



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

**GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO PARA EL EQUIPO DE GENERACIÓN Y
DISTRIBUCIÓN DE VAPOR DEL CENTRO MÉDICO MILITAR BASADO EN ANÁLISIS
TERMOGRÁFICO**

Ing. Willy Ernesto Mazariegos Lara
Mtro. Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda

Guatemala, noviembre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO PARA EL EQUIPO DE GENERACIÓN Y
DISTRIBUCIÓN DE VAPOR DEL CENTRO MÉDICO MILITAR BASADO EN ANÁLISIS
TERMOGRÁFICO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. WILLY ERNESTO MAZARIEGOS LARA
ASESORADO POR EL MTRO. ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO ZEPEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
MAESTRO EN ARTES EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Mtra. Ing. Roció Carolina Medina Galindo
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Carlos Alejandro Alegre Ordóñez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO PARA EL EQUIPO DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR DEL CENTRO MÉDICO MILITAR BASADO EN ANÁLISIS TERMOGRÁFICO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 24 de agosto de 2020.

Ing. Willy Ernesto Mazariegos Lara



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101 – 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

DTG. 729.2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO PARA EL EQUIPO DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR DEL CENTRO MÉDICO MILITAR BASADO EN ANÁLISIS TERMOGRÁFICO**, presentado por el Ingeniero Willy Ernesto Mazariegos Lara, estudiante de la **Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, noviembre de 2021.

AACE/cc



Guatemala, noviembre de 2021

LNG.EEP.OI.141.2021

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 del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

“GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO PARA EL EQUIPO DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR DEL CENTRO MÉDICO MILITAR BASADO EN ANÁLISIS TERMOGRÁFICO”

presentado por **Willy Ernesto Mazariegos Lara** quien se identifica con carné **201990486** 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 Cotí
Director



Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



Guatemala 26 de noviembre 2020.

M.A. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Presente

M.A. Ingeniero Álvarez Cotí:

Por este medio informo que he revisado y aprobado el **Trabajo de Graduación** titulado: **“GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO PARA EL EQUIPO DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR DEL CENTRO MÉDICO MILITAR BASADO EN ANÁLISIS TERMOGRÁFICO”** del estudiante **Ing. Willy Ernesto Mazariegos Lara** quien se identifica con número de carné **201990486** del programa de **Maestría en Ingeniería de Mantenimiento**.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el *Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014*. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.

Atentamente,

Mtra. Inga. Rocío Carolina Medina Galindo
Coordinadora
Maestría en Ingeniería de Mantenimiento
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, 23 de octubre de 2020.

Maestro e Ingeniero
Edgar Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería USAC
Ciudad Universitaria, Zona 12

Distinguido Ingeniero Álvarez:

Atentamente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que como asesor de trabajo de graduación del estudiante **Willy Ernesto Mazariegos Lara**, carné número 201990486, cuyo título es '**GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO PARA EL EQUIPO DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR DEL CENTRO MÉDICO MILITAR BASADO EN ANÁLISIS TERMOGRÁFICO**', para optar al grado académico de Maestro en Ingeniería de Mantenimiento, he procedido a la revisión del mismo.

En tal sentido, en calidad de asesor doy mi anuencia y aprobación para que el estudiante **Mazariegos Lara**, continúe con los trámites correspondientes.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Atentamente,



Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
Mtro. Ingeniería de Mantenimiento
Asesor

Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
Ingeniero Mecánico
Col. 3948

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por darme la sabiduría y fortaleza para lograr cada uno de mis objetivos.
A mi esposa	Yassid González por transmitirme su fortaleza, dedicación y amor para continuar con el camino del conocimiento y superación académica.
A mi hija	Yassid Adriana Mazariegos por ser mi más grande motivación para lograr mis objetivos y ser mejor cada día.
A mi familia	Por el apoyo y amor brindado en esta etapa de mi vida.
Julio Adolfo Fernández Torres	Por ser un ejemplo de vida y servir como una guía para la culminación de mis estudios de Postgrado.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala Por brindarme el privilegio de culminar esta formación superior.

Facultad de Ingeniería Por brindarme los conocimientos que hicieron posible alcanzar este título de Postgrado.

Mis amigos de la Facultad Juan Francisco López Rosales, Osvaldo Córdova Castillo y José Luis Mendoza Alvarado, por su amistad y apoyo durante esta etapa.

Edwin Estuardo Sarceño Zepeda Por su asesoría y apoyo incondicional en la realización de este trabajo de graduación.

Carlos Alejandro Alegre Ordoñez Por transmitir sus conocimientos y brindarme el apoyo necesario para la culminación de este trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XVII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS	XIX
OBJETIVOS	XXIII
RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO	XXV
INTRODUCCIÓN	XXVII
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1. Reseña histórica del hospital Centro Médico Militar	1
1.2. Edificios e instalaciones que conforman el Centro Médico Militar.....	2
1.2.1. Edificaciones	2
1.3. División de ingeniería y mantenimiento	10
1.4. Áreas específicas bajo responsabilidad directa de la División de Ingeniería y Mantenimiento	11
1.4.1. Áreas normales	12
1.4.2. Áreas críticas	15
1.5. ¿Qué es mantenimiento?	18

1.6.	Tipos de mantenimiento	20
1.6.1.	Mantenimiento correctivo	20
1.6.2.	Mantenimiento preventivo	21
1.6.3.	Mantenimiento predictivo	22
1.6.4.	Mantenimiento productivo total	23
1.6.5.	Mantenimiento basado en condición.....	24
1.7.	Generador de vapor.....	25
1.8.	Clasificación de los generadores de vapor por su diseño.....	27
1.8.1.	Generador de vapor pirotubular	27
1.8.2.	Generador de vapor acuotubular	28
1.8.3.	Diferencias de los generadores de vapor por su diseño	29
1.8.4.	Usos en la industria.....	30
1.9.	Sistema de distribución.....	31
1.9.1.	Fundamentos.....	31
1.9.2.	Presión de funcionamiento.....	33
1.9.3.	Disminución en la presión	34
1.9.4.	Distribución de vapor.....	35
1.9.5.	Válvulas de purga.....	36
1.9.6.	Efectos del choque hidráulico	38
1.10.	Factores que inciden en la eficiencia térmica y energética....	40
1.10.1.	Aislamiento térmico	40
1.10.2.	Trampas termodinámicas.....	40
1.10.3.	Baja recuperación de condensado.....	41

1.11.	Fundamentos de la radiación infrarroja	42
1.11.1.	Espectro electromagnético	43
1.12.	Termografía infrarroja	43
1.12.1.	Termografía comparativa cuantitativa	45
1.12.2.	Termografía comparativa cualitativa	45
1.12.3.	Termografía activa.....	46
1.12.4.	Termografía pasiva.....	46
1.12.5.	Termogramas	46
1.12.6.	Aplicación para sistemas mecánicos	47
1.12.7.	Tipos de equipo	48
1.12.8.	Aplicaciones	49
2.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	51
2.1.	Visita de campo para reconocimiento	51
2.2.	Fallos más comunes	54
2.3.	Inspección de disponibilidad.....	55
2.4.	Criticidad de equipos	57
2.5.	Tendencias de temperatura en operación.....	59
2.6.	Recopilación de datos y análisis de información.....	61
2.6.1.	Equipo utilizado para la recolección de datos.....	61
3.	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	63
3.1.	Análisis termográfico realizado a equipos críticos	63
3.2.	Análisis estadístico de temperaturas	70

3.3.	Discusión de resultados.....	72
4.	PROPUESTA DE SOLUCIÓN	75
4.1.	Propuesta del plan de mantenimiento.....	75
4.1.1.	Metodología para el análisis termográfico	76
4.1.2.	Procedimiento para tomas termográficas	78
4.1.3.	Cronograma trimestral de termografía para equipos eléctricos.....	79
4.1.4.	Cronograma bimestral de termografía para partes del generador	80
4.2.	Metodología de divulgación.....	81
4.3.	Análisis externo	81
4.4.	Análisis interno	84
	CONCLUSIONES.....	87
	RECOMENDACIONES	89
	REFERENCIAS	91
	APÉNDICES	97

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama de la División de Ingeniería y Mantenimiento.....	11
2.	Visita típica de una caldera.....	26
3.	Generador de vapor pirotubular.....	28
4.	Generador de vapor acuotubular.....	29
5.	Circuito de vapor.....	33
6.	Relación de producción y volumen.....	34
7.	Estación de válvula reductora de presión.....	35
8.	Método de purga incorrecta.....	37
9.	Método de purga correcta.....	37
10.	Formación del choque hidráulico.....	38
11.	Áreas que presentan choque hidráulico.....	39
12.	Purgador termodinámico.....	41
13.	Espectro electromagnético.....	42
14.	Longitud de onda.....	43
15.	Cámara termográfica.....	48
16.	Medición termográfica.....	49
17.	Cámara termográfica utilizada para el estudio.....	62
18.	Termograma del ventilador de tiro forzado.....	64
19.	Termograma del motor compresor de atomización.....	64
20.	Termograma de tablero trifásico del generador de vapor.....	65
21.	Termograma de motor de bomba de agua.....	65
22.	Termograma de contactor de panel de control de motor de ventilador de tiro forzado.....	66

23.	Termograma de pared refractaria delantera.....	67
24.	Termograma de pared refractaria posterior.....	67
25.	Termograma de cara lateral derecha.....	68
26.	Termograma de válvulas de seguridad.....	68
27.	Termograma de llaves de paso y aislamiento térmico de tubería de distribución de vapor.....	69
28.	Rango de temperaturas en grados C° de elementos eléctricos.....	70
29.	Rango de temperaturas en C° de partes críticas del generador de vapor.....	71

TABLAS

I.	Características principales de instalaciones hidráulicas.....	15
II.	Tabla comparativa de generador de vapor pirotubular y acuotubular.....	30
III.	Características generales de los tres equipos de generación de vapor..	52
IV.	Distribución de vapor por departamentos.....	53
V.	Fallas más frecuentes del generador de vapor No. 2.....	55
VI.	Cálculo de disponibilidad del generador No. 2 mes de septiembre 2019.....	56
VII.	Cálculo de disponibilidad del generador No. 2 mes de octubre 2019.....	57
VIII.	Cálculo de disponibilidad del generador No. 2 mes de noviembre 2019.....	57
IX.	Cálculo de disponibilidad del generador No. 2 mes de diciembre 2019..	57
X.	Análisis de criticidad de equipos eléctricos.....	58
XI.	Análisis de criticidad de equipos y partes.....	59
XII.	Criterios de severidad en termografía de motores eléctricos.....	60
XIII.	Máximo aumento de temperatura por el método de resistencia para motores de inducción medianos.....	61

XIV.	Descripción general de cámara termográfica.....	62
XV.	Temperaturas de operación de elementos eléctricos.....	66
XVI.	Temperaturas de operación de elementos del generador de vapor y sistema de distribución.....	69
XVII.	Cronograma trimestral de termografía para equipos eléctricos.....	79
XVIII.	Cronograma bimestral de termografía para diferentes partes críticas	80

LISTA DE SÍMBOLOS

NEMA	Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos.
NETA	Asociación de Pruebas Eléctricas Internacional.
BHP	<i>Boiler Horse Power.</i>
TBU	<i>British Thermal Unit.</i>
PLC	Controlador lógico programable.
ΔT	Diferencia de temperatura entre dos puntos de medición, los cuales se diferencian por tiempo y/o posición.
END	Ensayos no destructivos.
PSIG	<i>Pounds-force per square inch.</i>
IR	Infrarrojo.
MBC	Mantenimiento basado en condición.
TPM	Mantenimiento productivo total.
BAR	Medida de presión que equivale a una atmósfera.
μm	Micra, es una unidad de longitud equivalente a una milésima parte de un milímetro.
OT	Orden de trabajo.

LCD	Pantalla de cristal líquido.
ASME	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos.
SCADA	Supervisión, Control y Adquisición de Datos.
T	Temperatura.

