



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO
REALIZADO A UNA PLANTA TERMOELÉCTRICA DE 41.5MW, COMPUESTA DE
TURBINA DE VAPOR Y GENERADOR ELÉCTRICO GENERAL ELECTRIC BASADO EN
LA NORMA GER-3621**

Brian Enrique Chicol Morales

Asesorado por el Ma. Ing. Carlos Enrique Chicol Cabrera

Guatemala, octubre de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO
REALIZADO A UNA PLANTA TERMOELÉCTRICA DE 41.5MW, COMPUESTA DE
TURBINA DE VAPOR Y GENERADOR ELÉCTRICO GENERAL ELECTRIC BASADO EN
LA NORMA GER-3621**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

BRIAN ENRIQUE CHICOL MORALES

ASESORADO POR EL MA. ING. CARLOS ENRIQUE CHICOL CABRERA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Ángel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	In. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurguen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Eduardo Guzman Salazar
EXAMINADOR	Ing. Jorge Gilberto Gonzalez Padilla
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO
REALIZADO A UNA PLANTA TERMOELÉCTRICA DE 41.5MW, COMPUESTA DE
TURBINA DE VAPOR Y GENERADOR ELÉCTRICO GENERAL ELECTRIC BASADO EN
LA NORMA GER-3621**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 16 de octubre de 2017.

Brian Enrique Chicol Morales



FACULTAD DE INGENIERÍA - USAC
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / 2418-8000Ext. 86226

AGS-MIMPP-010-2017

Guatemala, 12 de octubre de 2017.

Director
 Otto Fernando Andrino González
 Escuela de Ingeniería Eléctrica
 Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación de la estudiante **Brian Enrique Chicol Morales** con carné número **200914888**, quien opto la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la **Maestría de Ingeniería en Mantenimiento**.

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

Sin otro particular, atentamente,

"Id y Enseñad a todos"

Ma. Ing. Carlos E. Chicol C.
 COL. No. 6965

MSc. Ing. Carlos Enrique Chicol Cabrera
 Asesor (a)

[Signature]
 Dra. Inga. Alba Maritza Guerrero Spínola
 Coordinadora de Área
 Gestión y Servicios



[Signature]
 MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
 Director
 Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo/la



REF. EIME 54. 2017.
Guatemala, 16 de OCTUBRE 2017.

FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística de su Proyecto de Graduación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO REALIZADO A UNA PLANTA TERMOELÉCTRICA DE 41.5MW, COMPUESTA DE TURBINA DE VAPOR Y GENERADOR ELÉCTRICO GENERAL ELECTRIC BASADO EN LA NORMA GER-3621**, presentado por el estudiante universitario, BRIAN ENRIQUE CHICOL MORALES, considerando que el protocolo es viable para realizar el Diseño de Investigación procedo aprobarlo, ya que cumple con los requisitos establecidos por la Facultad de Ingeniería.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Otto Fernando Andrino González
Director

Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO REALIZADO A UNA PLANTA TERMOELÉCTRICA DE 41.5MW, COMPUESTA DE TURBINA DE VAPOR Y GENERADOR ELÉCTRICO GENERAL ELECTRIC BASADO EN LA NORMA GER-3621**, presentado por el estudiante universitario: **Brian Enrique Chicol Morales**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, octubre, de 2017

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, llevarme por el buen camino, luchar por mis metas y estar a mi lado en todo momento, este 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 al triunfo, para alcanzar todas las metas. Te amo enormemente.
- Mi hija** Nataly Rosmery Chicol Morales, por ser esa personita por quien lucho cada día para ser mejor, un buen ejemplo y porque eres la más grande bendición. Te amo.
- Mi hermano** Carlos Snell Chicol Morales, por estar a mi lado en todos los momentos alentándome a seguir adelante. Lo amo mucho.

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 Donis 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, Juan Carlos Morales Donis, por su gran apoyo y cariño en todo momento.

