia para la generación de energía eléctrica utilizando la norma GER-3621, conservando el estado del generador eléctrico y la turbina de vapor.

Estableciendo las propuestas de verificaciones y recomendaciones para la calidad y mejora en la generación de energía eléctrica con base a la norma GER-3621.

Figura 4. **Planta termoeléctrica convencional**



Fuente: Izaguirre, C. *Análisis de un sistema de control distribuido para generación eléctrica con motores de combustión interna en una central termoeléctrica*. 2015. shorturl.at/swN34. Consulta, 2019.

2.8. Plan de mantenimiento preventivo

El plan de mantenimiento consiste en implementarlo con base a las recomendaciones y verificaciones, según la norma GER-3621. Utilizando a su vez la utilización de termografía en puntos específicos de la turbina y el generador eléctrico que conforman la planta termoeléctrica para detectar los puntos calientes, para evitar fallas temporales en los componentes.

2.9. Verificaciones

Las verificaciones serán una herramienta útil para cumplir con los estándares específicos de los fabricantes con respecto a la turbina de vapor y generador eléctrico para el correcto funcionamiento; para lograr una mejora en la productividad, eficiencia y generación de energía para la demanda de la termoeléctrica. La reducción de fallas permitirá la comprobación rápida en el progreso de las verificaciones y reducción de paro; mejora la organización del empleo de un plan de mantenimiento preventivo para ejecutar de forma ordenada el mantenimiento.

2.9.1. Planta de vapor

La importancia para la verificación en la planta de vapor para la implementación de un plan de mantenimiento preventivo será la reducción de problemas, fallas, con ello se evitarán temperaturas elevadas en sus componentes por desgastes, falta de lubricación, fugas de vapor, dificultad en el correcto funcionamiento de la planta de vapor.

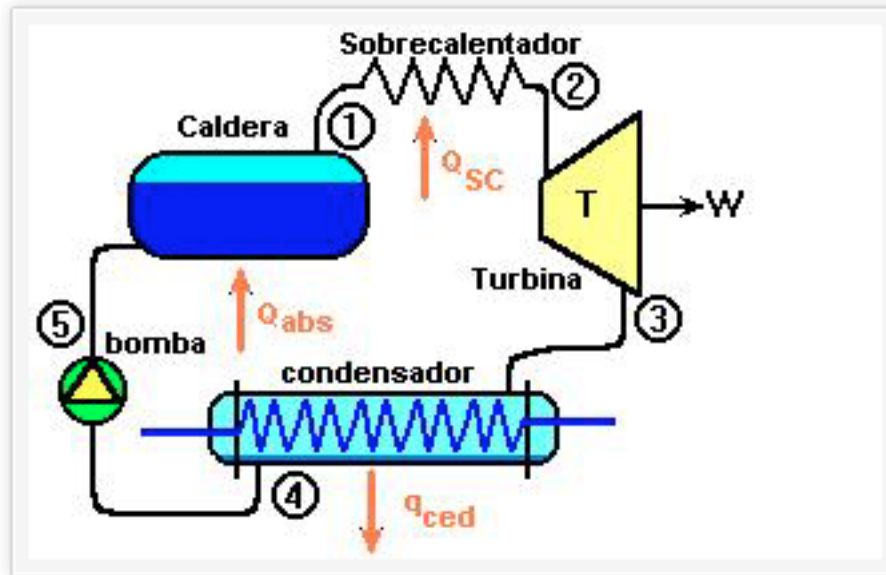
Tabla I. **Verificaciones para el mantenimiento de una turbina de vapor**

Para la implementación del plan de mantenimiento preventivo es necesario tomar en cuenta las siguientes verificaciones en la turbina de vapor.

Elemento	Frecuencia
Inspección visual turbina	Semanal
Rodamientos	Semanal
Tableros eléctricos	Semanal
Fugas de aceite	Quincenal
Limpieza de aceite	Quincenal
Niveles de aceite	Quincenal
Fugas de vapor	Quincenal
Análisis de aceites	Mensual
Lubricación reductor y alternador	Mensual
Condiciones de operación	Mensual
Presión de turbina	Mensual
Temperatura de aceite	Mensual
Bomba principal de aceite	Mensual
Bomba auxiliar del aceite	Mensual
Válvula de regulación	Mensual
Cojinetes	Mensual
Sellado de vapor	Mensual
Álabes	Mensual
Limpieza externa	Mensual
Toberas y diafragmas	Mensual
Temperatura Turbina	Mensual
Filtros de aceite	Mensual
Apriete de tornillos	Mensual
Alternador	Mensual
Curvatura del rotor	Anual
Potencia	Anual

Fuente: elaboración propia.

Figura 5. Esquema de funcionamiento turbina de vapor



Fuente: Renovetec. *Mantenimiento de turbinas de vapor*. shorturl.at/jzBST. Consulta: 2019.

2.9.2. Generador eléctrico

La importancia de la verificación en el generador eléctrico planta para la implementación de un plan de mantenimiento preventivo será la reducción de problemas, fallas, evitando temperaturas elevadas en sus componentes por desgastes, falta de lubricación, mejora de generación de energía eléctrica, para su correcto funcionamiento así obtener una mejor eficiencia en la entrega de energía eléctrica de la planta termoeléctrica.

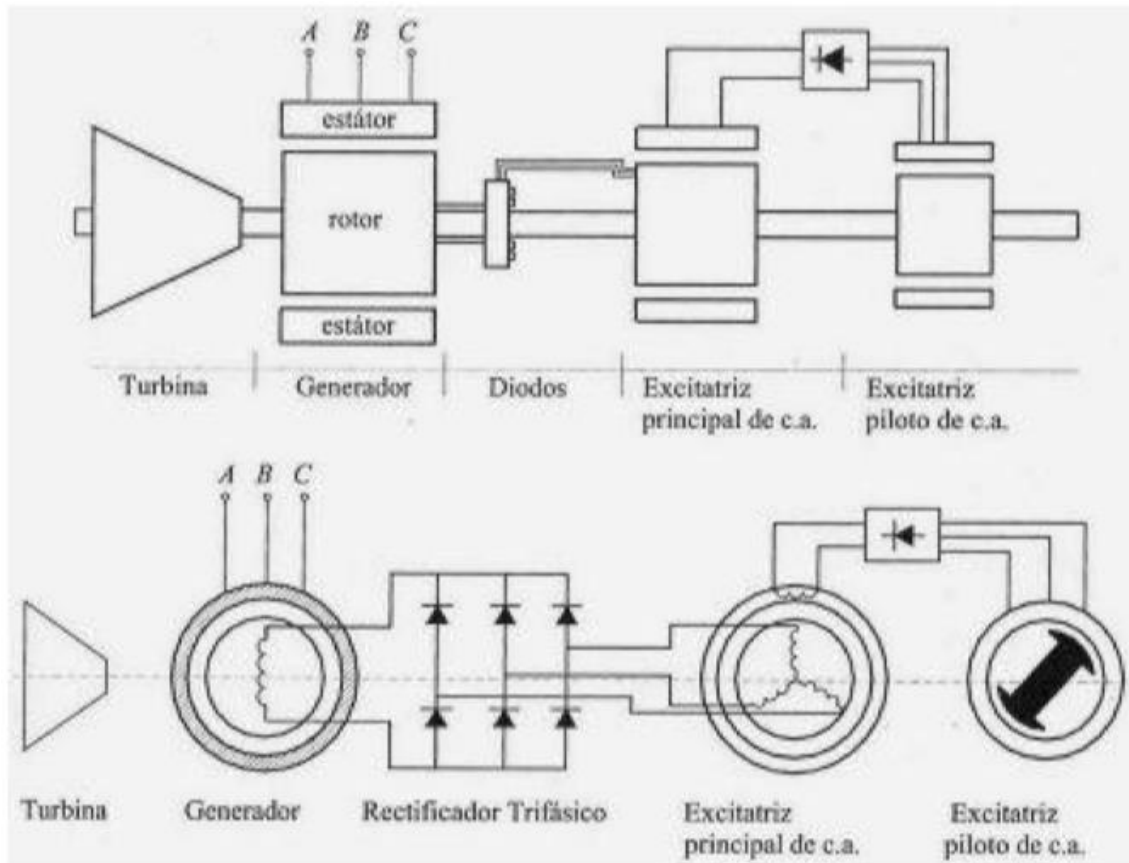
Tabla II. **Verificaciones para el mantenimiento de un generador eléctrico**

Para la implementación del plan de mantenimiento preventivo es necesario tomar en cuenta las verificaciones en el generador eléctrico.