GLOSARIO

Aislamiento	Es la capacidad de un material de oponerse al flujo del calor y se calcula como la razón entre el espesor del material y la conductividad térmica del mismo.
Aislamiento térmico	Conjunto de materiales y técnicas de instalación que se aplican en los elementos constructivos que separan un espacio climatizado del exterior o de otros espacios para reducir la transmisión de calor entre ellos.
ASME	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos, es una asociación de profesionales, que ha generado un código de diseño, construcción, inspección y pruebas para equipos, entre otros, calderas y recipientes sujetos a presión.
Avería	Daño, rotura o fallo que impide o perjudica el funcionamiento del mecanismo de una máquina.
BAR	Medida de presión que equivale a una atmosfera.
BHP	<i>Boiler Horse Power</i> , es la capacidad de una caldera para suministrar vapor a una máquina de

vapor y no es la misma unidad de potencia que la definición de 550 pies lb/s.

BTU

British Thermal Unit, es una unidad de calor que se define como la cantidad de calor requerida para elevar la temperatura de una libra de agua en un grado Fahrenheit.

Calor

Radiador diseñado para transferir calor entre dos fluidos.

Condensado

es el líquido formado cuando el vapor pasa de fase gas a fase líquida. En un proceso de calentamiento, el condensado es el resultado del vapor que transfirió parte de su energía calorífica, conocida como calor latente, al producto, línea o equipo que debe ser calentado.

Choque hidráulico

Es causado por el condensado que es arrastrado por la tubería y es detenido violentamente al impactar con alguna parte del sistema.

Closed loop

Conjunto de dispositivos mecánicos o electrónicos que regula automáticamente una variable de proceso a un estado o punto de ajuste deseado sin interacción humana.

Eficiencia térmica

Es la relación entre la energía que deseamos obtener de dicha máquina (trabajo realizado) y la

energía consumida en su funcionamiento (energía suministrada).

END

Ensayos no destructivos, son pruebas que nos permiten conocer el estado de un componente o pieza sin modificar la estructura y las propiedades del mismo.

Generador de vapor

Intercambiador que aprovecha el calor que se genera al consumir combustible, comúnmente bunker o gas licuado.

Golpe de ariete

Aumento repentino de la presión causado por un cambio rápido en la velocidad de caudal de la tubería.

Intercambiador de rodamiento

Es un elemento que sirve como apoyo a un eje y sobre el cual éste gira.

IR

Infrarrojo, forma de radiación electromagnética que está fuera del espectro visible. Sus longitudes de onda varían entre los 0,7 y los 1000 micrómetros y sus valores de frecuencia están comprendidos entre los 3×10^{11} y los $3,84 \times 10^{14}$.

LCD

Pantalla de cristal líquido, es una pantalla delgada y plana formada por un número de píxeles en color o monocromos colocados

delante de una fuente de luz o reflectora. A menudo se utiliza en dispositivos electrónicos de pilas, ya que utiliza cantidades muy pequeñas de energía eléctrica.

Mantenimiento

Conjunto de procedimientos o actividades que se realizan a equipos o instalaciones, con la finalidad de corregir o prevenir paros o fallas.

MBC

Mantenimiento basado en condición, estrategia de mantenimiento que basa sus resultados, es decir, disponibilidad, fiabilidad, coste de mantenimiento, vida útil de la instalación, seguridad y bajo impacto ambiental, en el diagnóstico previo de los equipos.

NEMA

Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos, organismo responsable de numerosos estándares industriales comunes usados en el campo de la electricidad.

NETA

Asociación de Pruebas Eléctricas Internacional, estándar norteamericano más alto existente para Pruebas Eléctricas en la industria.

OT

Orden de trabajo, es un documento que ordena la realización de una tarea o conjunto de tareas, sirve de núcleo para la compilación de datos, ya sea para la orden en su conjunto o para los componentes individuales y sus procesos.

PLC	Controlador lógico programable, computadora que se utiliza para realizar tareas automatizadas, como pueden ser líneas de ensamblaje en fábricas, sistemas de iluminación o cualquier otro tipo de proceso que sea automatizable.
PSIG	Esta es la unidad de presión en relación con la presión ambiental o la presión atmosférica.
SCADA	Supervisión, Control y Adquisición de Datos, es un concepto que se emplea para realizar un software para ordenadores que permite controlar y supervisar procesos industriales a distancia.
TPM	Mantenimiento productivo total, se enfoca en el mantenimiento proactivo y preventivo para maximizar la eficiencia operativa del equipo.
Trampa termodinámica	Purgador automático de condensado para instalar en equipos y componentes que consumen vapor.
Válvula	Dispositivo que abre o cierra el paso de un fluido por un conducto.

RESUMEN

El Hospital Centro Médico Militar del Ministerio de la Defensa Nacional, ubicado en la Finca El Palomar, Acatán Santa Rosita, Zona 16, del Municipio de Guatemala, departamento de Guatemala, cuenta con tres generadores de vapor Marca Cleaver-Brooks, de 500 BHP. Las condiciones de operación del equipo de generación de vapor son precarias dado que no se cuenta con un plan de mantenimiento preventivo basado en END.

Los tres equipos de generación y distribución de vapor que actualmente se encuentran en operación en el Centro Médico Militar, no cuentan con ningún tipo de plan de mantenimiento preventivo para reducir el número de paros continuos que presentan los equipos mencionados, los cuales abastecen de vapor a los departamentos de dietética, central de equipos y tanques de agua entre otros.

Los equipos de generación de vapor resultan ser determinantes para la operatividad del centro asistencial, considerando que se han tenido experiencias de los problemas que se conciben cuando el equipo debe detenerse por causa de algún desperfecto, el cual pudiera haberse detectado si existieran los controles de mantenimiento adecuados.

Entonces con base al conocimiento teórico y los antecedentes de fallas previas presentados por los equipos de generación y distribución de vapor, se realiza un análisis de fallas de carácter cualitativo, consignando datos de fallas recurrentes y los componentes del equipo que puedan estar implicados con el desempeño y funcionalidad de estos.

Con la información del análisis de fallas cuantitativo, se propone la utilización del equipo de termografía para la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo, educir la problemática de pérdidas energéticas y de fallas generadas por el paro del equipo al efectuar los mantenimientos correctivos o no programados.

Si la propuesta del plan de mantenimiento preventivo basado en el análisis termográfico no se cumple, los equipos de generación y distribución de vapor del centro asistencial continuarán deteriorándose de manera rápida, generando paros para su reparación, afectando a los distintos departamentos que dependen del vital fluido, sin mencionar la atención al paciente que es imperativa como hospital de la red estratégica nacional de salud.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS

El problema es la falta de gestión de mantenimiento preventivo a los equipos de generación y distribución de vapor del Centro Médico Militar, basado en ensayos no destructivos.

El Hospital Centro Médico Militar del Ministerio de la Defensa Nacional, ubicado en la Finca El Palomar, Acatán Santa Rosita, Zona 16, del Municipio de Guatemala, departamento de Guatemala, cuenta con tres generadores de vapor Marca Cleaver-Brooks, de 500 BHP. Las condiciones de operación del equipo de generación de vapor son precarias dado que no se cuenta con un plan de mantenimiento preventivo.

Los tres equipos de generación y distribución de vapor que actualmente se encuentran en operación en el Centro Médico Militar, no cuentan con ningún tipo de plan de mantenimiento preventivo para reducir el número de paros continuos que presentan los equipos auxiliares y partes, los cuales abastecen de vapor a los departamentos de dietética, central de equipos y tanques de agua.

Los equipos de generación de vapor resultan ser determinantes para la operatividad del centro asistencial, considerando que se han tenido experiencias de los problemas que se conciben cuando el equipo debe detenerse por causa de algún desperfecto, el cual pudiera haberse detectado si existieran los controles de mantenimiento adecuados.

Entonces con base en el conocimiento teórico y los antecedentes de fallas previas presentados por los equipos de generación y distribución de vapor, se realiza un análisis de fallas de carácter cualitativo, consignando datos de fallas recurrentes y los componentes del equipo que puedan estar implicados con el desempeño y funcionalidad de estos.

Con la información del análisis de fallas cualitativo, se propone la utilización del equipo de termografía para la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo y reducir la problemática de pérdidas energéticas y de fallas generadas por el paro del equipo al efectuar los mantenimientos correctivos o no programados y preventivos.

Si la propuesta del plan de mantenimiento preventivo basado en el análisis termográfico no se cumple, los equipos de generación y distribución de vapor del centro asistencial continuarán deteriorándose de manera rápida, generando paros para su reparación, afectando a los distintos departamentos que dependen del vital fluido, sin mencionar la atención al paciente que es imperativa como hospital de la red estratégica nacional de salud.

Pregunta orientadora central

¿Cómo se pueden llevar una adecuada gestión de mantenimiento en el equipo de generación y distribución de vapor del Centro Médico Militar?

Preguntas auxiliares

- ¿Cuál sería la manera de identificar el panorama general de los fallos, mantenimientos preventivos y correctivos que se le han realizado al equipo de generación y distribución de vapor?

- ¿Cómo se pueden realizar inspecciones de disponibilidad y funcionamiento a los equipos de generación y distribución de vapor?
- ¿Cómo se podrá mejorar la gestión del mantenimiento del equipo de generación y distribución de vapor?
- ¿Cuál sería el proceso para socializar el plan de mantenimiento preventivo basado en el análisis termográfico al personal de operadores y técnicos del Centro Médico Militar?

OBJETIVOS

General

Establecer una propuesta de un plan de mantenimiento preventivo al equipo de generación y distribución de vapor del Centro Médico Militar basado en análisis termográfico.

Específicos

- Realizar inspecciones de disponibilidad y funcionamiento a los equipos de generación y distribución de vapor verificando las bitácoras o folder de información de los equipos para establecer tendencias de paros y disponibilidad.
- Identificar el panorama general de los equipos estableciendo tendencias sobre las condiciones de la temperatura de operación de equipos auxiliares y partes.
- Establecer un plan de mantenimiento preventivo basado en la interpretación de los resultados obtenidos de los análisis termográficos, para mejorar la disponibilidad y eficiencia del equipo de generación y distribución de vapor identificando posibles fallas o inestabilidad de los equipos.
- Estructurar un medio gráfico para dar a conocer el plan de mantenimiento preventivo.

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

El enfoque de la investigación es mixto debido a las razones siguientes: cuantitativo por que se midió las diferentes variables como lo es la temperatura y fugas térmicas, que definen la condición de los equipos, así como el análisis de tendencias y el límite de funcionamiento y variables de carácter cualitativo como la revisión de los antecedentes del problema y marco teórico. Finalmente, transversal por que la propuesta de análisis consideró la delimitación del tiempo tanto de operación del equipo de generación de vapor como su periodo de mantenimiento.

El presente diseño de investigación es no experimental porque no se realizó ensayos de laboratorio para determinar los resultados de interés para el análisis. Los datos se obtuvieron de los análisis termográficos realizados a los equipos en distintos intervalos de operación.

Se ha seleccionado un tipo de estudio descriptivo, debido a que se elaboró una propuesta basada en la técnica de ensayo no destructivo como es la termografía, continuando con la consignación de datos y el comportamiento de las variables de operación, para después efectuar el análisis sobre los valores obtenidos y evaluar la optimización de estos.

El alcance metodológico es descriptivo, debido a que se efectuó una propuesta de mantenimiento preventivo a los equipos, basado en el análisis termográfico como herramienta de estado de arte.

El proceso para cumplir con los objetivos de la investigación se realizó de la siguiente manera:

Fase 1: se revisó el material documental para la realización de la investigación de antecedentes del problema y marco teórico relacionado al mismo.

Fase 2: se evaluó la situación actual de los equipos de generación y distribución de vapor a través de la revisión del historial de fallas y mantenimiento para determinar el tiempo de paradas por fallas o mantenimientos y se elaboró una propuesta para la creación e implementación de un formulario de fallas o mantenimientos.

Fase 3: se efectuó la toma de termografías infrarrojas como técnica de ensayo no destructivo al equipo de generación y distribución de vapor, asimismo se establecieron valores aceptables para las variables de cada equipo de acuerdo a su criticidad.

Posteriormente se realizó el análisis a los distintos termogramas para determinar si los equipos necesitan mantenimiento, reparación, cambio o pueden continuar funcionando con normalidad.