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 y de vida.	Erick Azurdía, Rene Gómez, Fernando Gallo, Mario Pacheco, Gary Sasvin, Carlos Noriega, Joaquín Córdova, Jorge Chávez, Fredy Borrayo, por ser mis grandes amigos, acompañarme en este largo camino, por lograr la meta.
Mis primos	Jonathan Morales, Rafa Morales, por su apoyo, alegrías brindadas.
Personal docente y administrativo de la Facultad de Ingeniería	Ing. Murphy Paiz, Inga. Anabella Córdova, Ing. Hugo Rivera, Ing. Gilberto González, Inga. Claudia Contreras, Ing. Guillermo Puente, Inga. Tatiana Vallejo, Lic. Amahan Sánchez, Ing. Otto Andrino, Ing. Francisco González.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. ANTECEDENTES	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
2.1. Descripción.....	3
2.2. Formulación.....	4
2.2.1. Pregunta central	4
2.2.2. Preguntas específicas	4
2.3. Delimitación	5
3. JUSTIFICACIÓN	7
4. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	9
4.1. Esquema de soluciones.....	10
5. MARCO TEÓRICO.....	13
5.1. Gestión de mantenimiento.....	13
5.1.1. Mantenimiento preventivo.....	14
5.1.2. Mantenimiento predictivo	15

5.2.	Norma GER-3621.....	16
5.3.	Planta termoeléctrica.....	19
5.4.	Caldera.....	21
5.5.	Turbina.....	22
5.6.	Generador eléctrico.....	22
5.7.	Factor de potencia.....	25
5.8.	Termografía.....	27
5.9.	Curva de Capabilidad.....	28
6.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	31
7.	METODOLOGÍA	33
7.1.	Diseño	33
7.2.	Tipo de estudio.....	33
7.3.	Alcance	34
7.4.	Variables	34
7.4.1.	Variables cualitativas.....	34
7.5.	Fases	35
7.5.1.	Fase 1: Interpretación del marco teórico	35
7.5.2.	Fase 2: Desarrollo de verificaciones y pruebas en la planta termoeléctrica	35
7.5.3.	Fase 3: Determinar el tipo de enfriamiento adecuado en el generador y turbina con base a la norma GER-3621	35
7.5.4.	Fase 4: Interpretación de la prueba EL CID (<i>Core Imperfection Detection</i>)	36
7.5.5.	Fase 5: Descripción, determinación e interpretación de las recomendaciones a seguir	

	para la gestión de mantenimiento de una planta termoeléctrica General Electric.....	36
7.5.6.	Fase 6: Se establece la gestión plan de mantenimiento con base a los métodos de termografía y eficiencia para los regímenes de la planta termoeléctrica	36
7.6.	Instrumentos de recolección de información	37
7.6.1.	Termografía	37
7.6.2.	Factor de potencia	37
7.6.3.	Eficiencia energética.....	37
8.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	39
8.1.	Estadística inferencial.....	39
9.	CRONOGRAMA.....	41
10.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	43
	BIBLIOGRAFÍA.....	45

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURA

1.	Esquema de solución	11
----	---------------------------	----

TABLAS

I.	Cronograma	41
II.	Factibilidad del estudio	43

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
VAr	Voltamperio reactivo

GLOSARIO

CID	Detección de Imperfección Básica.
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

Una planta termoeléctrica es fundamental para la generación de energía eléctrica, utilizada para mejorar el abastecimiento de energía eléctrica generada, siendo de gran utilidad para las empresas encargadas de la distribución de energía y para los consumidores.

Por lo tanto, la implementación de una gestión de plan de mantenimiento preventivo a una planta termoeléctrica 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.

Con base a la Norma GER-3621, utilizada para la realización 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.

Para lograr resultados positivos 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.

OBJETIVOS

General

Desarrollar la gestión de mantenimiento para el análisis de funcionalidad del mantenimiento de la planta termoeléctrica General Electric con base a la norma GER-3621.

Específicos

1. Establecer los datos iniciales para la realización del mantenimiento adecuado a la planta termoeléctrica.
2. Desarrollar las debidas verificaciones y pruebas para garantizar la vida útil de la planta termoeléctrica, para su calidad de funcionamiento y generación de energía eléctrica bajo la norma GER-3621.
3. Analizar el sobrecalentamiento del generador eléctrico y turbina de vapor y emplear el tipo de enfriamiento adecuado bajo la norma GER-3621.
4. Analizar el factor de potencia y puntos calientes por medio de termografía, para implementación de prueba EL CID (Core Imperfection Detection).
5. Establecer los procedimientos a seguir con base al funcionamiento de los componentes de la planta termoeléctrica, para lograr un correcto funcionamiento a base del mantenimiento en la generación de energía.

INTRODUCCIÓN

El emprendimiento en la realización de un plan de mantenimiento preventivo 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 en la planta termoeléctrica, 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 paros, 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.

Para la mejora de entrega de energía eléctrica de la planta termoeléctrica y el debido mantenimiento de sus turbinas, 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. Determinar el estado inicial de la planta termoeléctrica para verificación y recomendaciones con base a los paros y fallas en la generación de energía eléctrica de la planta termoeléctrica basado a los estatutos existentes.