Elemento	Frecuencia
Enfriadores	Diario
Filtro de aire	Diario
Limpieza externa	Semanal
Inspección visual generador	Semanal
Alternador	Semanal
Lubricantes	Semanal
Panel de control	Semanal
Filtro de aceite	Quincenal
Filtro de combustible	Quincenal
Sistema de refrigeración	Quincenal
Devanados	Quincenal
Cojinetes	Mensual
Escobillas	Mensual
Resistencia del devanado de cobre	Mensual
Regulador de voltaje	Mensual
Frecuencia	Mensual
Corriente de excitación	Mensual
Voltaje de excitación	Mensual
Factor de potencia	Mensual
Voltaje de salida	Mensual
Potencia en el generador	Mensual
Refrigerante	Mensual
Pruebas	Mensual
Niveles de aceite	Mensual
Breaker	Mensual
Depuración sistema enfriamiento	Anual
Termografía	Anual

Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Esquema de funcionamiento generador eléctrico**



Fuente: Brush. *Operating and maintenance manual for generator electric model BDAX 82.445 ERH*. 1997. Consulta: 2019.

2.10. **Recomendaciones plan de mantenimiento preventivo para una planta termoeléctrica con base a la norma GER-3621**

Con base a la norma GER-3621, se determinan las recomendaciones utilizadas para la implementación de un plan de mantenimiento preventivo a una planta termoeléctrica, para el correcto funcionamiento del generador eléctrico y la turbina de vapor.

2.10.1. Recomendaciones turbina de vapor con base a la norma GER-3621

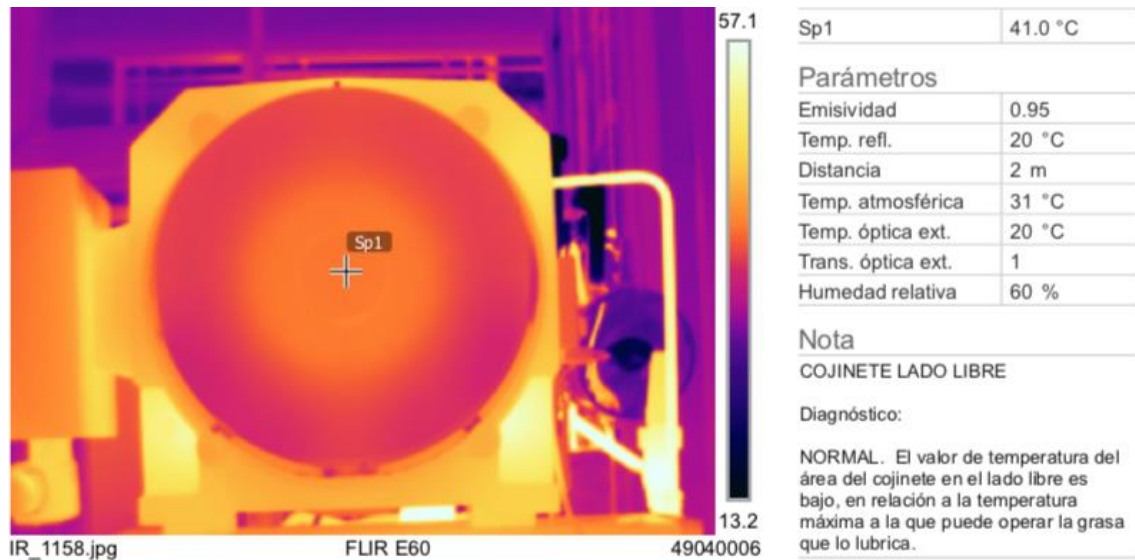
- Utilizar el vapor adecuado a las características físico-químicas que demanda el fabricante.
- Durante la marcha y parada de la turbina se deben seguir los lineamientos en la operación de arranque.
- Realización de comprobación de aceites de lubricación comprobando la calidad del aceite, temperatura, residuos de contaminantes dentro del aceite.
- Si en la turbina de vapor se dan índices de temperaturas muy elevadas es necesario realizar el paro de la termoeléctrica y realizar la revisión del equipo sin sobrepasar los parámetros determinados en la producción de energía eléctrica.
- Al realizar un paro de la planta termoeléctrica revisar causas que pudieron forzar al paro.
- La inspección en los álabes se debe realizar para la revisión las incrustaciones y defectos que pueden aparecer en las superficies, debido a los roces o impactos.
- La verificación y comprobación de los cojinetes procede para ser cambiados para su funcionamiento.
- Los cojinetes deben ser revisados o sustituidos sin necesidad de tener abierta la turbina.

- El cambio de filtros de aceite debe ser realizado para garantizar que no existan filtraciones de partículas y la mejora del aceite.
- La realización de inspección en la válvula de regulación que contiene la turbina garantiza el funcionamiento y estado de los elementos internos que se encuentran en la válvula, mejorando su correcto funcionamiento obteniendo una regulación correcta y se logre una correcta sincronización y no existan partículas llevadas por el vapor.
- La calidad del aceite para la lubricación se logra por medio del funcionamiento en vacío del depósito de aceite para que los vapores puedan producirse de manera correcta.
- La revisión de la lubricación reduce los problemas en los cojinetes, si no se realiza la revisión puede causar que el aceite no llegue correctamente entre los cojinetes provocando roces y altas temperaturas.
- La comprobación del apriete de tornillos se deben realizar semanalmente para evitar problemas con las vibraciones y esto produzca fallas y aumentos de temperaturas.
- La revisión del alternador debe realizarse por medio de termografía, para descartar problemas de vibraciones o desgastes.
- Realizando la comprobación de vapor en los sellos para la regulación de la presión determinada, según lo demande el fabricante. Al existir una presión baja provoca que el vapor se escape al exterior, provoque pérdida de energía y esto pueda provocar daños.

- Realizando la termografía en la turbina debe realizarse al momento que la planta termoeléctrica este en marcha para comprobar si se producen pérdidas durante el rendimiento o existencia de deficiencia en el aislamiento o la existencia de fugas de vapor.
- Se debe realizar una limpieza y mantenimiento en el panel de control, en muchas ocasiones existen averías en los sistemas eléctricos y electrónicos que causa la suciedad.
- La limpieza en el alternador internamente debe realizarse para que sea garantizada la ausencia de averías o fallos.
- Verificar eléctricamente el alternador para verificar el funcionamiento del alternador y a su vez sus protecciones.
- El cambio de filtros del alternador garantiza que el aire no entre en contacto con los bobinados y estos no sufran problemas por suciedad. Debe realizarse el cambio de los filtros anualmente.
- La realización de la inspección visual diariamente en la temperatura de entrada y de salida de vapor, las presiones de la turbina.
- La inspección visual de la turbina y sus auxiliares debe realizarse diariamente, para evitar las fugas de aceite, fugas existentes de vapor, temperaturas altas.
- Realizar la verificación de las conexiones del tablero por medio de termografía para la detección de posibles cables rotos, o expuestos.