Fase 4: se elaboró la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para los equipos, el cual se podrá aplicar en base a un cronograma de actividades para los operadores y supervisores de la División de Ingeniería del centro asistencial y así mejorar la disponibilidad, el rendimiento, reducción de paros y costos por fallas a equipos críticos.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación es una sistematización debido a que se elaboró procedimientos a partir de investigaciones previas para su implementación en base a un plan de mantenimiento preventivo.

El problema es la falta de gestión de mantenimiento preventivo basando en ensayos no destructivo al equipo de generación de vapor y su red de distribución, presentando pérdidas energéticas y paros continuos por fallas, afectando a los diferentes departamentos que requieren del fluido para su funcionamiento continuo y así mantener el estado de apresto para la atención a pacientes.

La importancia de la solución reside en el mejoramiento de la disponibilidad del equipo y la implementación del ensayo no destructivo como lo es la termografía infrarroja como herramienta de estado de arte.

El aporte se constituye mediante la generación de un documento como lo es el plan de mantenimiento preventivo, el cual cuenta con los beneficios siguientes: metodología del análisis termográfico, procedimientos para tomas termográficas y cronograma trimestral y bimestral de ejecución.

Los aportes de la investigación al utilizar el plan, será la obtención de tendencias por la identificación de paros o fallas, así como la medición de impacto del mantenimiento preventivo programado.

En el esquema de solución se planteó un trazo de revisión de las tres fases, verificando el historial o bitácora de mantenimientos realizados y fallas más

comunes para determinar el estado de los equipos, posteriormente la toma de termografía infrarroja como ensayo no destructivo durante la operación donde se observaron puntos calientes y se finalizó con la propuesta del plan de mantenimiento preventivo.

La elaboración del presente trabajo fue factible ya que se contó con acceso a los equipos y diferentes departamentos para su análisis y el presupuesto con el que se asumió los gastos que se generaron en el estudio.

En el capítulo I, marco teórico, se desarrolló el contexto de lo que son los tipos de mantenimiento, generadores de vapor, sistema de distribución y la termografía infrarroja como ensayo no destructivo y herramienta de estado de arte para mantenimiento preventivo.

En el capítulo II se realizó el desarrollo de la investigación, efectuando una visita de campo al centro asistencial para reconocimiento, inspecciones de disponibilidad y funcionamiento de los equipos. Verificando con los operadores su historial de fallos y causas, asimismo se realizó una matriz de criticidad para los equipos más importantes y la recopilación de datos y análisis de la información.

En el capítulo III se realizó la presentación y discusión de resultados, realizando para esto el análisis termográfico a los equipos críticos, encontrando temperaturas de operación fuera de los parámetros permisibles que pueden provocar una falla en los equipos en cualquier momento. La discusión de resultados donde se detallan el comportamiento de los equipos y sus temperaturas de funcionamiento.

En el capítulo IV se realizó la propuesta de solución y se muestran las etapas para el diseño del plan de mantenimiento basado en el análisis termográfico para el equipo de generación distribución de vapor del Centro Médico Militar, finalizando con la puesta en marcha del plan.

1. MARCO TEÓRICO

La información que se presenta en esta sección fundamenta el trabajo de investigación, consiste en la descripción de conceptos teóricos relacionados con los tipos de mantenimiento, generadores de vapor y sus componentes y la termografía infrarroja como ensayo no destructivo (END) y su aplicación como herramienta del estado del arte.

1.1. **Reseña histórica del hospital Centro Médico Militar**

El hospital Centro Médico Militar del Ministerio de la Defensa Nacional, está ubicado en la finca el palomar, acatán santa rosita, zona 16, del municipio de Guatemala del departamento de Guatemala. Según datos catastrales se identifica como: finca urbana, libros: diez, ciento treinta y siete y trescientos ochenta y tres de Guatemala; folios: treinta y cuatro, setenta y tres y ciento sesenta y dos. Ubicación: santa rosita zona 16, Guatemala. Otorgante: Ministerio de la Defensa Nacional. Adquiriente: Ministerio de la Defensa Nacional. Superficie: 336,704.63 metros cuadrados equivalentes a 481,874.83 varas cuadradas.

El Centro Médico Militar, llamado inicialmente Hospital Militar, fue creado para la atención médica específica de los miembros del Ejército de Guatemala. Su función principal es brindara asistencia y servicios médicos hospitalarios a oficiales, especialistas y tropa, en el caso de los oficiales y especialistas, también a sus familias y con la posibilidad o visión de crecer y desarrollarse rápidamente, ser el centro asistencial mejor equipado del país, con personal médico y paramédico calificado, y con la capacidad y disposición de transmitir

conocimientos médico científicos a las nuevas generaciones de estudiantes internos y externos, que lo requieran.

1.2. Edificios e instalaciones que conforman el Centro Médico Militar.

El complejo de edificios que conforman este centro asistencial, están diseñados y construidos con altas normas de calidad, situándolo como una construcción fundamental; esto es, debido a que posee la capacidad de resistir los efectos de un siniestro y continuar funcionando con los servicios hospitalarios normales.

1.2.1. Edificaciones

El Centro Médico Militar cuenta con treinta y cinco (35) edificios con las dimensiones y servicios como se describen a continuación.

Edificio número uno, que consta de tres niveles, cuenta con 4,086.50 metros cuadrados, donde funcionan los servicios de:

- Nivel uno: encamamiento de pediatría.
- Nivel dos: inhabilitado.
- Nivel tres: pabellones de tropa y escuela militar de auxiliares de enfermería (EMAE).

Edificio número dos, de tres niveles de 1,701.52 metros cuadrados, donde funcionan los siguientes servicios:

- Nivel uno: dirección general de salud y bienestar social del Ministerio de la Defensa Nacional y jefatura de departamentos médicos de la división médica.

- Nivel dos: oficinas administrativas de la escuela militar de auxiliares de enfermería (EMAE) y armería.
- Nivel tres: pabellones de oficiales, jefatura de sala TIKAL.

Edificio número dos A (2A), de tres niveles de 1,701.52 metros cuadrados, donde funcionan los siguientes servicios:

- Edificio de un nivel, de 84 metros cuadrados en el cual se encuentran instaladas: bombas de vacío, distribuidor de oxígeno y tanque de agua caliente.

Edificio número tres, de tres niveles de 4,088.00 metros cuadrados donde funcionan los siguientes servicios:

- Nivel uno: encamamiento de maternidad
- Nivel dos: encamamiento de cirugía de oficiales y señoras
- Nivel tres: encamamiento de medicina de oficiales y señoras

Edificio número cuatro, de tres niveles de 1,258.83 metros cuadrados donde funcionan los servicios siguientes:

- Nivel uno: cocineta de encamamiento de Monja Blanca.
- Nivel dos: capilla católica y aula de estudiantes de la Universidad Mariano Gálvez.
- Nivel tres: Sala de espera.

Edificio número cinco, consta de tres niveles con 3,880.23 metros cuadrados, donde funcionan los servicios siguientes:

- Nivel uno: encamamiento Monja Blanca, personal pagante.
- Nivel dos: encamamiento de cirugía, medicina, traumatología e infectología para personal de tropa.
- Nivel tres: encamamiento para medicina de tropa.

Edificio número seis, consta de tres niveles con 1,951.23 metros cuadrados, donde funcionan los servicios siguientes:

- Nivel uno: sala de espera monja blanca, departamento de medicina forense y patología.
- Nivel dos: departamento de informática.
- Nivel tres: división de planeamiento, capacitación y entrenamiento, y pabellones de oficiales.

Edificio número seis A, consta de un nivel, contiene 84 metros cuadrados, en el cual se encuentran instaladas:

- Bombas de vacío.
- Distribuidor de oxígeno.
- Tanque de agua caliente.

Edificio número siete, cuenta con dos niveles, contiene 2,583.49 metros cuadrados, donde funcionan los servicios siguientes:

- Nivel uno: departamento de oftalmología, cardiología y neumología.
- Nivel dos: residencia temporal del adulto mayor.

Edificio número ocho, edificio de un nivel cuenta con 1,652.05 metros cuadrados, donde funcionan los servicios siguientes:

- Emergencia de adultos.
- Hospital de día.

Edificio número nueve, consta de cuatro niveles y cuenta con 1,400.84 metros cuadrados, se localiza la rampa que conduce a todos los niveles.

Edificio número diez, consta de cuatro niveles y cuenta con 1,260.96 metros cuadrados, donde funcionan los siguientes servicios:

- Nivel uno: jefatura de la división de enfermería y departamento de auditoría interna.
- Nivel dos: subdirección administrativa y subdirección de docencia e investigación.
- Nivel tres: pabellones de personal médico.
- Nivel cuatro: aula magna.

Edificio número once, consta de dos niveles u cuenta con 1,098.42 metros cuadrados, donde funcionan los siguientes servicios:

- Nivel uno: servicio de oncología.
- Nivel dos: oficinas de nosocomiales e infectología, terapia respiratoria y servicio de hemodiálisis.

Edificio número doce, consta de dos niveles y cuenta con 1,372.68 metros cuadrados, donde funcionan los siguientes servicios:

- Nivel uno: jardín infantil (cerrado este año) e intensivo pediátrico.
- Nivel dos: encamamiento VIPS. (Cinco Pabellones Importantes)

Edificio número trece, cuenta con dos niveles y una construcción de 1,801.37 metros cuadrados, donde funcionan los siguientes servicios:

- Nivel uno: cocina.
- Nivel dos: jefatura del departamento de dietética.

Edificio número catorce, cuenta con dos niveles y una construcción de 1,801.37 metros cuadrados, donde funcionan los siguientes servicios:

- Nivel uno: comedor general.
- Nivel dos: comedor de oficiales.

Edificio número quince. cuenta con dos niveles y una construcción de 1,478.48 metros cuadrados, donde funcionan los siguientes servicios:

- Nivel uno: calderas, plantas de energía eléctrica y departamento de procesamiento y suministro de ropa.
- Nivel Dos: ropería y archivo general del CMM.

Edificio número dieciséis, cuenta con un nivel y una construcción de 840.79 metros cuadrados, donde funcionan los vestidores del personal femenino y personal masculino.

Edificio número diecisiete, cuenta con un nivel y una construcción de 787.79 metros cuadrados, donde funcionan los talleres y tanques de búnker de calderas.

Edificio número dieciocho, cuenta con dos niveles y una construcción de 408.39 metros cuadrados, donde funcionan los elevadores y circulación vertical (gradas).

Edificio número diecinueve. cuenta con dos niveles y una construcción de 1,869.69 metros cuadrados, donde funcionan los siguientes servicios:

- Nivel uno: biblioteca.
- Nivel dos: sala de espera de operaciones y aula.

Edificio número veinte, cuenta con cuatro niveles de 1,240.90 metros cuadrados, donde funcionan los siguientes servicios:

- Nivel uno: vestíbulo, vitrina de exhibición del museo y elevador.
- Nivel dos: vestíbulo y elevador.
- Nivel tres: vestíbulo y elevador.
- Nivel cuatro: pabellón del señor director y elevador.

Edificio número veintiuno, cuenta con dos niveles y una construcción de 1,245.60 metros cuadrados, donde funcionan los siguientes servicios:

- Nivel uno: cafetería.
- Nivel dos: clínica de odontología de adultos.

Edificio número veintidós, consta de dos niveles y una construcción de 817.92 metros cuadrados, donde funcionan los siguientes servicios:

- Nivel uno: departamento de suministros.
- Nivel dos: departamento de archivos clínicos, admisión y egresos.

Edificio número veintitrés, consta de un nivel con una construcción de 94.61 metros cuadrados, donde funcional el servicio de capilla de la morgue.

Edificio número veinticuatro A, consta de dos niveles y una construcción de 1,692.50 metros cuadrados, donde funcionan los siguientes servicios:

- Nivel uno: recién nacidos y dos quirófanos.
- Nivel dos: central de equipos.

Edificio número veinticuatro B, consta de dos niveles y una construcción de 2,336.25 metros cuadrados, donde funcionan los siguientes servicios:

- Nivel uno: consulta externa de pediatría, consulta externa maternidad, emergencia de maternidad.
- Nivel dos: bloque quirúrgico con nueve quirófanos.