Capítulo III. Se describe el método de análisis de trabajo para el desarrollo de plan de mantenimiento con base de la Norma GER-3621, estableciendo propuestas de verificaciones, recomendaciones, calidad de generación de energía eléctrica.

Capítulo IV. Presentación y discusión de resultados de la implementación de las pruebas, prueba EL CID en generador, análisis de sobrecalentamientos implementando los tipos de enfriamiento en base a la norma GER-3621, para el correcto funcionamiento de los generadores y turbinas de vapor.

Capítulo V. Propuesta de implementación de gestión de mantenimiento preventivo en la planta termoeléctrica General Electric con análisis de reducción de fallas, peligros, análisis con base del factor de utilización y factor de potencia.

1. ANTECEDENTES

Mendez (2007) presentó que “una planta termoeléctrica en la que la energía química del combustible se transforma en energía calorífica, este se conduce a la turbina donde se convierte en energía mecánica, la que se transmite al generador para producir energía eléctrica”. El autor hace referencia al funcionamiento básico de una planta termoeléctrica para la conversión que se realiza en la central para generar energía eléctrica.

Por su parte, Sanmartin & Quezada (2014) presentaron que: “Es necesario gestionar de manera correcta las necesidades y prioridades de la función de mantenimiento, para lograr los efectos convenientes, a través de la mejora en cuanto a la eficiencia y eficacia de los procesos para alcanzar a una excelencia operativa dentro del mantenimiento”.

De la misma manera, Soto & Rodriguez (2009) presentaron que, “existen diferentes tipos de plantas termoeléctricas clasificadas de acuerdo al tipo de combustible, el fluido al calentar (agua o gas), el tipo de generador de vapor, etc, el funcionamiento de todas las plantas térmicas, o termoeléctricas, es similar”.

De tal manera, Izaguirre (2015) presentó que “la generación de electricidad por parte de plantas térmicas, es muy utilizado en países en vías de desarrollo, es primordial la supervisión de operación, existen soluciones para optimizar procedimientos o procesos en las plantas de generación de energía”.

Por lo tanto, Miranda (2005) presentó que “las actividades del sector electricidad han sido establecidas como generación, transmisión, distribución y comercialización. El bien electricidad es producido por agentes partícipes en la actividad de generación, los servicios eléctricos son brindados por agentes de transmisión y distribución”.

De tal manera, Montoro (2014) presentó que “la Estación de Regulación y Medición de gas natural de una Planta Termoeléctrica, el mantenimiento resulta ser parte importante de operación de la planta, la falta de un mantenimiento preventivo programado puede generar problemas de funcionamiento y operatividad”.

En efecto, Gálvez (2017) presentó que el “uso eficiente y confiable de la energía disponible, especialmente en la Generación Termoeléctrica del Sector Público de Electricidad a pesar de los escasos recursos de nuestro país se hace derroche de energía por las ineficiencias operación y mantenimiento de los equipos”.

Por lo tanto, Villaverde (2013) presentó que “La prueba de EL CID ha demostrado buena sensibilidad, para detectar laminaciones en corto en el núcleo del estator de turbogeneradores. El objetivo de esta prueba es detectar los puntos calientes que se generan en el laminado del estator”. El autor hace referencia a la prueba EL CID que se realiza en el generador y el estator de una planta termoeléctrica para el correcto funcionamiento y detección de fallas.

Si bien, Chávez (2012) presentó que “La prueba de EL CID se realiza alimentando el núcleo del estator con una excitación de baja magnitud generando un pequeño flujo magnético circulante, el cual será suficiente para determinar el estado del aislamiento”.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Descripción

En una termoeléctrica es fundamental el mantenimiento preventivo, debido a la falta de mantenimiento, radica la ausencia de controles de mantenimiento preventivo, la falta de control, permite 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, 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, provocando 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, existencia de puntos calientes, temperaturas elevadas en el rotor del generador provocando el mal funcionamiento.

La falta de un mantenimiento preventivo puede ocasionar a que se conviertan en fallas relacionadas con la confiabilidad de utilización de la termoeléctrica afectando la disponibilidad, provoca baja eficiencia y la continuidad prolongada de operación, afecta en la generación de energía eléctrica y la variabilidad de funcionalidad en el área eléctrica.

2.2. Formulación

A consecuencia de los problemas suscitados salen las siguientes preguntas:

2.2.1. Pregunta central

¿Cómo debe ser la gestión de mantenimiento preventivo a una planta termoeléctrica General Electric con base a la norma GER-3621?