- Tomar en cuenta los fallos críticos existentes en la turbina, que pueden afectar la producción o generación de energía.
- Se debe tomar en cuenta un análisis histórico de averías, elementos que fueron adquiridos en períodos anteriores para determinar y tomar en cuenta qué elementos son los que sufren desgastes o temperaturas altas.
- En una parada en caliente, se debe inspeccionar el rotor para evitar la curvatura de este, ya que en un aumento de temperatura los pesos pierden redistribución de los pesos de manera uniforme sobre el eje de rotación, y este puede curvarse hacia arriba.
- El uso de la termografía en las tuberías de vapor es de gran importancia para tomar en cuenta si el alineamiento de las tuberías sufrió algún cambio provocando fallas o pérdida de vapor.
- La termografía detecta el factor de recalentamiento para la eficiencia de la turbina que tiene pérdidas de vapor por fugas, sobrecalentamientos por fricción por el contacto entre las partes móviles o partes estacionarias dentro de la turbina, esto incrementa la temperatura del fluido y representa la disminución de la eficiencia en la generación.
- La temperatura o sobrecalentamientos son los principales elementos que provocan las fallas mecánicas, reducen las propiedades en los lubricantes, reducen las propiedades en los aceites; como consecuencia se observa los desgastes y fatigas en materiales en la turbina de vapor. Establecer la termografía para controlar los parámetros deseados de temperatura sin averías, para obtener una mejor eficiencia en la entrega de energía.

Figura 7. Termografía cojinete



Fuente: Frisa. Informe de termografía frigoríficos de Guatemala, S.A, departamento de mantenimiento. Consulta: 2019.

2.10.2. Recomendaciones generador eléctrico con base a la norma GER-3621

- La planificación anticipada de un plan de mantenimiento preventivo es necesario, con el fin de mantener la disponibilidad y fiabilidad del generador eléctrico.
- La implementación correcta del mantenimiento preventivo proporciona beneficios evitando las paradas forzadas, tiempos de inactividad y reparaciones no programadas.

- El mantenimiento con base a la norma GER-3621 en generadores está orientado a períodos máximos de operación entre cada inspección realizada.
- El mantenimiento preventivo con base a la norma permite poder inspeccionar, desmontar y volver a montar todos los componentes mecánicos del generador.
- Tomar en cuenta los manuales de operación y mantenimiento establecido por los fabricantes, para establecer patrones de inspecciones.
- Tomar en cuenta el historial de operación y fallas del generador eléctrico para reducción de tiempo en las verificaciones.
- Realizar monitoreo constante del funcionamiento durante la marcha y paro del generador eléctrico.
- Verificar los errores de sincronización del generador eléctrico.
- Tomar en cuenta los materiales necesarios para la realización de las debidas inspecciones y tener disponibilidad al inicio de una interrupción, para evitar los riesgos de retrasos.
- Realizar la verificación del enfriamiento por líquidos, para la verificación del enfriamiento se puede realizar a las 8.000 horas de encendido.

- Verificación de los elementos de resistencia para tener una buena calibración y evitar las malas conexiones que pueden ocasionar un cortocircuito o incluso temperaturas elevadas.
- Verificar los devanados del estator para evitar pérdidas durante la operación o pérdida total del componente.
- Revisión de la contaminación que puede existir o el deterioro del aislamiento afectando la resistencia del material provocando serías fallas.
- Verificar las cuñas del estator, las cuñas pueden ser verificadas por medio de inspección visual para determinar el deterioro de la cuña y si esta debe ser reemplazada.
- La revisión del regulador de voltaje es necesaria para regular la corriente alterna que es convertida en corriente continua, es utilizado para alimentar esta corriente hacia los devanados secundarios que se encuentran en el estator.
- Mantenimiento al sistema de enfriamiento para evitar calentamientos en el generador; el generador siempre producirá calor por él mismo, para evitar sobrecalentamientos es necesario el sistema de enfriamiento.
- El mantenimiento al sistema de enfriamiento debe realizarse a diario, la falta de agua o el sistema de enfriamiento, según el fabricante puede ser perjudicial en el generador eléctrico.

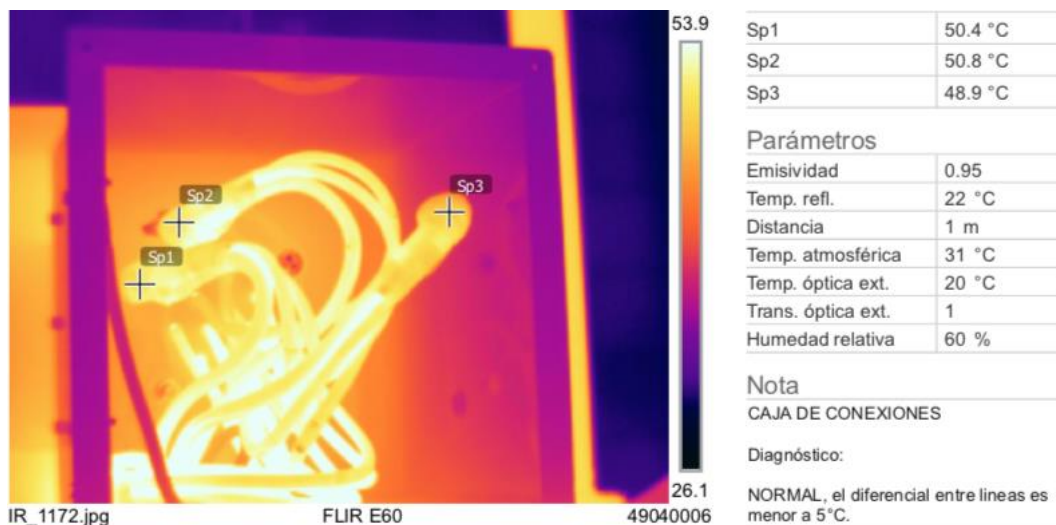
- La instalación de sistema de escape en los generadores es de suma importancia para eliminar los gases que emiten los generadores eléctricos, estos deben ser instalados al aire libre.
- Realizar siempre limpieza externa del generador antes y después de la utilización del equipo para evitar de la mejor manera que el polvo entre en los contactos o en el panel de control provocando fallas.
- Diariamente se debe realizar la comprobación de ventilación y calentamiento del generador eléctrico en la planta termoeléctrica.
- Verificar la lubricación de los cojinetes del generador, para evitar los desgastes en los cojinetes y aumentar la temperatura del generador.
- El cambio de aceite y filtros del generador debe realizarse al mismo tiempo tomando en cuenta el aceite indicado por el fabricante para evitar averías.
- Controlar los niveles de aceite basándose en las especificaciones del fabricante.
- Realizar la comprobación de la bomba de combustible, que el regulador de voltaje este calibrado correctamente realizando esta comprobación anualmente.
- Realizar inspección visual que el generador no contenga humedad para evitar problemas de generación.

- Verificar las barras del estator por medio de termografía para detección de averías dentro del estator que provoquen el mal funcionamiento del generador.
- La descarga parcial del sistema de aislamiento del estator tendrá por objetivo detectar los desgastes mecánicos dentro del estator.
- Cortocircuitar la espira permitirá la detección del número y ubicación de bobina a bobina cortos dentro del campo.
- Monitorear el colector del generador permitirá la detección de la formación de arcos eléctricos o chispas dentro del sistema, para evitar descargas disruptivas.
- Verificar la frecuencia en el generador eléctrico, la frecuencia es la velocidad con la que gira el rotor para convertir la energía mecánica en energía eléctrica.
- Verificar la potencia del generador, dependerá de la frecuencia que se encuentre dentro de los parámetros, porque a mayor frecuencia requerida se tendrá mayor potencia.
- Verificar las escobillas del generador eléctrico, debido a que estas son el medio por el cual se conduce toda la corriente eléctrica que se dirige hacia el circuito exterior.
- Los devanados deben funcionar de forma correcta para crear un campo magnético con una magnitud y sentido apropiado en las bobinas del

inducido para que de esta manera el campo magnético principal no tenga distorsiones.