Edificio número veinticinco, consta de dos niveles y una construcción de 2,059.60 metros cuadrados, donde funcionan los servicios de:

- Nivel uno: oficinas de la dirección, subdirección administrativa, subdirección de servicios clínicos, trabajo social, división médica y división de ventas y servicios.
- Nivel dos: intensivo de adultos.

Edificio número veintiséis A, consta de dos niveles y una construcción de 620.62 metros cuadrados, donde funcionan los siguientes servicios:

- Nivel uno: jefatura de servicio y tienda.
- Nivel dos: tomografía y ultrasonido.

Edificio número veintiséis B, consta de dos niveles y una construcción de 634.92 metros cuadrados, donde funcionan los siguientes servicios:

- Nivel uno: vestíbulo de la entrada principal.
- Nivel dos: oficina departamento de seguridad y departamento legal.

Edificio número veintisiete, consta de dos niveles y una construcción de 1,988.25 metros cuadrados, donde funcionan los siguientes servicios:

- Nivel uno: oficina departamento financiero, sección de compras, contabilidad, departamento de costos y cobro, caja central, división de apoyo y servicios, departamento de inventarios y división de personal.
- Nivel dos: rayos X.

Edificio número veintiocho, consta de dos niveles y una construcción de 2,093.50 metros cuadrados, donde funcionan los siguientes servicios:

- Nivel uno: farmacia CMM, departamento de suministros, pabellones del personal de transportes.
- Nivel dos: laboratorio clínico y banco de sangre.

Edificio número veintinueve, consta de un nivel y una construcción de 1,868.38 metros cuadrados, donde funciona la Consulta Externa de Adultos.

Edificio número treinta, consta de un nivel de 1,921.32 metros cuadrados, donde funciona el departamento de medicina física y rehabilitación.

Edificio número treinta y uno, consta de dos niveles y una construcción de 1,353.62 metros cuadrados, donde funcionan los siguientes servicios:

- Nivel uno: cubículos para personal técnico, taller de jardinería, taller de plomería, albañilería, sala para personal, pabellones de jefe y subjefe de

división, pabellón de personal técnico de turno, pabellón de fontanero de turno, cubículo de jefe de limpieza y bodega.

- Nivel dos: oficinas administrativas de la división de ingeniería.
- Edificio número treinta y dos, lo conforma la garita principal de 130 metros cuadrados.

Edificio número treinta y tres, cuenta con una construcción de 5,229.26 metros cuadrados y dos niveles, donde funciona el servicio de sanidad militar.

Edificio número treinta y cuatro, cuenta con una construcción de 135.62 metros cuadrados y un nivel, donde funciona el servicio de la gasolinera.

Edificio número treinta y cinco, cuenta con un nivel y una construcción de 1,600 metros cuadrados, donde funciona el hotel de paso.

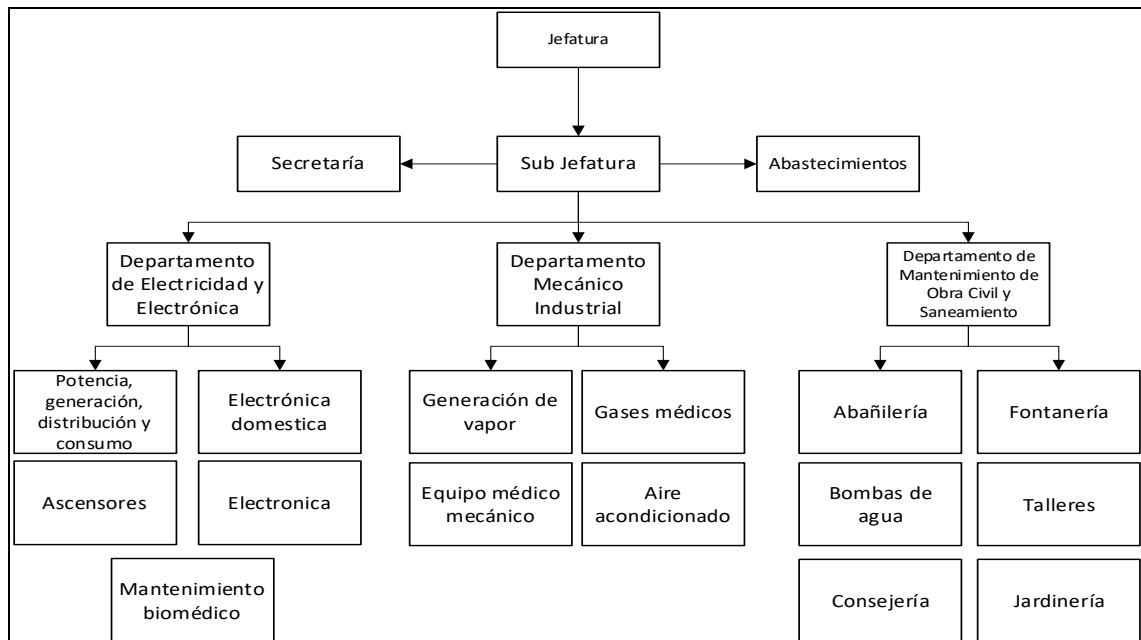
1.3. División de ingeniería y mantenimiento

La misión de la división de ingeniería y mantenimiento es maximizar la disponibilidad de los equipos, fluidos y energéticos, para la atención de pacientes del Centro Médico Militar, preservando la instalación física en condiciones de funcionamiento económico, confiable y seguro, minimizando su deterioro.

Con esto se pretende alcanzar la eficacia y eficiencia mediante la concepción de una división de ingeniería multidisciplinaria y de mantenimiento, entorno a la infraestructura hospitalaria del Centro Médico Militar. Asimismo, contar con el personal calificado para efectuar trabajos especiales de ingeniería apegados a los estándares y normas hospitalarias internacionales.

Su estructura funcional y organizacional está compuesta de la siguiente manera:

Figura 1. Organigrama de la División de Ingeniería y Mantenimiento



Fuente: elaboración propia.

1.4. Áreas específicas bajo responsabilidad directa de la División de Ingeniería y Mantenimiento

La División de ingeniería tiene áreas bajo responsabilidad directa, las cuales pueden clasificarse en áreas normales y áreas críticas, dependiendo de que tanto afecte en la atención de los pacientes su funcionamiento y si se cuenta con un sistema sustituto de la misma.

1.4.1. Áreas normales

Son las que tienen poco o ningún efecto en el tratamiento y/o recuperación del paciente, se tienen:

- Edificio 31, oficinas administrativas de la división de ingeniería.
- Edificio 17, en donde se encuentran los tanques de bunker y área de talleres de herrería, carpintería y pintura.
- Bodega No.1, posee el material utilizado a diario para el mantenimiento y/o reparaciones realizadas por la división, en esta bodega ingresan los materiales que la división de ingeniería y mantenimiento solicita para proporcionar mantenimiento o para realizar reparaciones normales o de emergencia.
- Bodega No.2, se encuentra ubicada en el sótano del CMM y contiene materiales de mediano movimiento para el mantenimiento proporcionado.
- Bodega No.3, se encuentra ubicada en las antiguas instalaciones de la unidad ejecutora de proyectos y contiene material de bajo movimiento para el mantenimiento proporcionado.
- Bodega No.4, se encuentra ubicada también en las antiguas instalaciones de la unidad ejecutora de proyectos y contiene material de fibra de vidrio para insuflar tubería de vapor.
- Túnel de Dietética, por dicho túnel pasa la tubería de vapor, agua potable, agua tratada, agua caliente y aire comprimido que alimenta los diferentes equipos de lavandería y cocina. Este túnel debe mandarse a inspeccionar al menos una vez por semana o cuando reporten bajo nivel de agua en tanques para verificar que no posea fugas en las tuberías o accesorios.
- Túnel colector general, este túnel tiene un diámetro aproximado de tres metros y ciento cincuenta metros de largo, desemboca en terrenos de la

Brigada Militar Mariscal Zavala. Por el pasa la tubería de 12 y 10 pulgadas que alimenta de agua potable y tratada a este centro asistencial, la cual se encuentra sobre un muro aproximadamente a un metro del suelo, y por la parte externa pasa el agua pluvial.

Este túnel debe mandarse a inspeccionar dos veces al año, (cuando termina el invierno y antes de que este vuelva o cuando los niveles de agua en los tanques bajen demasiado y no existan fugas considerables dentro de las instalaciones del hospital), si por alguna razón es necesario realizarlo en invierno tomar todas las medidas de precaución ya que una correntada de agua pluvial podría arrastrar al personal que lo realiza.

- Cuarto de máquinas de ascensores, en el Centro Médico Militar, están instalados diecisiete ascensores y dos montacargas, para lo cual utilizan siete cuartos de máquinas donde se encuentran los sistemas hidráulicos y eléctricos de los ascensores.

A dichos cuartos solo tiene acceso el personal de la empresa que esté contratada y técnicos de la división de ingeniería, el personal técnico de la DIM solo ingresa a dichos cuartos por atención a emergencias (que haya necesidad de sacar a personas que por algún motivo se quedaran atrapadas en los ascensores) y/o supervisar los trabajos efectuados por la empresa.

- Subestaciones eléctricas, estas son las que se encargan de suministrar energía a las diferentes instalaciones de este centro asistencial, siendo en total nueve de las cuales tres pueden clasificarse como instalaciones críticas y seis como no críticas, lo cual no significa que no se les de la

importancia debida. Dentro de las que se consideran no críticas se tienen las siguientes:

- Lavandería, cocina y cuarto de máquinas, Ed. 13, 14 y 15, 630 KVA.
 - Aire acondicionado y ventilación 630 KVA.
 - Radiología y tomografía 13.2 kV/480V 500KVA.
 - Pozo 1 e iluminación 150KVA.
 - Pozo 2, gasolinera y servicio de sanidad militar 150KVA.
 - Pozo 3, edificio de mantenimiento e iluminación exterior 150KVA.
- Instalaciones hidráulicas, los diferentes usos motivaron el empleo de tres sistemas de distribución diferentes, una para agua potable, una para agua tratada y una para agua de riego, las tres redes son alimentadas de tanques de almacenamiento ubicados en la parte alta de la Brigada Militar Mariscal Zavala y por gravedad alimentan cualquier caudal (pequeño o grande) a cualquiera de los puntos de consumo de las tres redes.

Las redes pueden interconectarse en caso de emergencia, también se dispone de agua caliente en la cocina, lavandería, encamamientos, áreas médicas y áreas de administración, por este sistema de agua caliente teniendo el conocimiento completo del sistema de alimentación de agua se puede alimentar de agua fría los diferentes servicios, exceptuando los inodoros. Las características principales de dichos sistemas es el que se describe en la Tabla I.

Tabla I. **Características principales de instalaciones hidráulicas**

Renglón	Pozo No. 1	Pozo No. 2	Pozo No. 3	Sistema municipal de emergencia	Uso	Volumen	Días trabajando solo el sistema y sin fugas en la línea.	Tratamiento
Sistema de agua potable	735 pajas				Agua potable en todos los puntos de consumo del C.M.M.	2 tanques de 1,000 m ³	2 días de consumo	Cloro en formula
Sistema de agua tratada			408 pajas		Lavandería Calentadores, Agua Caliente	2 tanques de 1000 m ³	2 días de consumo	Sistema finalizo su vida útil
Sistema de agua de riego		190 pajas			Riego	2 tanques: 1 de 200 m ³ 1 de 400 m ³	1 día de consumo	No
Sistema de agua municipal de emergencia				50 pajas	Emergencia	1 tanque de 1,000 m ³	Sólo Emergencia 1 día	Existe tubería, pero no se conectó a la red

Fuente: elaboración propia.

- Área de calderas, el Centro Médico Militar cuenta con tres calderas marca *Cleaver Brooks*, de 500 BHP a las cuales se les debe proporcionar mantenimiento general una vez al año (octubre, noviembre y diciembre). Actualmente las calderas están ajustadas para trabajar catorce (14) horas diarias a razón de cuatrocientos (400) galones de combustible búnker de consumo.

1.4.2. Áreas críticas

Son todas aquellas que repercuten directamente en la recuperación, salud y sobrevivencia del paciente del hospital.