2.2.2. Preguntas específicas

Y sus preguntas específicas son:

- ¿Qué tipo de datos iniciales son los requeridos para la realización del mantenimiento adecuado?
- ¿Qué tipo de pruebas y verificaciones deben ser realizadas a una planta termoeléctrica General Electric en la generación de energía eléctrica?
- ¿Cómo evitar el sobrecalentamiento del generador eléctrico y turbina de vapor tomando en cuenta la norma GER-3621?
- ¿La prueba EL CID de baja inducción fuera de línea se podría utilizar para la verificación del generador?
- ¿Se deben tomar en cuenta la realización de inspección en el funcionamiento correcto de una termoeléctrica General Electric, para mejora en generación de la energía eléctrica?

2.3. Delimitación

La Norma GER-3621 será de gran utilidad en la realización del mantenimiento preventivo, para evitar fallas durante la operación de la planta termoeléctrica estableciendo los lapsos de tiempo necesario de realización de dicho mantenimiento.

En la investigación se debe tomar en cuenta un número determinado de pruebas y verificaciones más importantes que se deben tomar en cuenta en la realización del mantenimiento de la planta termoeléctrica General Electric, con base a la norma GER-3621 para mejora de generación de energía eléctrica.

Los procedimientos a seguir se llevarán a cabo tomando en cuenta los más importantes para el funcionamiento correcto de una termoeléctrica General Electric será basado a la norma GER-3621 y con base a recomendaciones de personas que trabajan en el ámbito de termoeléctricas en Guatemala, para la generación de energía eléctrica.

El mantenimiento se llevará a cabo con base a la mejora de la calidad energética de generación de energía eléctrica, logra una mejora de eficiencia en la entrega para los consumidores, a fin de lograr una mejor generación para producir más con menos energía.

3. JUSTIFICACIÓN

Realizar la investigación con base a las líneas de Gestión y de Normalización del Mantenimiento con la utilización de la Norma GER-3621, dicha norma es la encargada de los mantenimientos de termoeléctricas General Electric; en la línea de Gestión de mantenimiento para la realización de la gestión propuesta, así lograr los objetivos propuestos a realizar y llevar a cabo una mejor planificación, control y supervisión de la planta termoeléctrica, para obtener una mayor confiabilidad y cumplimiento del mismo; en la línea de diseño y conservación de materiales con la realización, a través de métodos visuales y de control con base al uso de la termografía para verificación de puntos calientes o sobrecalentamientos en la planta.

La implementación del plan de mantenimiento a la planta generadora llevará como fin seguir las Normas de Mantenimiento GER-3621 y basarse en las recomendaciones propuestas, a fin de lograr el correcto funcionamiento y prolongar la vida útil de la termoeléctrica, para evitar los elevados costos en reparación, compra de piezas nuevas o pérdidas por desastres, por falta del mantenimiento correcto.

Se observa por parte del investigador que las centrales termoeléctricas conforman el sector de plantas generadoras que concentran la mayor proporción de energía eléctrica que se produce en el país, de allí el impacto que puede producir la aplicación de técnicas que mejoren los índices de desempeño de la operación de estas centrales. (Delgadillo, 2009).

El mantenimiento preventivo de la planta termoeléctrica es un beneficio de protección y seguridad para el resguardo de mejor calidad en la planta termoeléctrica, evita el incremento de trabajo, pérdida de tiempo por paros de la planta por largos lapsos de tiempo dando lugar a pérdidas, gastos por daños, perjuicios o pérdidas totales.

El enfoque del mantenimiento en la planta termoeléctrica demostrará la calidad de generar energía eléctrica para beneficio de las empresas encargadas de implementar termoeléctricas, para el país y beneficio para la población que es de suma importancia la utilización de la misma en la demanda existente que generan las plantas termoeléctricas.

4. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

La planta termoeléctrica General Electric necesita tener un plan de mantenimiento preventivo de carácter obligatorio, realizando su debido mantenimiento durante un tiempo determinado para prevenir posibles fallas, sobrecalentamientos, pérdidas totales.

Proponer un mantenimiento preventivo periódico anual para que esté en las condiciones adecuadas para la utilización correcta en la generación de energía eléctrica, basándose el personal en las recomendaciones propuestas y verificaciones evitando percances en el funcionamiento y mantenimiento de la termoeléctrica, evitando poner en riesgo el trabajo dentro de la empresa.