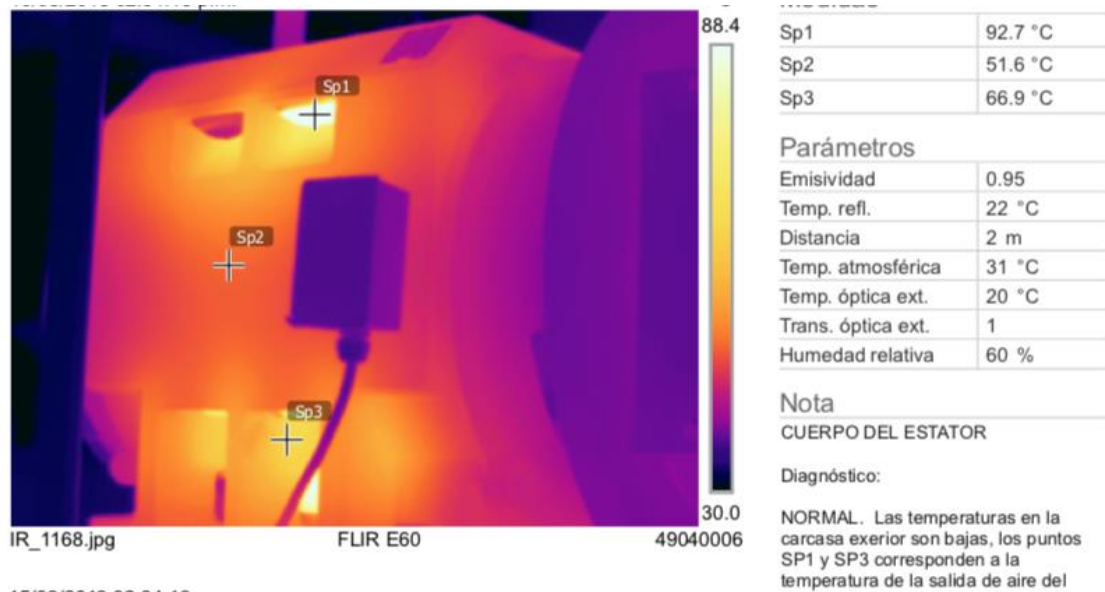
- La comprobación de los anillos de retención depende del fabricante, estos son susceptibles de tener rupturas o quiebres producido por la corrosión, por medio de inspección visual si la corrosión es avanzada deben ser retirados y cambiados inmediatamente.
- Realizar la termografía en el generador para evitar fallas por calentamiento en el rotor o que existan residuos dentro del mismo.
- Realizar termografía en las instalaciones eléctricas o cableado de la planta termoeléctrica, para verificación de sobrecalentamientos o rupturas.

Figura 8. Termografía en la caja de conexiones



Fuente: Frisa. *Informe de termografía frigoríficos de Guatemala, S.A, departamento de mantenimiento.* Consulta, 2019.

Figura 9. Termografía carcasa de un generador eléctrico



Fuente: Frisa. *Informe de termografía frigoríficos de Guatemala, S.A, departamento de mantenimiento.* Consulta, 2019.

3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Análisis interno

En el análisis interno de la planta termoeléctrica, se logra implementar la gestión de mantenimiento predictivo al generador eléctrico con sus debidas pruebas para la mejora en la generación de energía, manteniendo los componentes que conforman el generador con una vida útil para el funcionamiento correcto, evitando fallas, desgastes, paros por tiempos largos, con la implementación de ls pruebas.

Con la prueba se logró deterctar imperfecciones en los núcleos y los aislamientos en las laminaciones del estator del generador, se pudo determinar que las fallas eléctricas existentes se producian por las mismas, las detección de las fallas mecánicas en el generador permitieron realizar la debida lubricación de los componentes, mejorando el funcionamiento.

Se logró con la mejora del factor de potencia mejorar la carga inductiva del generador, genera un campo magnético eficiente para la operación en la generación de energía eléctrica, beneficiando el funcionamiento correcto en la planta termoeléctrica. Se mejoró la calidad de capacidad para transportar corriente, se mejora el voltaje a utilizar en el generador, la reducción de las pérdidas de energía, que es necesaria para el buen funcionamiento.

Por medio de la termografía, se logró determinar los puntos calientes existentes en la caja de conexiones que fueron presentes por desgaste del forro de las conexiones, los sobrecalentamientos por fugas existentes de vapor en la

turbina, por falta de mantenimiento en los sellos pueden ocurrir las fugas. Con la termografía se identificaron que los márgenes de temperatura eran excedidos por daños sufridos en el generador que producían fallas.

Una de las limitantes para la implementación del plan de mantenimiento fue la falta de estado de arte pleno, porque no había información sobre el tema, falta de historiales de fallas de la planta termoeléctrica, no brindaron toda la información con referente a gestión del plan de mantenimiento, la empresa prefirió mantener los resultados a disposición únicamente de ellos, mantener en anonimato el nombre de la planta, cerró sus puertas por cambio de gerencia.

3.1.1. Implementación de pruebas

La implementación del plan de mantenimiento preventivo a la planta termoeléctrica, tomando en cuenta las verificaciones y recomendaciones dadas con base a la norma GER-3621, será de gran utilidad para la detección de fallas dentro de la planta, para evitar pérdidas de componentes o paradas continuas; mejorar la eficiencia de energía para obtener la energía suficiente que requiere o demande la generación, la norma tiene la manera más ordenada para la realización del plan de mantenimiento.

Las fallas en la turbina y generador eléctrico son inevitables que existan en ellos, siempre sufren desgastes, pero con la implementación de un plan de mantenimiento preventivo, se puede evitar que las fallas se prolonguen por más tiempo, permite que los paros de la planta eléctrica sean durante períodos cortos, el mantenimiento a los componentes de la turbina y el generador mantengan su estado de funcionamiento por más tiempo se implementan las pruebas EL CID, factor de potencia y dieléctrica.

3.1.2. Prueba CID

La implementación de la prueba Core Imperfection Detector (CID), es una recomendación como un ensayo importante para el diagnóstico de generadores de gran tamaño, que permite detectar las imperfecciones en los núcleos estáticos, verificación de la aislación en las laminaciones del estator, esta prueba se realiza en baja inducción.

Es una prueba que puede realizarse cada 5 años, se debe realizar para determinar el estado del estator después de sufrir fallas eléctricas o mecánicas y determinar la funcionalidad o cuanto tiempo más puede trabajar la unidad.

Energizando con alta tensión excitando el núcleo con niveles operacionales con densidad de flujo, se puede verificar la estructura del núcleo del estator por medio de la termografía, para la verificación de los puntos donde la temperatura es más elevada.

Al implementar esta prueba debe tomarse en cuenta que el bobinado principal del generador se encuentre libre de potencia, que no exista ningún tipo de carga dentro del estator, los extremos de las fases de cada bobina no deben estar cortocircuitados esto, con el fin de evitar que las bobinas principales actúen como una carga en cortocircuito con el bobinado auxiliar.

Para el procedimiento de prueba se deben determinar la cantidad de espiras que serán necesarias para realizar el bobinado de excitación logrando un flujo necesario para magnetizar la máquina, el bobinado auxiliar queda en función de la tensión que se va a emplear. Las espiras que van a ser utilizadas se colocan de forma concéntrica en el estator ya sea central o sobre sus paredes.

Para evaluar la zona deseada se requiere de un segundo conjunto de espiras para ubicar registro de señales en cada ranura efectuándola de forma paralela con cada ranura. Se registran corrientes axiales en las laminaciones del estator desplazando un sensor de campo magnético obteniendo registros para proceso y análisis.

La implementación de la prueba permitirá la verificación de los defectos existentes en la parte superficial, la parte media y la parte inferior del núcleo del estator, las ranuras del estator pueden presentar valores picos por los devanados de excitación y determinar las imperfecciones. Con esta prueba se puede tener una eficiencia de reducción de tiempo en los ensayos en un 60 % a diferencia de otros.

3.1.3. Prueba de factor de potencia

Esta prueba debe ser realizada para la identificación de los defectos que afectan la condición de los aislamientos en el generador, el aislamiento del generador debe estar en condiciones favorables para el correcto funcionamiento. Las variaciones del factor de potencia son indicadores de descargas parciales o que se degrada el aislamiento del generador.