- Subestaciones eléctricas, de las nueve subestaciones instaladas en este centro asistencial, tres son críticas y debe tenerse mayor cuidado en su funcionamiento, siendo estas:
 - Subestación principal a intemperie: transformador 69kV/13.2kV, capacidad total 3MVA.
 - Subestación de encamamientos: edificios 1, 3, 5 y 7; 630 KVA.
 - Subestación de área médica: sala de operaciones, intensivo de adultos, servicio de emergencia de adultos, laboratorio clínico, departamento de farmacia, departamento financiero, etc. 630 KVA.
- Generadores eléctricos de emergencia:
 - Dos grupos electrógenos de 750 KVA cada uno.
 - Capacidad total 1.5MVA.
 - Capacidad total de generación 480 V/ 13.2k 1200kW.
 - Transformadores 480 V/ 13.2kV 2MVA.

En este sistema se debe tener principal cuidado en la transferencia automática, ya que cualquier falla en la misma puede no permitir el suministro por medio de las plantas, al haber un corte de energía o viceversa, por lo que es recomendable realizar chequeos periódicos de voltaje de banco de baterías y ecualizarlo por lo menos una vez cada tres meses.

- Sistema de puesta a tierra, existen instalados dos sistemas de puesta a tierra uno de tierra física para protección de personas y equipos y otro para protección contra descargas atmosféricas.
- Tierra física para protección de personas y equipos, en este sistema se debe tener cuidado que cuando se realicen instalaciones nuevas estas siempre se conecten con dicha tierra o cuando personal de albañilería y fontanería realicen trabajo de excavación no rompan dichas conexiones, ya que una falla de este sistema a la hora de una descarga eléctrica puede provocar daños severos a personal, equipos o pacientes.
- Protección contra descargas atmosféricas, el sistema de pararrayos instalado es sumamente necesario, debido a ello se debe realizar una cobertura completa de las instalaciones y no dejar pozos que al final sean más dañinos que no tener el sistema de protección.
- Sistemas de gases médicos, aquí se incluye todos los gases utilizados para terapia médica como, oxígeno, aire grado médico, co₂, óxido nitroso, nitrógeno líquido y vacío, la presentación de dichos gases puede ser en cilindros tipo h, tipo m, tipo e y tipo d a excepción del oxígeno y nitrógeno líquido ya que el primero también se adquiere en forma líquida que se almacena en un tanque de 1,500 galones y el segundo en termo portátil. El especialista de gases médicos y el de servicio son los responsables de mantener la cantidad óptima de dichos cilindros y solo se le tiene que coordinar transporte para ir a Productos del Aire de Guatemala, S.A., a llenar y recoger cilindros. De todos los gases médicos los que tienen un sistema más completo de suministro son oxígeno, aire médico y vacío, los cuales se describen a continuación:

- Oxígeno médico, este centro asistencial cuenta con un depósito de 1500 galones de oxígeno líquido, dicho oxígeno pasa por un gasificador para poderlo introducir en la línea de distribución, la cual se encuentra interconectada con tres centrales de distribución a base de cilindros tipo H, estas centrales entran a funcionar por medio de un manipuleo de llaves si llegara a existir algún problema en la red de oxígeno líquido, su adquisición se realiza por medio de contrato abierto a la empresa Productos del Aire de Guatemala, S.A. y el CMM, solo cancela el volumen que pasa por el flujómetro, el cual es medido a cada mes y participa personal de la empresa, técnico de servicio de esta división y especialista de suministros.
- Aire comprimido, el CMM, cuenta con una central de generación de aire médico, la cual se encuentra ubicada en el sótano y está compuesta por dos unidades dúplex una de 15 HP y otra de 7.5HP, cada unidad tiene conectado un sistema de enfriamiento.
- Vacío, también conocido como succión, pero técnicamente es un sistema de presión negativa, del cual este centro asistencial cuenta con tres estaciones, la principal que se encuentra en el sótano, una en el edificio 2 “A” y la otra en el edificio 6 “A”. Tanto a las bombas de vacío como compresores debe realizárseles cambio de aceite cada tres meses y revisar tensión y estado de fajas. El técnico de gases médicos es el responsable de su mantenimiento.

1.5. ¿Qué es mantenimiento?

Definir la palabra mantenimiento puede ser problemático.

Por su parte Botero (1993):

La definición de mantenimiento se resume como el conjunto de procedimientos o actividades que se realizan a equipos o instalaciones, con la finalidad de corregir o prevenir paros o fallas, con el fin de que estos continúen proporcionando el servicio para el cual fueron concebidos. (p. 3)

Para esto se debe de contar con personal calificado y que estos realicen las tareas de mantenimiento a todo nivel y así preservar el equipo en un estado de disponibilidad óptimo.

Según Fernández, García, Alonso, Cano, y Solares (1998):

El mantenimiento de equipos e instalaciones industriales ha cobrado una gran importancia en las últimas décadas debido a que las exigencias de calidad en la producción son cada vez mayores, y al hecho de que las empresas necesitan ser más competitivas. (p. 4)

Santiago (2003) menciona que “el mantenimiento se define como un conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento” (p.1).

El mantenimiento desde finales del siglo XIX ha sufrido diferentes cambios o procesos en su función, en los inicios los operadores de los equipos se hacían cargo de las reparaciones, cuando la revolución industrial alcanzo su apogeo la maquinaria y equipo de producción se fueron creando de manera más compleja. Es aquí donde se inicia con la creación de los departamentos o secciones de mantenimiento que dedicaban su esfuerzo principal en corregir averías.

1.6. Tipos de mantenimiento

Se podrían establecer las diferentes clasificaciones de lo que es mantenimiento y diferentes técnicas, atendiendo los diferentes oficios que se le atribuyan, generalmente se utiliza una categorización basada en un punto de vista metodológico, en base a esta perspectiva se pueden diferenciar los siguientes tipos de mantenimiento:

- Mantenimiento Correctivo
- Mantenimiento Preventivo

Dentro de los tipos de mantenimiento se pueden encontrar ciertas técnicas que nos ayudan a mejorar los diagnósticos, estas son:

- Mantenimiento Predictivo
- Mantenimiento Productivo total
- Mantenimiento Basado en condición

Ninguno de los tipos antes mencionados se utiliza de forma exclusiva, eso dependerá del gerente de mantenimiento y de su estrategia a seguir, o simplemente una combinación de los tipos mencionados, lo que se define como mantenimiento planificado.

1.6.1. Mantenimiento correctivo

Botero (1993) expresa que “el mantenimiento correctivo únicamente corregirá la falla que llegue a suceder en el momento menos oportuno, ocasionando un paro repentino” (p. 35).

Se le llama también *breakdown maintenance* (mantenimiento de falla) y es utilizado cuando un equipo falla repentinamente, se trata de una manera paciente de observación para verificar el estado de los equipos, a la espera de la falla.

Por su parte Gómez (1998):

El mantenimiento correctivo no requiere de una planificación de forma sistemática ya que este no se trata de un mantenimiento programado de tareas, se podría conjugar también como un pasatiempo primordial de los equipos, contando con un stock de repuestos que deben ser sustituidos sistemáticamente. (p. 20)

Generalmente las averías se generan de una forma inesperada, lo que ocasiona atrasos o paros en la producción, desde pérdida de tiempo por reparación o reposición del equipo o cambio a otra línea de producción que esté disponible. Al depender del mantenimiento correctivo la reparación suele ser demasiado oneroso y no se encontrará disponible el personal técnico que ejecutará la reparación.

1.6.2. Mantenimiento preventivo

Nieto (2013) expresa que “con este tipo de mantenimiento se previenen las fallas o averías efectuando el cambio de partes que sufren un mayor desgaste en las operaciones diarias para poder alargar la vida del equipo” (p.142).

La finalidad de este es mantener los equipos en operación realizando inspecciones de rutina, llevar un control de cambios de partes con forme a lo que establece el manual de operación y mantenimiento, sin menoscabar la experiencia del operador quien conoce la maquina mejor que ninguno. La

planificación es muy importante para su correcta aplicación con criterios de estadísticas para poder establecer los tiempos para su intervención.

A continuación, se nombrarán una serie de actividades particulares:

- Revisiones constantes
- Conservación de los equipos
- Control de lubricación
- Reparación y cambio de puntos críticos
- Reparación y cambios planificados

1.6.3. Mantenimiento predictivo

Según Nieto (2013)

Al medir diferentes variables o parámetros antes que suceda alguna avería, se puede lograr predecir el momento en que maquina o equipo fallará, para esto es necesario utilizar técnicas de ensayos no destructivos como lo es el análisis de vibraciones, por ejemplo, esto nos permite adelantarnos a la falla para planificar la sustitución de piezas que están generando problemas puesto que ya verificamos que su tiempo de vida útil llevo al final. (p. 143)

Nuestra meta en el mantenimiento es mantener los activos físicos en un estado de funcionamiento correcto, esto quiere decir que al momento de inspeccionar se determina si podrá haber una falla que resultara en un paro, la importancia de esto reside en que la información que nos provea el análisis de un ensayo es lo que determinará la técnica para reducir los costos de una falla inesperada.

Típicamente, en el mantenimiento predictivo se inspecciona el activo cada día, semana, mes o menos frecuentemente. Este procedimiento es efectivo debido a la duración desde donde el desgaste crítico es detectado hasta donde el desgaste crítico causa la falla es más largo que la inspección frecuente.

Las herramientas de este prototipo de mantenimiento como lo son los transductores de diferentes clases (temperatura, aceleración) pueden ser permanentemente montados y monitoreados por, PLC, controles computarizados y eventualmente por computadoras de escritorio. Este tiempo completo de monitoreo puede obtener datos con velocidades con valores de milisegundos, para detectar el deterioro de una forma rápida. Otra ventaja es que el monitoreo de condición es ininterrumpido, lo que significa que las inspecciones ocurren mientras la máquina está operando.

Con esta definición se puede decir que el mantenimiento predictivo nos es útil para anticiparnos a las fallas que puedan ocurrir durante la operación de los equipos, teniendo en cuenta contar con las herramientas o equipos necesarios para efectuar ensayos no destructivos y así mejorar el rendimiento de los equipos.

1.6.4. Mantenimiento productivo total

Según González (2013):

El *Total Productive Maintenance* (Mantenimiento Productivo Total) es llevado a cabo por los mismos operarios de los equipos, antes de revolución industrial se realizaba el mantenimiento por los operadores de los equipos, esto crea en sí una responsabilidad que motiva a todos los

involucrados mejorar la coordinación y el trabajo en equipo en los departamentos de mantenimiento y producción. (p. 106)

Las primacías del TPM son muchas, iniciando con el personal, el cual observa cómo se le adiciona valor a su trabajo, asimismo incrementa el compromiso del operario con la máquina, al hacerse responsable de su funcionamiento óptimo, además se puede mencionar la reducción del número de averías de equipo, reducción del tiempo y equipos de reparación, aumento del control de inventario de repuestos y herramienta en almacenes y equipos, conservación del medio ambiente y capacitación del recurso humano.

En muchas empresas se crea un valor agregado cuando el operador se convierte en el personaje que realiza el mantenimiento al equipo, así el departamento de mantenimiento se puede concentrar en tareas más complejas con otras máquinas o equipos.

1.6.5. Mantenimiento basado en condición

El MBC es controlado por sistemas computarizados, como el control en vehículos, edificios y fábricas, el sistema popular SCADA, control de edificios y computadoras de vehículos, se alimenta de datos y los transfieren a un motor de decisión basado en condición.

Es la opción más precisa para la administración de equipo crítico, si el activo que se está monitoreando se deteriora con el desgaste crítico (como el amperaje incrementándose mientras el rodamiento del motor se deteriora) entonces se tiene una vista única sobre la resistencia de la máquina.

En MBC está basado en la lectura o medición yendo más allá sobre el límite predeterminado, el límite puede ser algún evento que se pueda medir, diferencia

de medición (entre las dos lecturas) o tendencia proyectada. MBC es usado con controles de procesos estadísticos para monitorear y asegurar la calidad. Las condiciones pueden ser:

- El equipo no soporta la tolerancia
- Presión de operación de la caldera es muy elevada
- Indicador de presión alta o baja de aceite
- La presión desciende cuando el filtro excede su límite
- La lectura del amperaje se eleva

Una vez la condición o variable se encuentra fuera de estándares permisibles, la acción correctiva se inicia.