Las principales necesidades a cubrir en la planta termoeléctrica General Electric son las sugerencias a seguir, según el fabricante y la norma GER-3621 basada para la realización de las tareas, así lograr una disminución de paros por largas horas por fallas, seguir las sugerencias de verificación propuestas, para evitar problemas en la termoeléctrica, debido a que esto podría ocasionar ser catastrófico y llegar a la destrucción de la termoeléctrica, las verificaciones propuestas por medio de pruebas determinadas al generador para lograr una mejor entrega de la energía eléctrica y evitar sobrecalentamientos, las verificaciones propuestas de las turbinas de vapor realizadas por períodos por años para los componentes que la conforman, evitar fallas en los discos de la turbina afectando el correcto funcionamiento.

Proponer el sistema de mantenimiento a la planta termoeléctrica enfocado para tener precauciones, medidas de seguridad, preparación ante algunas situaciones que se puedan presentar con las posibles fallas en la planta termoeléctrica; tenga como función principal realizar un debido seguimiento al mantenimiento preventivo de los componentes que forman parte de la planta, garantizando una duración de funcionamiento más prolongada durante más tiempo.

La duración de la gestión de mantenimiento para la planta termoeléctrica se llevará a cabo en un lapso de 7 meses, que será de gran importancia la realización anual del mantenimiento preventivo a la planta para lograr una eficiencia de generación en la calidad de energía eléctrica.

4.1. Esquema de soluciones

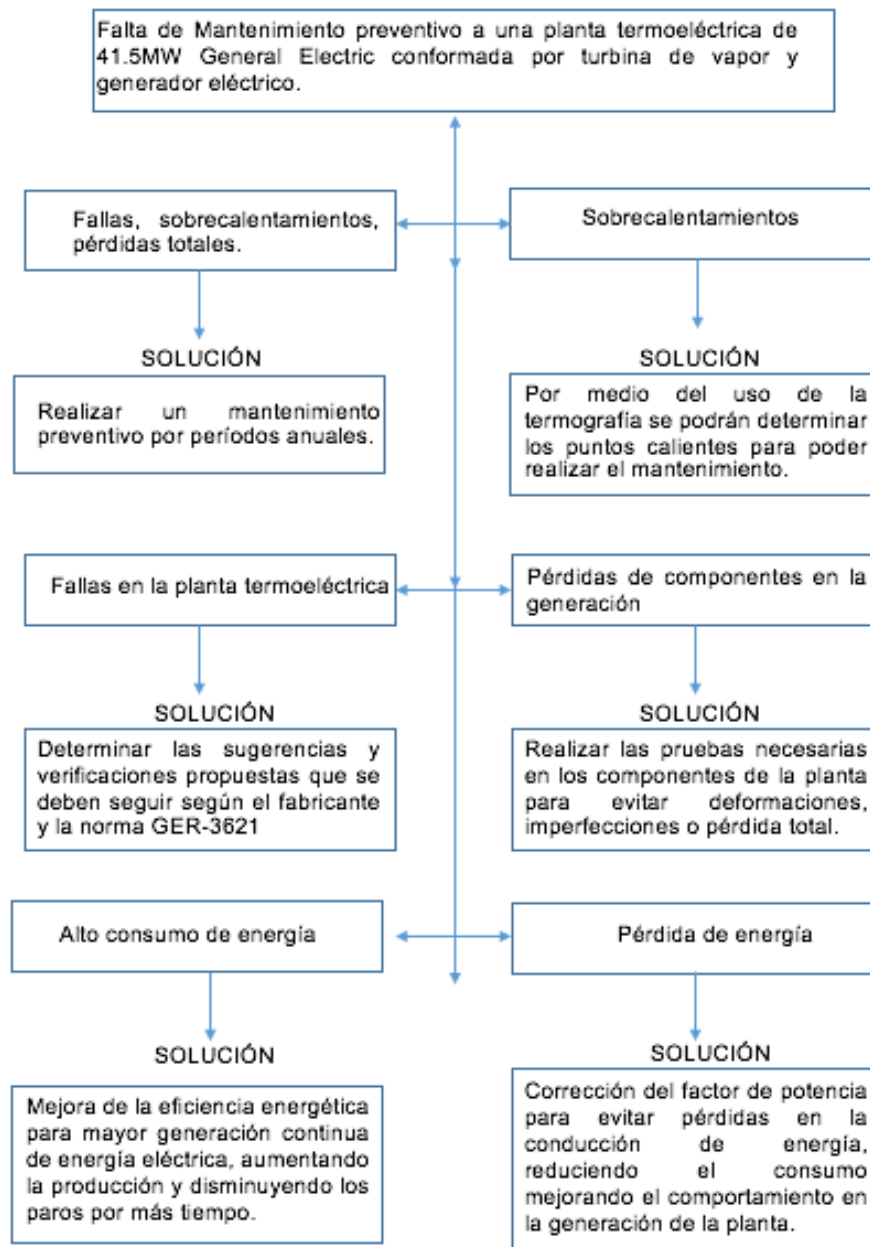
El esquema de soluciones se utilizará como referencia para la realización de la gestión de mantenimiento preventivo, iniciando con las fallas, sobrecalentamientos y pérdidas dentro de la planta termoeléctrica, la solución propuesta es realizar un mantenimiento anual para evitar paros inesperados en la generación de energía.