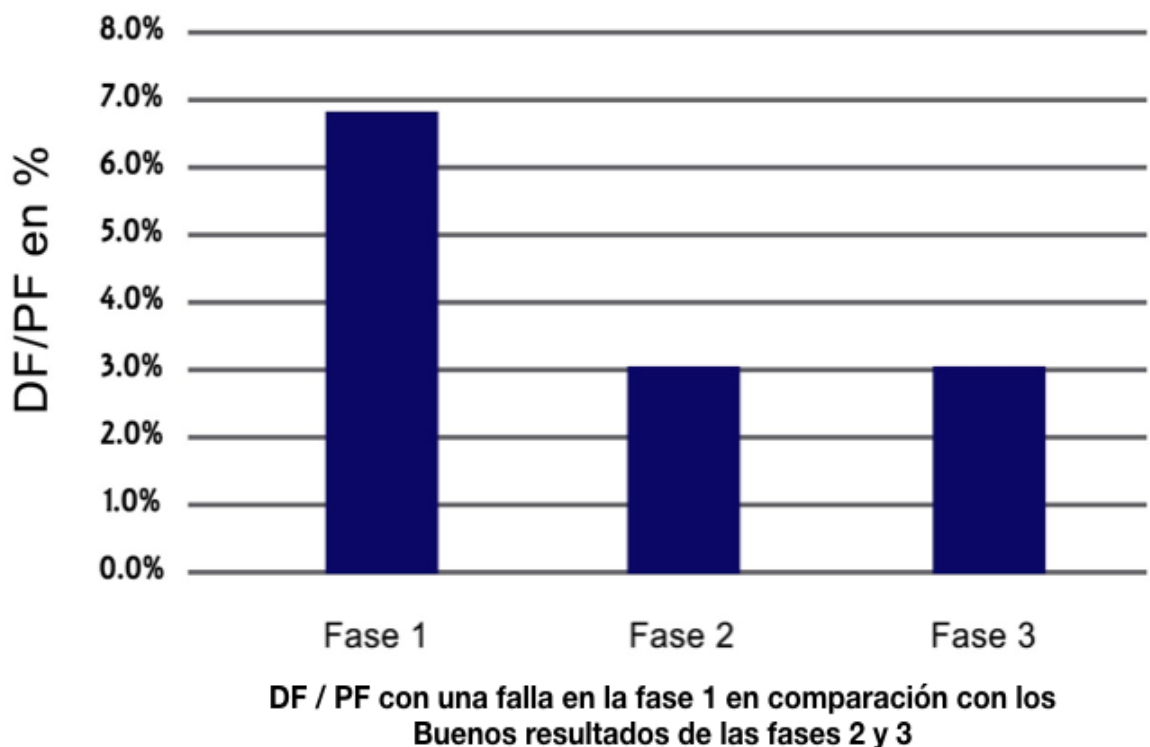
Con respecto a estas variaciones las tendencias de datos permiten determinar el estado que se han degradado los aislamientos y poder verificar los cambios críticos que representan un problema en la generación.

La prueba debe realizarse con una fuente de alta tensión conectando el instrumento de medición en los terminales del generador realizando mediciones de fase a tierra o mediciones combinadas trifásicas, o bien realizar las

mediciones fase a fase para determinar la capacitancia del devanado del generador.

El aumento progresivo del factor de potencia en la curva durante la prueba es una indicación de descargas parciales, se debe medir para determinar el tipo de ubicación y el tipo de defecto. La comparación del factor de potencia puede ser comparados con los datos del fabricante.

Figura 10. **Ejemplo de descargas parciales y factor de potencia en fases del generador**



Fuente: Omicron. *Pruebas de diagnóstico y monitoreo de máquinas rotativas*. Consulta: 2019.

Las descargas parciales se producen en el sistema de aislamiento del generador provocando que el campo eléctrico supere a la resistencia eléctrica del generador provocando fallas, de esta manera es de suma importancia las mediciones de las descargas parciales.

La comparación con otras pruebas dieléctricas en generadores estas mediciones de descarga parcial pueden detectar con mayor precisión los puntos débiles o de aumento de temperatura en los sistemas de aislamiento del generador.

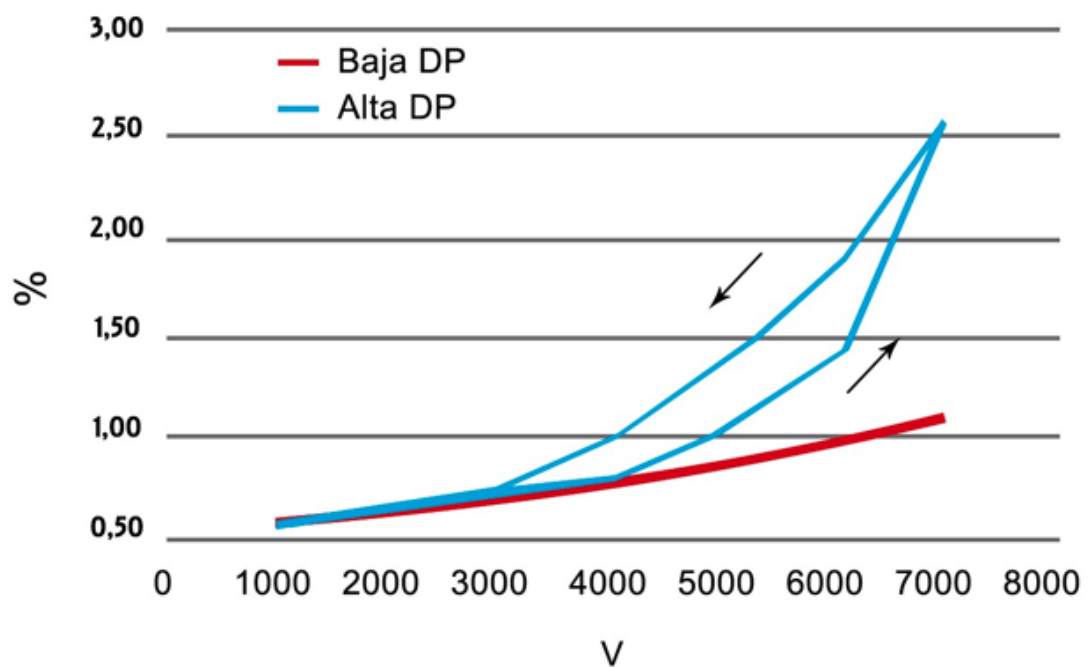
La existencia en las descargas en las ranuras o devanados producen patrones para identificar las causas específicas que se producen por la contaminación, grietas existentes, aumento de temperatura o el deterioro total o parcial de los componentes de aislamiento dentro del generador.

Para determinar las descargas parciales debe realizarse cuando el generador este fuera de servicio y se encuentre energizado con una fuente de alta tensión; conectando un condensador de acoplamiento a los terminales de la máquina que se encuentra conectado a un dispositivo de medición de descargas parciales, se deben realizar varias mediciones para determinar los estados de aislamientos y tener una manera más efectiva de reconocer una falla en las fases.

Para un mejor análisis en la medición y detección de descargas parciales es recomendable utilizar la medición en un punto estrella del generador, es aconsejable utilizar un transformador de corriente con alta frecuencia entre las fases que están conectadas a tierra para tener una medición de señales de acoplamiento cruzado.

La medición de descarga parciales en comparación con otras pruebas de rutina que se realizan cuando el generador está fuera de línea, proporciona una información continua de la condición en el aislamiento cuando el generador está en operación y bajo una influencia de fuerzas de deterioro.

Figura 11. **Comparación de altas y bajas descargas parciales en un generador**



La línea azul representa una máquina con alta actividad de DP (histéresis grande)
La línea roja representa una máquina nueva con baja actividad de DP

Fuente: Omicron. *Pruebas de diagnóstico y monitoreo de máquinas rotativas*. Consulta: 2019.

Para la realización de pruebas de monitoreo de descargas parciales es recomendable la instalación de condensadores de acoplamiento de manera permanente, para evitar los paros de la planta y el generador muestre datos en proceso de generación de energía eléctrica.

Figura 12. **Comparativa de descargas parciales en cada fase del generador**



Fuente: Omicron. *Pruebas de diagnóstico y monitoreo de máquinas rotativas*. Consulta: 2019.