1.7. Generador de vapor

Según Miranda (2018):

Se define como un recipiente de metal cerrado, el cual cuenta con una fuente calorífica que hace hervir el agua, en otro término un generador de vapor es un intercambiador que aprovecha el calor que se genera al consumir combustible, comúnmente bunker o gas licuado. Ese calor se convierte en energía que se utiliza a través de un medio para transportarse en forma de fluido (vapor), esto se materializa al elevar la temperatura del agua a una temperatura más alta de la que se encuentra el ambiente y una presión más alta que la atmosférica. (p. 1)

La Asociación Americana de Ingenieros Mecánicos (2017), define el generador de vapor como un conjunto de aparatos para producir, suministrar o recuperar calor junto con el aparato para transferir el calor para hacer disponible al fluido al inicio de calentamiento y vaporización.

El termino de caldera en la actualidad se está reemplazando por generador de vapor y está compuesto por equipos como lo son: el horno u hogar, cámara de agua, quemadores, sobre calentadores, recalentadores, precalentador de aire y economizador, por mencionar algunos.

Indica Betanzos (2013):

Una caldera es una unidad diseñada para trasladar el calor que genera en un proceso de quema de combustible líquido o gaseoso a un fluido térmico adentro de la misma, generalmente es agua la cual es utilizada para la generación de vapor, como es el caso de los centros hospitalarios para proceso de esterilizado de herramientas quirúrgicas, cocina y lavandería, entre otros. (p. 1)

Figura 2. **Visita típica de una caldera.**



Fuente: Cleaver-Brooks. *Packaged boiler, Operation, Service and Parts Manual*. Consultado el 19 de 11 de 2019. Recuperado de <https://cleaverbrooks.com/education-and-training>.

1.8. Clasificación de los generadores de vapor por su diseño

En función de los fluidos a calentar y los gases de combustión, estas se pueden dividir en pirotubulares y acuotubulares.

1.8.1. Generador de vapor pirotubular

Pueden ser de baja o alta presión, generalmente esta clase de generadores son utilizados para aplicaciones en una categoría de operación de 15 a 800 caballos de fuerza.

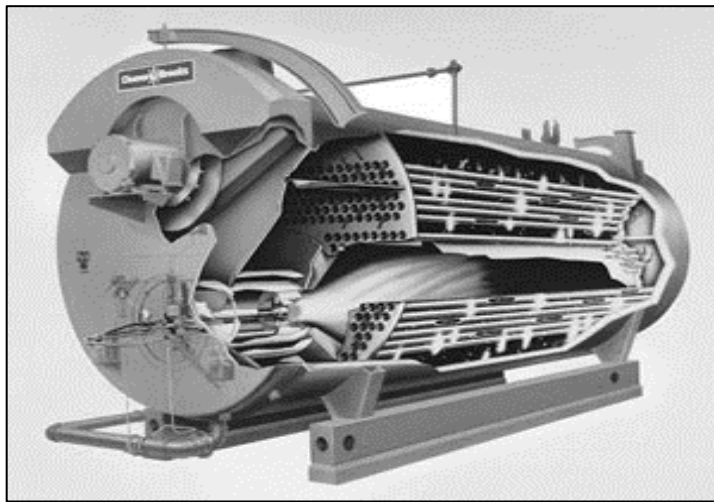
Un generador de vapor pirotubular, es un recipiente de forma cilíndrica, con tubos colocados horizontalmente que pasan a través del mismo y se encuentran conectados desde el frente y hacia atrás, el recipiente contiene agua y esta absorbe la energía térmica generada por la llama, la compuerta del frente y posterior proveen el sello para contener el calor de los gases generados por el proceso de combustión, los deflectores encuentran en las puertas redireccionan los gases hacia las partes donde se localizan los tubos de fuego.

La llama se produce en el hogar, asimismo cuando los gases viajan por debajo del horno hacia los tubos de fuego, la temperatura elevada de la llama y los gases de combustión son transferidos al agua.

La energía que se transfiere se convierte el agua en vapor, el propósito principal del generador de vapor es entregar la energía térmica en forma de fluido a las instalaciones que operan con este fluido, ya sea para procesos de esterilización de instrumentos quirúrgicos, lavandería y cocinas.

En el caso de este trabajo de investigación el vapor es requerido por el departamento de dietética, lavandería y tanques de agua, para después ser utilizado por el usuario final que es el paciente.

Figura 3. **Generador de vapor pirotubular.**



Fuente: Cleaver-Brooks. *Packaged boiler, Operation, Service and Parts Manual*. Consultado el 19 de 11 de 2019. Recuperado de <https://cleaverbrooks.com/education-and-training>.

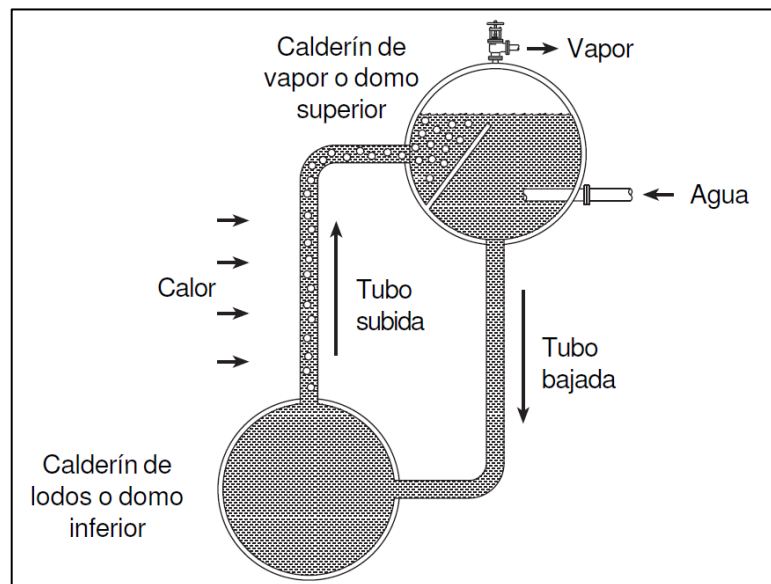
1.8.2. Generador de vapor acuotubular

Expresa Miranda (2018):

Una caldera acuotubular cuenta con tambores y tubos por medio de los cuales circula el agua. Las calderas o generadores de vapor acuotubulares son utilizadas en procesos donde son necesarias presiones elevadas de vapor y altos índices de eficiencia energética, dígase por ejemplo para generación de energía eléctrica, transportando el vapor a alta presión hacia la turbina. (p. 2)

Esta clase de calderas, manejan un volumen de agua menor, el agua transita en la parte interna de los tubos, mientras que el vapor circula por la parte exterior, de manera inversa al trabajo de las calderas pirotubulares.

Figura 4. **Generador de vapor acuotubular**



Fuente: Spirax Sarco. *Distribución del vapor. Guía de referencia técnica*. Consultado el 19 de noviembre de 2019. Recuperado de <http://www.fnmt.es/documents/10179/10666378/Distribucion+del+vapor.pdf/ca09a6d-70ab-da86-5d9d-f19321638315>.

1.8.3. Diferencias de los generadores de vapor por su diseño

A continuación, se presenta una tabla comparativa de los generadores de vapor por su diseño, observando claramente las diferencias de costo de mantenimiento y su rendimiento en base al tipo de trabajo seleccionado.

Tabla II. Tabla comparativa de generador de vapor pirotubular y acuotubular

Criterios	Calderas Pirotubulares	Calderas Acuotubulares
Calidad del agua	Menores exigencias, posible funcionamiento con salinidad del agua	Mayores exigencias, es necesario un bajo nivel de salinidad para su funcionamiento
Mantenimiento	fácil de limpiar	Más costoso
Revisiones periódicas	Inspección ordinaria, seguida de una prueba hidrostática, raramente son necesarias otras pruebas de carácter no destructivo, como por ej. as mediciones con ultrasonidos, en caso contrario se efectúan en zonas muy reducidas	Son necesarias mediciones con ultrasonidos además de prueba hidrostática; es decir, pruebas costosas en tiempo y dinero
Costes para niveles comparables de gasto de fabricación y calidad	Menores	Mayores
Rendimiento	Mayor, de fácil mantenimiento	Menor; es más difícil realizar su mantenimiento en funcionamiento
Características de la carga parcial	Puede aprovecharse el control del quemador; cuando caiga por debajo de la carga mínima, el quemador puede apagarse sin problemas	En el caso de determinados diseños, debe limitarse la carga parcial; el quemador no puede apagarse manualmente
Contenido de agua	Mayor, debido a su diseño	Menor
Capacidad de acumulación	Debido al alto volumen de agua, no es susceptible a las fluctuaciones de presión y carga	Susceptible a las fluctuaciones de presión y carga resultantes del proceso
Plazo de entrega	Más corto	Más largo
Necesidades de espacio	Reducidas	Elevadas
Tiempo necesario para el montaje y puesta en marcha inicial	Reducido	Más prolongado

Fuente: Eberhard, F. (2012) *Comparativa de caldera pirotubular y caldera acuotubular*. (p. 3)

1.8.4. Usos en la industria

A nivel de la industria los generadores de vapor son utilizados para generación de energía o procesos industriales, a nivel hospitalario son indispensables para las diferentes aplicaciones como lo son la alimentación, esterilización de equipo quirúrgico, lavado y secado de prendas y el calentamiento de agua para aseo personal y en el área de consulta externa en la clínica de fisioterapia.

1.9. Sistema de distribución

Según Spirax Sarco (2018):

El sistema es un link de mayor importancia entre el ente generador y el equipo que lo utiliza. La caldera o generador debe proporcionar la presión y caudal adecuado o requerido por el equipo, vapor de una buena calidad y finalmente con eficiencia energética. (p. 2)

1.9.1. Fundamentos

El vapor que se genera tiene que ser transportado a través del sistema de tuberías hasta llegar al lugar que requiere la energía térmica, inicialmente se encontrarán dos o tres tuberías principales dependiendo del diseño, las cuales transportarán el vapor hacia los equipos que lo requieren, en el momento que la válvula de escape de vapor de la caldera se abre, el vapor se dirige de inmediato a las tuberías, estas se encuentran frías y el vapor les transfiere vapor, el aire que rodea los tubos se encuentra a una temperatura ambiente, consiguientemente la tubería transfiere una temperatura mayor al aire.

Indica Spirax Sarco (2018):

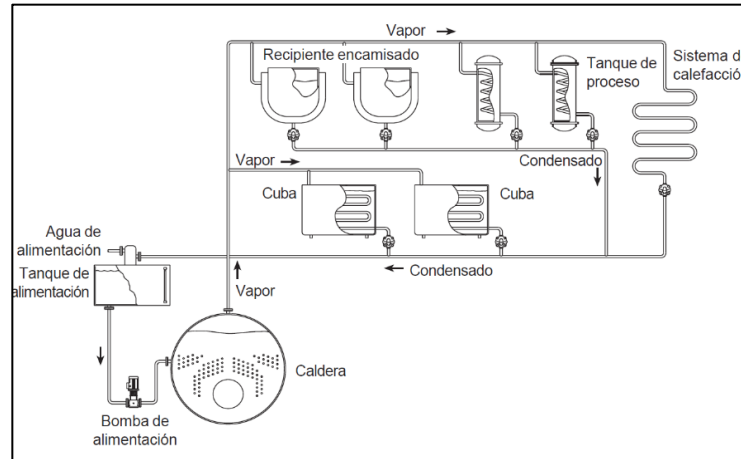
El vapor inicia su condensación cuando el mismo se transporta hacia una parte con menor temperatura, el calentamiento de tubería que posea baja temperatura (fría) se da cuando el sistema es iniciado, el condensado se tendrá en cantidades ya que el vapor se utilizará para calentar la tubería. Posteriormente la tubería se encontrará ya caliente, presentará condensación esto es debido a que continuará trasladando calor al aire que la rodea. (p. 2)

El condensado resultante se instalará en el área inferior del sistema de tuberías y será trasladado por todo el recorrido por el flujo y la gravedad, esto es debido a la pendiente que direcciona el flujo térmico, en los conjuntos de purga que se encontrarán en el sistema se purgara el condensado.