Existen sobrecalentamientos en la planta, para la cual la solución propuesta es la realización de la termografía por medio de una cámara termográfica, para determinar los puntos calientes evitando el mal funcionamiento o deterioro de los componentes.

Las fallas en la planta presentan pérdidas de componentes, altos consumos y pérdidas de energía, la solución propuesta es determinar las

sugerencias y verificaciones que la norma indica, mejorar el factor de potencia y la eficiencia de energía para reducir el consumo, lograr una generación continua de energía.

Figura 1. **Esquema de solución**



Fuente: elaboración propia.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. 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 la para, que tengan el menor impacto posible” (Sanmartin & Quezada, 2014). Para las empresas es importante evitar las paras de productividad o generación por fallas que ocurren inesperadamente, es por eso que llevar la debida gestión mejora el trabajo de entrega.

- **Mantenimiento**

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

5.1.1. 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 para 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.

5.1.2. 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.

5.2. Norma GER-3621

Norma estándar utilizada para garantizar el mantenimiento a realizar para 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 y 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.

- Suficiencia

La Norma GER-3621 son de consideración necesaria y útil para la seguridad. El mantenimiento y cumplimiento de la misma 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 una planta termoeléctrica.

- 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.

- 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.

- Sobre calentamiento

El sobre calentamiento 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 destroz.

5.3. 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 estas.

- 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 para 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, también 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.

5.4. 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).

5.5. Turbina

“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).

5.6. 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.

- 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 la misma.

- 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.

5.7. 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:

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

- Facto 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 a 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)

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

5.8. 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.

5.9. Curva de Capabilidad

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

“La curva de capabilidad, es donde se muestran las limitaciones en 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).

$$\% Eficiencia = \frac{Producción\ Real}{Producción\ Esperada} * 100 \quad (6)$$

6. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	I
ÍNDICE DE TABLAS	II
LISTA DE SÍMBOLOS	III
GLOSARIO	IV
RESUMEN	V
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	VI
OBJETIVOS	VII
RESUMEN MARCO METODOLÓGICO	VIII
INTRODUCCIÓN	IX
1. GESTIÓN DE MANTENIMIENTO	
1.1 Mantenimiento Preventivo	
1.2 Mantenimiento Predictivo	
2. NORMA GER-3621	
3. PLANTA TERMOELÉCTRICA	
4. CALDERA	
5. TURBINA	
6. GENERADOR ELÉCTRICO	
7. FACTOR DE POTENCIA	

8. TERMOGRAFÍA
9. CURVA DE CAPABILIDAD
10. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN
11. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS
12. PROPUESTA DE TRABAJO

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

7. METODOLOGÍA

Para la realización del plan de mantenimiento se describen a continuación las diferentes técnicas, los métodos y su debido procedimiento para la realización de los objetivos propuestos para la realización del mismo.

7.1. Diseño

El tipo de diseño a realizar es no experimental, la realización de un plan de mantenimiento preventivo 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 las fallas que se tienen, así plantear las soluciones a los diferentes factores que se presenten. Así como la realización de las pruebas propuestas para la planta termoeléctrica.

7.2. Tipo de estudio

El tipo de estudio se realizará por medio del tipo cualitativo, de tipo descriptivo. La realización de la gestión de mantenimiento preventivo debe realizarse periódicamente, para evitar posibles fallas críticas para la planta termoeléctrica.

7.3. Alcance

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

7.4. Variables

7.4.1. Variables cualitativas

- **Fallas:** Situación que se presenta al momento que uno de los componentes no realiza su función de forma correcta causando paros inesperados.
- **Verificaciones:** Comprobación del correcto funcionamiento de los componentes que forman parte de una planta termoeléctrica, para obtener un resultado.
- **Recomendaciones:** Sugerencia para evitar algún tipo de falla que pueda presentarse durante o después del funcionamiento de la planta termoeléctrica.
- **Pruebas:** Permite la verificación y determinar la calidad de funcionamiento de los componentes, para poder llevar a cabo un mantenimiento según lo demande el caso.
- **Termografía:** Permite la verificación de los puntos calientes existentes dentro de la planta termoeléctrica.