3.1.4. Prueba dieléctrica

La prueba dieléctrica de determinar que el aislamiento del generador es capaz de soportar las cargas de voltaje al momento de estar en operación en condiciones normales y en condiciones de falla.

Al aplicar un voltaje alto de corriente directa se toma en cuenta peligros, puede causar la perforación y el deterioro de los aislamientos, incluso provocar quemaduras en el laminado del generador.

3.1.5. Termografía en generador y turbina de vapor

La utilización de la termografía en el generador eléctrico y la turbina de vapor dentro de la planta termoeléctrica permite la detección de aumento de temperatura en sus componentes, así evitar fallos o el paro de la planta termoelectrica produciendo pérdidas en la generación de energía eléctrica y realizar el análisis de los sobrecalentamientos en los componentes.

En el caso de algunos componentes de la turbina y el generador es de gran importancia la utilización de termografía para medir a distancia la temperatura, para detectar las posibles fallas sin tener contacto físico.

Es una técnica adecuada para la verificación y detección de problemas en generadores y turbinas, ya que estos producen temperaturas a grados bastante altos y no pueden ser manipuladas como otros componentes. Las cámaras termográficas plasman la temperatura durante la captura de imagen con diversos colores con base a la ausencia o presencia de energía calórica.

La termografía permite la identificación de los márgenes que excedan la temperatura deseada en la turbina y el generador, permite el diagnóstico de ubicación de zonas con más daños sufridos en la turbina para que puedan ser detectadas antes de una falla en el aumento de temperatura.

Los fabricantes de generadores y turbinas incluyen los datos de tiempo de realización de cada mantenimiento por ejemplo, que se realice anualmente, en condiciones de carga con su tabla de referencia para realizar comparaciones con los desgastes en condiciones de operación del generador y la turbina, al realizar la termografía las imágenes generadas permitirá el ajuste más cercano del desgaste que se efectúa durante la operación.

El uso de la termografía en las turbinas permitié ubicar fallas en cargas parciales, principalmente en las partes de la turbina en donde se le inyecta vapor directamente desde la caldera, en las secciones de alta presión permite la verificación de vapor sobresaturado o de vapor recalentado caliente.

La termografía permite el estudio e identificación de las desviaciones existentes en condiciones de operación que conlleven a establecer verificaciones y recomendaciones para la presencia de fallas. Las verificaciones y recomendaciones son fundamentadas con las diferencia entre las estimaciones que son calculadas por la termografía, a partir de valores nominales establecidos de operación.

La importancia de la termografía determina los efectos de operación de la planta termoeléctrica sobre la eficiencia que existe de parte de la turbina y el generador, las tasas de calor y la potencia de salida en la generación. Permite plantear técnicas para diagnósticos con base a la termografía por la expansión de vapor, para la ubicación de puntos de operación y tipos de daños, permitiendo obtener datos históricos.

Por medio de la termografía se puede realizar una metodología que pueda registrar problemas, fallas o averías para ser documentados como datos estadísticos para ser utilizados en mantenimientos preventivos para análisis.

Con los análisis de la turbina y generador eléctrico por medio de la termografía pueden ser comparados con las especificaciones que el fabricante determina, permitiendo ajustar curvas de expansión de los vapores con base a los valores calculados con la termografía.

Las imágenes termográficas permiten manifestar las condiciones y los efectos en los cambios de la turbina y el generador, para determinar un análisis de los cambios con base a los resultados de prueba como difieren de los resultados calculados.

3.1.6. Enfriamientos

El enfriamiento en generadores es una función principal para mantener la temperatura del generador en operación estable. La implementación de un sistema de refrigerante o aceite como medio de transferencia del calor generador por el generador.

La circulación del líquido refrigerante por medio de canales se logra obtener que el calor generador por el generador sea transferido al líquido refrigerante, el calor es transportado por el líquido hacia el radiador del generador donde es transferido al aire que circula a través del radiador liberándose.

Todo sistema de refrigeración sufre pérdidas en sus propiedades y desgastes, el mantenimiento preventivo a los refrigerantes proporciona un sistema de protección contra corrosiones, cavitaciones.

Los niveles del sistema de enfriamiento deben ser verificados diariamente y realizar un cambio mensualmente.

Los sistemas del generador y turbina trabajan a temperaturas determinadas, por lo tanto, los sistemas de enfriamiento deben mantener las temperaturas correctas, según los fabricantes asegurando su correcto rendimiento y evitar fallas.

Si el sistema de enfriamiento no realiza la función correcta y mantiene la temperatura del generador y turbina a los niveles del fabricante estos presentan un choque térmico entre sus paredes, provocando endurecimiento o cristalización presentando un problema en el desempeño a corto plazo.

3.1.7. Enfriamiento por ventilación

Para el enfriamiento del generador por ventilación se debe a la circulación de aire entre el generador. Utilizar varios ventiladores montados en el rotor del generador eléctrico puede proveer una circulación de aire.

Los enfriadores de aire deben estar montados dentro del generador incluyendo provisiones por las conexiones del agua externas. Los enfriadores del generador deben tener un tamaño y número suficiente para que el generador pueda operar 2/3 de la capacidad que esta fijada con un enfriador que se encuentra fuera de servicio.

La utilización de ventiladores permite extraer el aire, a través de la turbina, son de uso adecuado en donde existe abundante polvo y se necesita la limpieza para el correcto funcionamiento del generador, una de las limitaciones de utilizar este tipo de enfriamiento es el peso que agrega al generador.

Una desventaja que presenta este tipo de enfriamiento es que al momento que la temperatura sea superior, el aceite se calienta y aumenta su temperatura dañando el generador.

3.1.8. Enfriamiento por hidrógeno

El sistema de enfriamiento por hidrógeno se hace por medio de un ventilador interno, cuando la pérdida de calor producida por el generador eléctrico es absorbida por el agua de enfriamiento, la circulación del gas es de 40 veces por minuto.

Utilizando este tipo de enfriamiento se aumenta la potencia incrementando la presión del gas, en algunos casos, la potencia no se puede aumentar, debido al grosor y espesor en las paredes de aislamiento existente en la bobina de excitación, para evitar este tipo de inconvenientes se debe utilizar turbogeneradores que enfrían internamente, se deben hacer perforaciones en los conductores del rotor y estator para introducir por las perforaciones el gas hidrógeno a una alta velocidad para tener una mayor presión.

La utilización de este tipo de enfriamiento presenta ventajas, debido a que el hidrógeno posee una densidad baja haciendo que las pérdidas aerodinámicas sean reducidas.

El gas hidrógeno su conductividad térmica permite tener un coeficiente de transferencia alto por toda la superficie, la potencia aumenta por el hidrógeno por volumen de unidad en el material se ve asegurada, los gastos de mantenimiento por hidrógeno son reducidos, debido a que el ciclo cerrado de recirculación no permite que el polvo y la humedad penetren al generador.

El enfriamiento por hidrógeno aumenta las horas de trabajo y reduce las fallas en los aislamientos en el devanado del estator, ya que la falta de existencia de humedad y oxígeno disminuyen el efecto corona que puede presentarse en el generador en condiciones normales.

3.1.9. Enfriamiento por agua

Este tipo de enfriamiento es el más recomendable, permite que el generador eléctrico presente menor sonoridad, es un sistema utilizado para trabajar bajo temperaturas consumiendo poco aceite y no es dañino para el medio ambiente, es un sistema más ligero en comparación de los otros enfriamientos y más silencioso.

Por medio de este tipo de enfriamiento se hace circular el agua dentro del generador, permitiendo que el agua absorba el calor del alternador y el motor, por medio un ventilador que es el encargado de eliminar el aire caliente trasladándolo al radiador.

El regulador de temperatura en este sistema es el encargado de detener el agua si el generador no se encuentra en la temperatura de trabajo que especifica el fabricante o la temperatura deseada, este sistema permite que el generador pueda funcionar a temperaturas bastante elevadas.