Cuando el flujo que proviene del sistema de tuberías de distribución de vapor procede a entrar en contacto con áreas de menor temperatura este concede su energía al equipo, posteriormente prosigue transfiriendo calor y condensando el agua. Para mantener la demanda de vapor la caldera deberá contar con una generación continua del flujo, esto conlleva a inyectar al generador con más combustible y agua para poder suplir la que se ha convertido en vapor.

El condensado que se forma tanto en el sistema de distribución como en los equipos que alimenta, es agua que ya está caliente y lista para retornar a la caldera. Es importante eliminar el condensado, pero al mismo tiempo es un elemento muy valioso para ser desaprovechado. Un circuito básico de vapor se completa retornando el condensado al tanque recuperador.

Figura 5. **Circuito de vapor**



Fuente: Spirax Sarco. *Distribución del vapor. Guía de referencia técnica*. Consultado el 19 de noviembre de 2019. Recuperado de <http://www.fnmt.es/documents/10179/10666378/Distribucion+del+vapor.pdf/ca09a6d-70ab-da86-5d9d-f19321638315>.

1.9.2. **Presión de funcionamiento**

Según Spirax Sarco (2018):

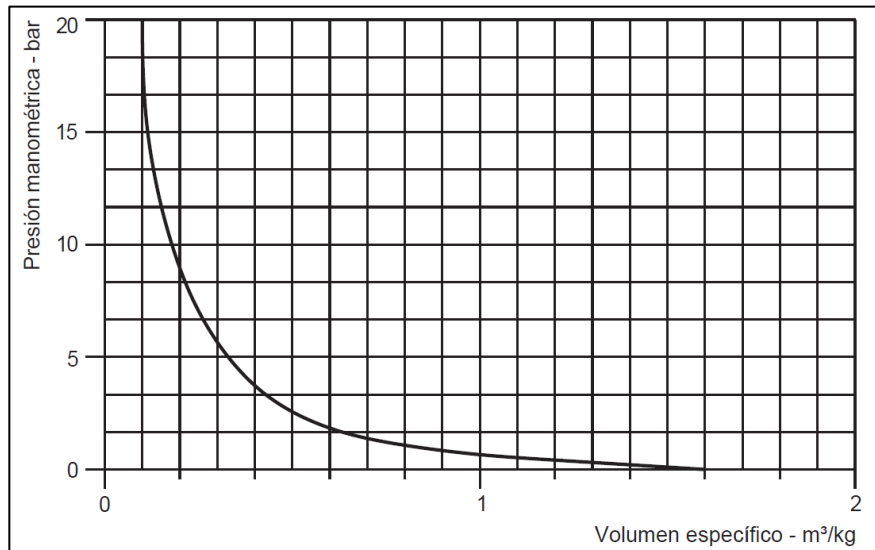
La presión para la distribución del fluido térmico está determinada parcialmente por el equipo que necesita una mayor presión, recordando que el vapor presentará una pérdida en su paso por la tubería, esto es debido a que se crea una resistencia al paso del vapor y la condensación por pérdida de temperatura en la tubería (calor), este estándar debe de tomarse en cuenta al momento de determinar la presión para su distribución. (p. 4)

Puntos para selección de presión:

- Establecer el requerimiento de presión solicitada
- Pérdida de presión en toda la distancia de la tubería

- Perdida de temperatura (calor) en la tubería

Figura 6. **Relación de producción y volumen**

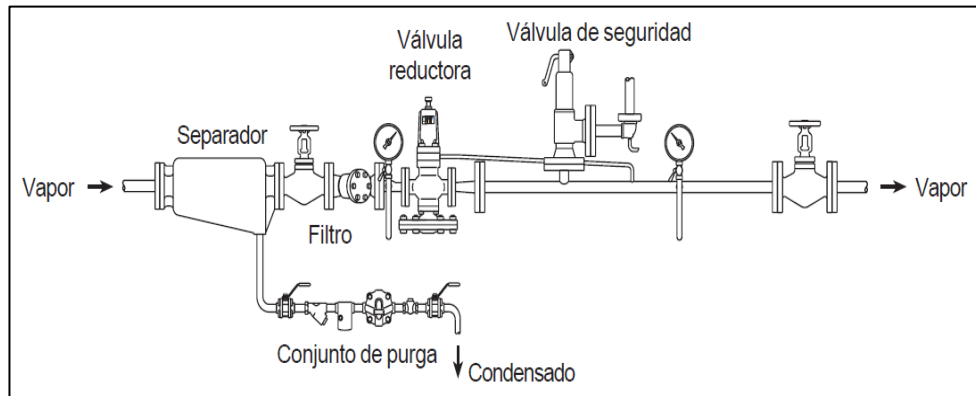


Fuente: Spirax Sarco. *Distribución del vapor. Guía de referencia técnica*. Consultado el 19 de noviembre de 201. Recuperado de <http://www.fnmt.es/documents/10179/10666378/Distribucion+del+vapor.pdf/ca09a6d-70ab-da86-5d9d-f19321638315>.

1.9.3. **Disminución en la presión**

Spirax Sarco (2018) indica que “para disminuir la presión en sistemas de distribución de vapor se utiliza una estación reductora” (p. 6). La cual puede observarse en la Figura 7.

Figura 7. Estación de válvula para disminuir la presión



Fuente: Spirax Sarco. *Distribución del vapor. Guía de referencia técnica*. Consultado el 19 de noviembre de 201. Recuperado de <http://www.fnmt.es/documents/10179/10666378/Distribucion+del+vapor.pdf/ca09a6d-70ab-da86-5d9d-f19321638315>.

El propósito de utilizar esta clase de válvula es para proteger al equipo, si la válvula falla debido a la presión excesiva el equipo sería dañado, sin embargo, si se cuenta con este sistema que advierte cualquier aumento este se descargará mediante la válvula de seguridad, previniendo así fallas catastróficas.

1.9.4. Distribución de vapor

Según Spirax Sarco (2018):

El flujo térmico se transformará a condensado por las pérdidas de calor, es por esto que se debe de prever el purgado del condensado ya que, si este proceso no se ejecuta eficientemente, se tendrán conflictos con el golpe de ariete además de corrosión en la tubería. El vapor al convertirse en vapor húmedo reduce su potencial de conducción de calor. (p. 17)

Para la instalación de la tubería que conforma el sistema de distribución se debe contar con una inclinación no menor a los 40 mm. cada 10 m. en la

trayectoria del vapor, el condensado no deberá retornar en dirección descendente. El flujo que va en dirección contraria arrastraría el líquido hacia una posición superior haciendo difícil su evacuación provocando fenómenos como el ariete hidráulico.

Al montar la tubería con una pendiente decreciente en la trayectoria del flujo estos se estarán direccionando correctamente y se colocan sitios de purga para evacuar el agua.

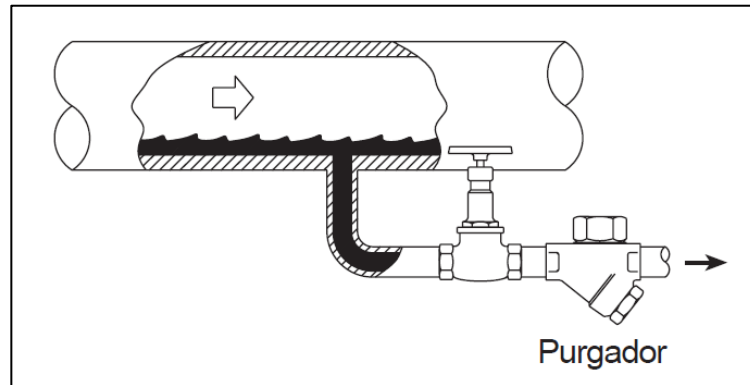
1.9.5. Válvulas de purga

Expresa Spirax Sarco (2018):

Si al condensado se le dificulta la salida hacia la válvula purgadora la elección de este tipo de válvula será ineficaz, es por eso que es importante la selección adecuada del tamaño y el diámetro de la tubería que conecta el purgador. Se debe considerar que pasa con el condensado dentro del sistema cuando ocurre un paro y el flujo se detiene, por la fuerza de gravedad este transitará en la trayectoria de la pendiente decreciente y se depositará en los sitios inferiores, es donde los purgadores deberán de instalarse cada 30 a 50m. a lo largo de la tubería. (p. 17)

El vapor en una caldera funcionando normalmente el flujo puede alcanzar una velocidad de 145 km/h. transportando el condensado, en la Figura 8 se tiene un ejemplo de tubería de diámetro menor, que está conectada desde la línea de vapor al purgador, aunque el diámetro de la tubería tiene la capacidad es probable que no recoja la mayor cantidad de condensado que fluye a grandes velocidades dentro del sistema, esta configuración no tendría resultados positivos.

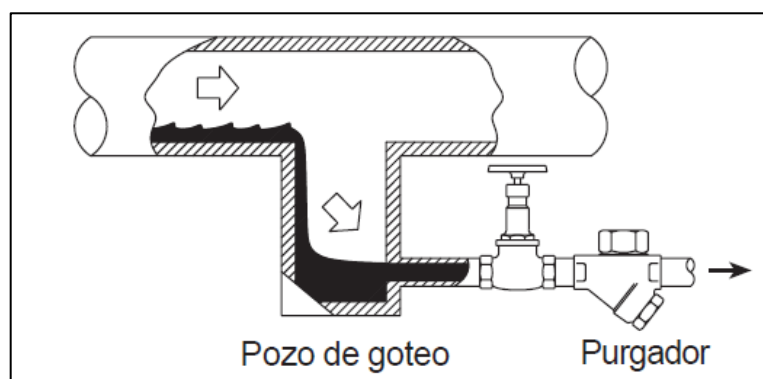
Figura 8. **Método de purga incorrecta**



Fuente: Spirax Sarco. *Distribución del vapor. Guía de referencia técnica*. Consultado el 19 de noviembre de 201. Recuperado de <http://www.fnmt.es/documents/10179/10666378/Distribucion+del+vapor.pdf/ca09a6d-70ab-da86-5d9d-f19321638315>.

En la Figura 9 se plasma una solución más viable para la evacuación del condensado, se instala una conexión tipo T en la cual el diámetro de la tubería principal es del mismo diámetro que la línea que conecta hacia la válvula purgadora, esta ejerce como una piscina de condensado, generalmente es desmontable para su mantenimiento preventivo.

Figura 9. **Método de purga correcta**



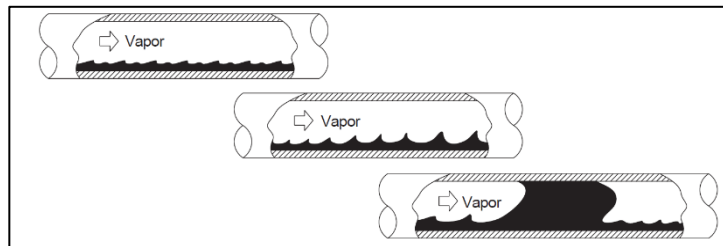
Fuente: Spirax Sarco. *Distribución del vapor. Guía de referencia técnica*. Consultado el 19 de noviembre de 201. Recuperado de <http://www.fnmt.es/documents/10179/10666378/Distribucion+del+vapor.pdf/ca09a6d-70ab-da86-5d9d-f19321638315>.

1.9.6. Efectos del choque hidráulico

Según Spirax Sarco (2018):

El choque hidráulico (golpe de ariete) es causado por el condensado que es arrastrado por la tubería y es detenido violentamente al impactar con alguna parte del sistema, las partículas húmedas de condensado acopiadas en toda la distancia de la tubería forman una especie de cuerpo de agua capaz de ser transportada por todo el sistema a la rapidez que corre el vapor. (p. 19)

Figura 10. **Formación del choque hidráulico**



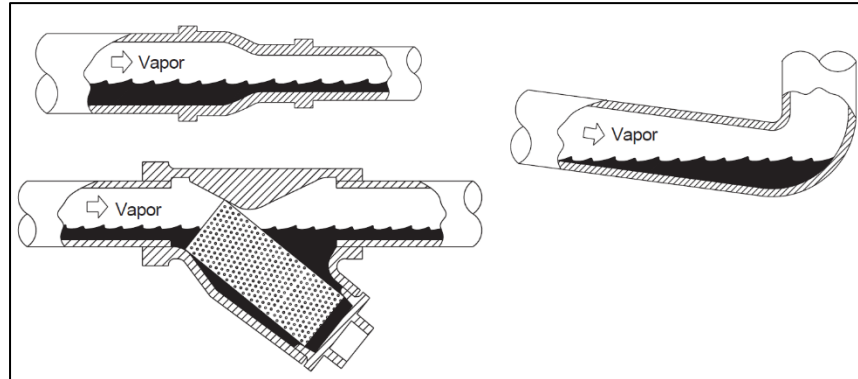
Fuente: Spirax Sarco. *Distribución del vapor. Guía de referencia técnica*. Consultado el 19 de noviembre de 201. Recuperado de <http://www.fnmt.es/documents/10179/10666378/Distribucion+del+vapor.pdf/ca09a6d-70ab-da86-5d9d-f19321638315>.