- Eficiencia energética: Determina la reducción en el consumo de energía por parte de la planta termoeléctrica, para lograr una mejor utilización de la energía.
- Potencia: Determina la cantidad de energía que será entregada por parte de la planta termoeléctrica, para lograr el objetivo de entrega y mejora de la demanda por parte de los usuarios a utilizarla.

7.5. Fases

7.5.1. Fase 1: Interpretación del marco teórico

En la primera fase, se realizará la evaluación de las fallas, riesgos, averías, explicación del funcionamiento de una planta termoeléctrica, ventajas y desventajas, fallas existentes en los componentes en la generación de energía.

7.5.2. Fase 2: Desarrollo de verificaciones y pruebas en la planta termoeléctrica

La segunda fase consiste en las verificaciones y pruebas que se deben realizar para identificar las posibles fallas que se puedan presentar, utilizando las pruebas para garantizar la calidad y vida útil en su funcionamiento de la planta termoeléctrica.

7.5.3. Fase 3: Determinar el tipo de enfriamiento adecuado en el generador y turbina con base a la norma GER-3621

La tercera fase consiste en el desarrollo de la metodología de los enfriamientos necesarios utilizados bajo la Norma GER-3621 para la planta

termoeléctrica, así evitar los sobrecalentamientos y deterioro de ambos componentes siendo el generador y la turbina de vapor.

7.5.4. Fase 4: Interpretación de la prueba EL CID (*Core Imperfection Detection*)

La cuarta fase consiste en la explicación e interpretación de lo que consiste la prueba EL CID, con el fin de lograr el diagnóstico de imperfecciones que puedan presentarse en el generador y establecer el estado funcional ante una falla y mantener la vida útil de funcionamiento.

7.5.5. Fase 5: Descripción, determinación e interpretación de las recomendaciones a seguir para la gestión de mantenimiento de una planta termoeléctrica General Electric

La quinta fase consiste en describir y proponer las principales recomendaciones que se deben seguir para el resguardo de los componentes y el personal encargado de la realización del mantenimiento preventivo en la planta termoeléctrica.

7.5.6. Fase 6: Se establece la gestión plan de mantenimiento con base a los métodos de termografía y eficiencia para los regímenes de la planta termoeléctrica

La sexta fase consiste en la implementación de la gestión del plan de mantenimiento con la ayuda de la termografía y verificación de la eficiencia de entrega de la energía eléctrica en la generación de la planta.

7.6. Instrumentos de recolección de información

7.6.1. Termografía

Con base a la utilización de una cámara termográfica, por medio de imágenes para la realización del diagnóstico para el mantenimiento preventivo, se pueden detectar las fallas que no pueden ser inspeccionadas a simple vista, por donde suceden puntos de sobrecalentamiento antes o durante la falla, para determinar los puntos calientes donde se debe realizar el mantenimiento preventivo, para evitar la pérdida de componentes o de toda la planta.

7.6.2. Factor de potencia

Por medio de una lista de comprobación, detallando el valor de factor de carga, potencia actual, factor de potencia deseado, la potencia activa, potencia reactiva comparando los valores de un antes y un después de realizado el mantenimiento preventivo.

7.6.3. Eficiencia energética

Por medio de una lista de comprobación, detallar la potencia útil y la potencia que consume la planta termoeléctrica, determinada por la información en la generación de energía, se compararán los valores de generación de un antes y un después de realizado el mantenimiento preventivo, utilizar la fórmula de eficiencia energética (5) se obtendrá un resultado de la mejora.

8. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

8.1. Estadística inferencial

Se describen, analizan e interpretan los datos de las fallas más comunes que suelen suceder, la frecuencia en que suceden, los riesgos que representan con respecto del funcionamiento; tomar en cuenta la frecuencia con que realizan el debido mantenimiento y si se lleva un control de todas las fallas que ocurren, realizar un análisis cuantitativo de las averías más comunes que suceden, así como las observaciones que se han detectado ante las distintas fallas, qué medidas se han utilizado con base a fallas inesperadas o paros inesperados de la planta termoeléctrica.

La termografía realizada durante cada año en la planta termoeléctrica determina los puntos calientes existentes en la planta, los sobrecalentamientos que existen en la misma, la termografía se realiza tanto en funcionamiento de la planta termoeléctrica como también en paro, dicha información generada por la termografía permite obtener datos reales del estado existente de la planta, seguimiento de los patrones, comportamiento y las anomalías térmicas que conlleven a un tipo de falla, así obtener una evaluación precisa en un tiempo real.