Uno de los inconvenientes que presenta este tipo de enfriamiento es la utilización de anticongelantes en donde las temperaturas son muy bajas, el consumo excesivo de agua, no esta controlada la temperatura de agua en la entrada y salida.

3.2. Análisis externo

Quezada presentó que es necesario gestionar de manera correcta las necesidades y prioridades de la función de mantenimiento, mejorando la eficacia y eficiencia. Con esta investigación, se logró gestionar el mantenimiento predictivo, para cubrir las necesidades y mejorar el funcionamiento en la mejora y generación de energía eléctrica.

Izaguirre, presentó que la generación de electricidad por parte de plantas térmicas es primordial la supervisión de operaciones para optimizar los procesos en la generación de energía. Con esta investigación se logró mejorar el factor de potencia para mejorar la calidad de entrega de energía por medio de las verificaciones y recomendaciones con base a la Norma GER-3621 de una manera ordenada en la supervisión de fallas para ser detectadas y ser sustituidos los componentes que presentaban desgastes.

Abarca Iglesias (2012), definieron que la termografía es una técnica que permite medir temperaturas exactas a distancias y sin necesidad de contacto físico con el objeto a estudiar. Con esta investigación se logró detectar las temperaturas elevadas existentes en los componentes, en turbina y generador de la planta termoeléctrica producidos por fugas, cortos, daños sufridos que fueron detectadas antes de suceder una falla, pudiendo documentar fallas y averías para la realización de datos estadísticos, o historiales de fallas para mantenimientos.

CONCLUSIONES

1. Se identificó la base de historial de fallas de mantenimiento haciendo uso de la termografía para determinar los sobrecalentamientos para establecer el estado de los equipos, con base a ello realizar las respectivas pruebas y planificación de mantenimiento correctivo, basado en la norma GER-3621.
2. Se realizaron las pruebas indicadas y específicamente la prueba EL CID, para garantizar la vida útil, por medio de las verificaciones detalladas, eliminando las causas iniciales que provocan las fallas o averías más frecuentes en la turbina de vapor y generador, teniendo la disponibilidad de los equipos cuando se realice el plan de mantenimiento preventivo comparando las verificaciones del fabricante, así mejorarlas o actualizarlas.
3. Se evaluó la gestión de mantenimiento que dio como resultado la mejora en la eficiencia de generación de energía eléctrica, por medio de las pruebas realizadas, para la mejora en funcionamiento de los componentes de la planta termoeléctrica para el correcto funcionamiento de la turbina y generador eléctrico.
4. Se gestionó el mantenimiento predictivo al generador y turbina de vapor analizando las termografías con base a la norma GER-3621 identificando los puntos calientes que excedían los límites de temperatura especificados por el fabricante, para evitar fallas o paros continuos.

RECOMENDACIONES

1. Se sugiere continuar con la identificación de fallas iniciales para el mantenimiento preventivo, evitando un mantenimiento correctivo y que haya un mantenimiento predictivo por medio de la termografía considerando las condiciones de seguridad industrial de su utilización.
2. Se deben realizar pruebas constantes, principalmente la prueba CID para mejorar la vida útil de la turbina y generador eléctrico para el correcto funcionamiento en la generación de energía eléctrica, siguiendo los lineamientos establecidos por la norma GER-3621.
3. Se sugiere realizar una evaluación constante para una mejora continua de la gestión de mantenimiento con la utilización de la norma GER-3621, para detectar fallas con anterioridad que suceda una falla.
4. La investigación sobre la gestión de mantenimiento predictivo al generador y turbina de vapor sirve de base para próximas investigaciones, ya que se carece de información.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abarca, D Iglesias, F. (2012). *Elaboración de un plan de mantenimiento predictivo mediante la aplicación de termografía industrial en los motores eléctricos de la planta Eurolit en la empresa Tubasec C.A.* Tesis Ingeniero de Mantenimiento. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador.
2. Alberto, J. (2011). *Diseño de una turbina hidráulica basada en el tornillo de Arquímedes.* Tesis Ingeniero Mecánico. Universidad de El Salvador. Salvador.
3. Alton, J. (1993). *Utilización eficaz teórico práctica de la carta de operación para máquinas síncronas.* Tesis Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. México.
4. Astudillo, J & Pinos, W. (2016). *Actualización y coordinación de las funciones de protección de las centrales Saucay, Saymirín, El Descanzo y Ocaña.* Tesis Ingeniero Eléctrico. Universidad de Cuenca. Ecuador.
5. Bravo, N. (2008). *Sistema de conversión mecánica eléctrica para un generador undimotriz.* Tesis Ingeniero Civil Electricista. Universidad de Chile. Santiago de Chile.
6. Brush, (1997). *Operating and maintenance manual for generator electric model BDAX 82.445 ERH.* Inglaterra.

7. Cartaya, J. (2013). *Estudio de factibilidad para plantas termoeléctricas en torno a centros de producción de Coque*. Tesis Ingeniero Mecánico. Universidad Simón Bolívar. Colombia.
8. Castillo, J. (2010). *Procedimientos a seguir para la puesta en funcionamiento de los sistemas eléctricos, en una planta industrial, afectada por una inundación*. Tesis Ingeniero Electricista. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
9. Castillo, R. (2013). *Implementación y análisis de la curva de capacidad del generador síncrono de polos salientes utilizando software de ingeniería*. Tesis Ingeniero Mecánico Electricista. Universidad Nacional de Ingeniería. Perú.
10. Chang, E. (2008). *Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento preventivo para una pequeña empresa del rubro de minería para reducción de costos del servicio de alquiler*. Tesis Ingeniero Industrial. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Perú.
11. Chávez, A. (2012). *Ensayos de termografía a núcleos de estatores de máquinas eléctricas rotativas*. Tesis Ingeniero Electricista. Universidad Simón Bolívar. Colombia.
12. Chile, Superintendencia del Medio Ambiente (2014). *Guía de aspectos ambientales relevantes para centrales termoeléctricas*.

13. Cusme, G Valencia, G. (2014). *Mejoramiento del sistema de generación de vapor del laboratorio de operaciones unitarias de la Escuela de Ingeniería Química, de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, de la Universidad Técnica de Manabí*. Tesis Ingeniero Químico. Universidad Técnica de Manabí. Ecuador.
14. Delgadillo, M. (2009). *Modelo dinámico del proceso de generación de vapor de una central convencional: caso central termoeléctrica Tula*. Tesis Doctor en Ingeniería Eléctrica. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
15. Frisa, (2018). *Informe de termografía frigoríficos de Guatemala, S.A, departamento de mantenimiento*. Guatemala.
16. Gálvez, C. (1993). *Optimización de la gestión energética en la generación termoeléctrica del servicio público*. Tesis Ingeniero Mecánico. Universidad Nacional de Ingeniería. Perú.
17. García, C. (2015). *Modelo de gestión de mantenimiento para incrementar la calidad en el servicio en el departamento de alta tensión de STC Metro de la Ciudad de México*. Tesis de Maestría en Ingeniería Industrial. Instituto Politécnico Nacional. México.
18. García, J. (2013). *Diseño y construcción de un sistema de control automático para una caldera piro tubular horizontal*. Tesis Ingeniero en Electrónica, control y redes industriales. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador.

19. Izaguirre, C. (2015). *Análisis de un sistema de control distribuido para generación eléctrica con motores de combustión interna en una central termoeléctrica*. Tesis Ingeniero Eléctrico-Mecánica. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Ecuador.
20. Jacome, A. (2011). *Código Eléctrico Nacional (NEC), o NFPA 70*. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Universidad de Costa Rica. Costa Rica.
21. López, G. (2011). *Corrección del factor de potencia y diseño e instalación óptima de banco de capacitores bajo el efecto de distorsión armónica en la industria de producción de cloro*. Tesis Ingeniero Mecánico Electricista. Universidad de San Carlos. Guatemala.
22. Maldonado, C. (1965). *Corrección del factor de potencia de la industria textil "La Internacional C.A." (Fábrica "El Recreo")*. Tesis Ingeniero en la especialización de Electrotecnia. Escuela Politécnica Nacional. Ecuador.
23. Mendez, F. (2007). *Control del sistema de combustión para una termoeléctrica convencional*. Tesis ingeniero en Comunicaciones y Electrónica. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, México.
24. Miranda, M. (2005). *Inversión para el futuro próximo termoeléctrica a gas natural*. Tesis Ingeniero Industrial. Pontificia Universidad Católica del Perú. Perú.