El análisis de la eficiencia energética en la planta por medio de la fórmula de eficiencia, se interpreta el buen funcionamiento en la generación de energía eléctrica así generar datos sobre el comportamiento correcto, para una mejora en la entrega del servicio.

10. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Tabla II. Factibilidad del estudio

Tipo de recurso	Descripción	Valor
Recurso humano	Realización única por el investigador (estudiante) con asesoría del ingeniero Carlos Chicol	Q. 2,500.00 por asesoría
Recurso de materiales	Utilización de papel por impresiones y otros implementos de oficina	Q.600.00
Transporte	Gasto de combustible por recopilación de información	Q. 1,100.00
Insumos	Alimentación, parqueo, etc..	Q. 1,200.00
Personal técnico	Ayuda de parte del personal que labora en el ámbito de plantas termoeléctricas.	Q.900.00
Termografía	Utilización de la termografía para detectar puntos calientes o sobrecalentamientos existentes.	Q. 6,0000
Información	La recopilación de datos para la realización de la gestión, dada por personal de una central.	Q.0.00
Total		Q. 12,300.00

Fuente: elaboración propia.

El estudio tendrá una factibilidad de realización, debido a que será de gran beneficio para la planta termoeléctrica en la generación de energía eléctrica y el correcto funcionamiento, para reducir las posibles fallas existentes.

Para la realización de la gestión de mantenimiento se cuenta con los recursos financieros propios y un aporte de la empresa Ingeniería Técnica Industrial, la información necesaria para la realización del trabajo de investigación será proporcionada por personales técnicos que trabajan en el ámbito de termoeléctricas.

Entre los gastos descritos, se toma en cuenta los recursos que serán partícipes en la realización de la gestión de mantenimiento, el recurso económico es lo más necesario para lograr los objetivos señalados.

BIBLIOGRAFÍA

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. Cartaya, J. (2013). *Estudio de factibilidad para plantas termoeléctricas en torno a centros de producción de Coque*. Tesis Ingeniero Mecánico. Universidad Simón Bolívar. Colombia.
7. 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.
8. 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.
9. Chávez, A. (2012). *Ensayos de termografía a núcleos de estatores de máquinas eléctricas rotativas*. Tesis Ingeniero Electricista. Universidad Simón Bolívar. Colombia.
10. Chile, Superintendencia del Medio Ambiente (2014). *Guía de aspectos ambientales relevantes para centrales termoeléctricas*.
11. 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.

12. 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.
13. Gálvez, C. (1993). *Optimización de la gestión energética en la generación termoeléctrica del servicio público*. Tesis Ingeniero Mecánico. Universidad Nacional de Ingeniería. Perú.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. Jacome, A. (2011). *Código Eléctrico Nacional (NEC), o NFPA 70*. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Universidad de Costa Rica. Costa Rica.

18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. Miranda, M. (2005). *Inversión para el futuro próximo termoeléctrica a gas natural*. Tesis Ingeniero Industrial. Pontificia Universidad Católica del Perú. Perú.
22. 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.
23. 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.

24. Picazo, M. (2016). *Diagnóstico de máquinas eléctricas, mediante técnicas de termografía infrarroja*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. España.
25. 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.
26. Ruano, J. (2005). *Guía práctica de termografía para el curso de montaje y mantenimiento de equipo*. Tesis Ingeniero Mecánico. Universidad de San Carlos. Guatemala.
27. 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.
28. 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.
29. 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.

30. Sierra, G. (2004). *Programa de mantenimiento preventivo para la empresa metalmeccánica industrias AVM S.A.* Tesis Ingeniero Mecánico. Universidad de Santander. Bucaramanga.
31. Soto, I. & Rodriguez, L. (2009). *Evaluación técnica y económica de una central termoeléctrica en la región de los ríos.* Tesis Ingeniero Mecánico. Universidad Austral de Chile. Chile.
32. 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.
33. 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.
34. Villaverde, M. (2013). *Diagnóstico al estator del generador eléctrico de la central termoeléctrica Francisco Pérez Ríos.* Tesis Ingeniero Electricista. Instituto Politécnico Nacional. México.
35. 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.

36. Yescas, E. (2003). *Control de una planta generadora de energía eléctrica*. Tesis Ingeniero Electrónico. Universidad Tecnológica de la Mixteca. Oaxa.