25. Montoro, C. (2014). *Diseño de un plan de mantenimiento en una estación reguladora de presión y medición de gas natural de una central termoeléctrica*. Tesis Profesional Ingeniero en Energía. Universidad Nacional del Callao. Perú.
26. Omicron, (2019). *Pruebas de diagnóstico y monitoreo de máquinas rotativas*. México.
27. Orduz, O. (2011). *Diseño y construcción de un prototipo de turbina eólica de eje vertical para generación a baja potencia*. Tesis Ingeniero Mecánico. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.
28. Pensado, E. (2008). *Diagnóstico automático de turbinas de vapor en línea*. Tesis Maestría. Tecnológico de Monterrey. México.
29. Picazo, M. (2016). *Diagnóstico de máquinas eléctricas, mediante técnicas de termografía infrarroja*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. España.
30. Ramos, O. (2012). *Diseño del estator de una turbina de altas revoluciones acoplada a un ciclo de generación eléctrica*. Tesis Ingeniero Mecánico. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
31. Ruano, J. (2005). *Guía práctica de termografía para el curso de montaje y mantenimiento de equipo*. Tesis Ingeniero Mecánico. Universidad de San Carlos. Guatemala.

32. Salas, M. (2012). *Propuesta de mejora del programa de mantenimiento preventivo actual en las etapas de prehilado e hilado de una fábrica textil*. Tesis Ingeniero Industrial. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Perú.
33. Sanmartín, J. & Quezada, M. (2014). *Propuesta de un sistema de gestión para el mantenimiento de la empresa cerámica Andina C.A.* Tesis Ingeniero Industrial. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Cuenca.
34. Santana, G. (2011). *Estudio para la corrección del factor de potencia en bt del sistema eléctrico de la planta Ford*. Tesis Ingeniero Electricista. Universidad Simón Bolívar. Colombia.
35. Sierra, G. (2004). *Programa de mantenimiento preventivo para la empresa metalmecánica industrias AVM, S.A.* Tesis Ingeniero Mecánico. Universidad de Santander. Bucaramanga.
36. Soto, I. Rodríguez, L. (2009). *Evaluación técnica y económica de una central termoeléctrica en la región de los ríos*. Tesis Ingeniero Mecánico. Universidad Austral de Chile, Chile.
37. Valdez, J. San Martín, E. (2009). *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo-predictivo aplicado a los equipos de la empresa Remaplast*. Tesis Administrador Industrial. Universidad de Cartagena. Colombia.

38. Velazco, E. (2014). *Propuesta de diseño de un sistema de gestión de mantenimiento para una empresa de servicios de elevación de Lima. Tesis Ingeniero Industrial*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Perú.
39. Villaverde, M. (2013). *Diagnóstico al estator del generador eléctrico de la central termoeléctrica Francisco Pérez Ríos*. Tesis Ingeniero Electricista. Instituto Politécnico Nacional. México.
40. Villegas, I. (2013). *Diseño y análisis preliminar para un generador eléctrico de alta velocidad acoplado a una microturbina. (Microturbogenerador)*. Tesis Maestría en Ingeniería Eléctrica. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
41. Yescas, E. (2003). *Control de una planta generadora de energía eléctrica*. Tesis Ingeniero Electrónico. Universidad Tecnológica de la Mixteca. Oaxa.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de coherencia

Preguntas de investigación	Objetivos	Presentación de Resultados	Conclusiones	Recomendación
¿Cómo el mantenimiento predictivo, utilizando termografía en base la norma GER-3621 mejorará la confiabilidad y eficiencia de un generador eléctrico y turbina de vapor en una termoelectrícula?	Gestionar el mantenimiento predictivo al generador y turbina de vapor utilizando análisis de termografías de una planta termoelectrícula de 41.5MW, basado en la norma GER-3621.	La implementación del plan de mantenimiento preventivo a la planta termoelectrícula, tomando en cuenta las verificaciones y recomendaciones dadas con base a la norma GER-3621, será de gran utilidad para la detección de fallas dentro de la planta para evitar pérdidas de componentes o paradas continuas; mejorar la eficiencia de energía para obtener la energía suficiente que requiere o demande la generación.	Se identificó la base de historial de fallas de mantenimiento haciendo uso de la termografía para determinar los sobrecalentamientos para establecer un mantenimiento correctivo y que haya un mantenimiento predictivo por medio de la termografía.	Se sugiere continuar con la identificación de fallas iniciales para el mantenimiento preventivo evitando un mantenimiento correctivo y que haya un mantenimiento predictivo por medio de la termografía.
¿Cuáles son las fallas iniciales para la implementación del mantenimiento adecuado por medio de la termografía?	Identificar en base al historial de fallas y de mantenimiento correctivo los equipos a aplicar el mantenimiento predictivo basado en termografías.	Para la implementación del plan de mantenimiento es necesario tomar los datos iniciales por medio de verificaciones y recomendaciones en la turbina de vapor y generador eléctrico, la toma de termografía para la comparación de imágenes térmicas para ser comparadas con datos del fabricante para verificación del funcionamiento.	Se realizaron las pruebas para garantizar la vida útil por medio de las verificaciones detalladas, eliminando las causas iniciales que provocan las fallas o averías más frecuentes en la turbina de vapor y generador, teniendo la disponibilidad de los equipos cuando se realice el plan de mantenimiento preventivo comparando las verificaciones del fabricante y poder mejorarlas o actualizarlas.	Se deben realizar pruebas constantes para que se pueda mejorar la vida útil de la turbina y generador eléctrico para el correcto funcionamiento en la generación de energía eléctrica siguiendo los lineamientos establecidos por la norma GER-3621.
¿Qué tipos de pruebas y verificaciones se pueden realizar a la turbina de vapor y generador eléctrico para detectar sobrecalentamientos?	Realizar las pruebas para garantizar la vida útil de la turbina de vapor y generador eléctrico de la planta termoelectrícula, para su calidad de funcionamiento y generación de energía eléctrica para detectar sobrecalentamientos	La importancia de la verificación en la planta de vapor para la implementación de un plan de mantenimiento preventivo es la reducción de problemas, fallas, evitando temperaturas elevadas en sus componentes por desgastes, falta de lubricación, fugas de vapor, dificultad en el correcto funcionamiento de la planta de vapor, desgaste, lubricaciones, mejora de generación de energía eléctrica para el correcto funcionamiento.	Se evaluó la gestión de mantenimiento que dio como resultado la mejora en la eficiencia de generación de energía eléctrica por medio de las pruebas realizadas para la mejora en funcionamiento de los componentes de la planta termoelectrícula para el correcto funcionamiento de la turbina y generador eléctrico	Se sugiere realizar una evaluación constante para una mejora continua de la gestión de mantenimiento con la utilización de la norma GER-3621 para detectar fallas con anterioridad que suceda una falla.
¿Qué beneficios tiene la aplicación de la norma GER-3621 en análisis de termografía en generador eléctrico y turbina de vapor?	Evaluar la gestión de mantenimiento utilizando la norma GER-3621 para mejorar la eficiencia en la generación de energía eléctrica en base a la termografía.	El mantenimiento a los componentes de la turbina y el generador mantengan su estado por más tiempo se implementan las pruebas. El CID factor de potencia y dieléctrica.	Se gestionó el mantenimiento predictivo al generador y turbina de vapor analizando las termografías con base a la norma GER-3621 identificando los puntos calientes que excedían los límites de temperatura especificados por el fabricante para evitar fallas o paros continuos.	La investigación sobre la gestión de mantenimiento predictivo al generador y turbina de vapor sirve de base para próximas investigaciones ya que se carece de información

Fuente: elaboración propia.