El choque hidráulico sucede cuando se obstruye el paso de este cuerpo de agua formado en la línea de distribución, se genera un sonido como un golpe que se acompaña con el movimiento excesivo, en casos extremos las partes de este pueden sufrir daños.

Evitar el choque hidráulico es una mejor alternativa que el intento de contenerlo, montando el sistema con materiales de alta calidad y monitorizando la presión a la salida del generador.

En la Figura 11 se pueden observar las áreas donde se cuenta con problemas de golpe de ariete.

Figura 11. **Áreas que presentan choque hidráulico**



Fuente: Spirax Sarco. *Distribución del vapor. Guía de referencia técnica*. Consultado el 19 de noviembre de 201. Recuperado de <http://www.fnmt.es/documents/10179/10666378/Distribucion+del+vapor.pdf/ca09a6d-70ab-da86-5d9d-f19321638315>.

En el diseño del sistema que conducirá el vapor se tiene que tomar en cuenta estos procedimientos para minimizar el choque hidráulico:

- Se deben instalar las líneas principales de vapor con una inclinación decreciente, teniendo en toda la línea puntos de purga en intervalos de 30 a 50 m.
- Posterior a los purgadores se instalarán válvulas de retención para que el condensado no se introduzca de nueva en la línea principal de vapor o en las paradas del generador.
- Se debe abrir lentamente las válvulas de aislamiento para que el flujo de condensado que exista en las líneas de distribución se evacue en los

purgadores antes de iniciar el generador de vapor y lo arrastre hacia algún equipo.

1.10. Factores que inciden en la eficiencia térmica y energética

A continuación, se nombrarán algunos factores que inciden en la eficiencia energética de los sistemas de distribución de vapor, ya sea por avería o por desgaste de sus piezas internas.

1.10.1. Aislamiento térmico

Indica Vargas (2016):

Los sistemas convencionales de aislamiento se encuentran conformados por componentes como el aislamiento térmico y el recubrimiento o enchaquetado de aluminio cuya función es la de proteger al aislamiento térmico. El aislamiento térmico no es nada más que materiales que tienen la capacidad de evitar la conducción térmica (calor) a través de los mismos, los materiales más utilizados para estos recubrimientos son la fibra de vidrio y la lana por su bajo costo y efectividad. (p. 8)

1.10.2. Trampas termodinámicas

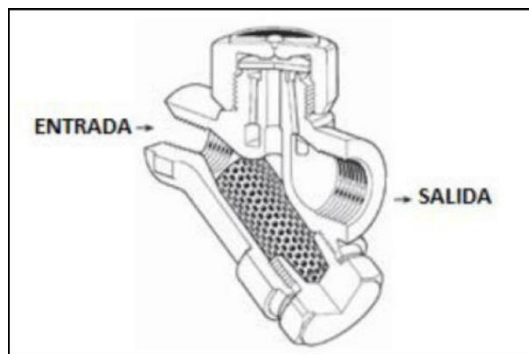
Según Vargas (2016):

El trabajo de las plantas termodinámicas es con el cambio de la dinámica de un fluido (vapor), su capacidad de revaporizar el condensado, al iniciar operación el generador de vapor el aire y el condensado ingresan a la trampa y atraviesan la cámara de calentamiento y orificios de entrada. Este

flujo separa el disco de los orificios y permite que el condensado fluya por los por los conductos de salida. (p. 8)

La justificación para llevar a cabo un programa de mantenimiento de trampas de vapor se halla en que dicho programa lleva a la reducción de vapor perdido por trampas de vapor abiertas con la consecuente disminución de energía requerida y el resultante ahorro económico. De acuerdo con el Departamento de Energía de los Estado Unidos (US DOE), el ahorro de energía asociado a un programa de inspección de trampas de vapor, para instalaciones sin mantenimiento de trampas de vapor, se encontraría entre 5 y 15 % del combustible de alimentación al generador de vapor.

Figura 12. **Purgador termodinámico**



Fuente: Spirax Sarco. *Distribución del vapor. Guía de referencia técnica*. Consultado el 19 de noviembre de 201. Recuperado de <http://www.fnmt.es/documents/10179/10666378/Distribucion+del+vapor.pdf/ca09a6d-70ab-da86-5d9d-f19321638315>.

1.10.3. **Baja recuperación de condensado**

Expresa Vargas (2018):

En los procesos de transferencia de calor el vapor saturado entrega su calor latente el cual representa la mayor proporción del calor total

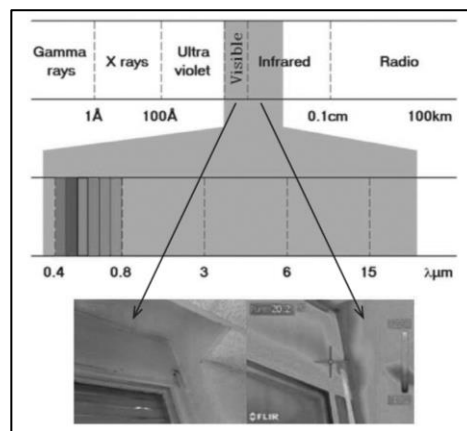
contenido en el vapor, el resto del calor en el vapor es retenido en le condensado como calor sensible. Un sistema eficiente de generación de vapor reutiliza su condensado para mejorar su rendimiento energético y su energía contenida retornándola al generador. (p. 12)

El condensado no es solo agua es solo agua destilada, contiene energía térmica que se reutiliza para alimentar el generador. El sistema de generación y distribución de vapor deben operar en un *closed loop* (bucle cerrado), en donde el condensado recuperado de todos los procesos de distribución retorne al tanque de alimentación del generador.

1.11. Fundamentos de la radiación infrarroja

El espectro electromagnético que el ojo humano puede ver es tan solo una porción pequeña con respecto al rango total que incluye todos los tipos de radiación, desde rayos x utilizados en ensayos no destructivos y hospitales hasta ondas de radio y telecomunicaciones.

Figura 13. Espectro electromagnético

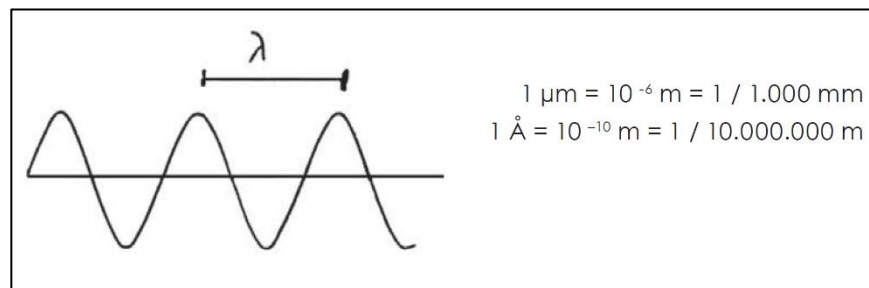


Fuente: Melgosa, S. (2011). *Guía de la Termografía Infrarroja aplicaciones en ahorro y eficiencia energética*. (p. 23).

1.11.1. Espectro electromagnético

Es el rango de todos los tipos de radiación electromagnética que se encuentran clasificados por longitud de onda. Se puede definir también como un mapa de diferentes tipos de energía de radiación y sus correspondientes longitudes de onda. La longitud de onda es la propagación de una perturbación que transfiere energía progresivamente de un punto a otro a través de un medio y que puede tener la forma de deformación elástica, una variación de presión, intensidad magnética, eléctrica o de temperatura.

Figura 14. Longitud de onda



Fuente: Melgosa, S. (2011). *Guía de la Termografía Infrarroja aplicaciones en ahorro y eficiencia energética*. (p. 22).

1.12. Termografía infrarroja

La termografía infrarroja (IR) se define como el proceso de generar imágenes visuales que representan variaciones en radiación infrarroja de superficies u objetos, similarmente a la manera que objeto de diferentes materiales y colores absorben y reflejan radiación electromagnética en el espectro visual visible (0.4 a 0.7 micrones), cualquier objeto a temperaturas más allá del cero absoluto emiten energía infrarroja (radiación) proporcional a su temperatura existente.

El espectro de radiación infrarroja es generalmente considerado que existe dentro de 2.0 y 15 micrones, utilizando un instrumento que contenga detectores que sean sensibles a la radiación electromagnética infrarroja puede generar una imagen visual de dos dimensiones, aunque los detectores y componentes electrónicos son diferentes, el proceso en si es similar al de una video cámara que lo usa para detectar la energía electromagnética reflejada de la imagen en el espectro visual de luz, interpretando la información y mostrando lo que detecta en una pantalla de cristal líquido (LCD) que puede ser vista por el técnico que opera el aparato.

Según Palacios, Peña e Hidalgo (2015):

Es una tecnica para monitorear la emision de energia infrarroja en equipos que se encuentran en circunstancias de operación y poder detectar averias térmicas, es decir detectar areas que se encuentran con mayor temperatura de lo que debería de encontrarse. El principal fundamento de la termografia infrarroja se basa en que todos los objetos que emanen una temperatura mayor al cero absoluto emiten radiación. (p. 5)

Expresa Neita, L. (2011):

La termografía infrarroja no es una nueva tecnología, se ha desarrollado en diversos campos en estos últimos años, lo que permite realizar la medición sin contacto, basándose en la teoría de la radiación térmica, los avances en la tecnología han permitido diseñar equipos portátiles, económicos y de fácil manejo. (p. 75)

1.12.1. Termografía comparativa cuantitativa

Indica Morales, J. (2018):

Este tipo de técnica requiere que se determine un valor de temperatura para valorar la severidad de la condición de un componente, este se establece comparando la temperatura del objetivo con la de los equipos de servicio similar o datos de referencia. Para superficies de alta emisividad, tanto T y ΔT son valores fiables, para superficies de baja emisividad T y ΔT son muy poco fiables. (p. 23)

La termografía comparativa cuantitativa es un método eficaz para evaluar la condición de una máquina o componente mediante la determinación de temperaturas aproximadas. Es relativamente difícil determinar con precisión las temperaturas reales de un componente utilizando la TIR en el campo. Esto se debe a la física de TIR que debe tener en cuenta los múltiples parámetros que permiten una verdadera medición de la temperatura absoluta. Estas consideraciones son: emisividad, reflectividad y transmisividad.

1.12.2. Termografía comparativa cualitativa

Según Morales, J. (2018):

La medición comparativa cualitativa compara el patrón térmico o el perfil de un componente, con la de un componente idéntico o similar en las mismas condiciones de funcionamiento sin la asignación de valores de temperatura a los patrones. Esta técnica es rápida y fácil de aplicar, y no requiere ningún ajuste de la cámara termográfica para compensar las condiciones atmosféricas, ambientales o emisividad de la superficie. Aunque el

resultado de este tipo de medición puede identificar una deficiencia, no proporciona un nivel de gravedad. (p. 24)

1.12.3. Termografía activa

Indica Neita, L. (2011):

Es necesaria la estimulación externa (fuente de radiación infrarroja externa) que incida en el objeto de estudio y produzca en el un flujo de calor, estas estimulaciones sirven como perturbaciones de flujo de calor sobre la superficie del objeto, de manera que, un defecto interno puede alterar ese flujo, provocando una distribución anómala de la temperatura, generando patrones de temperatura en la superficie, los cuales se pueden medir y estudiar para establecer el estado del objeto. (p. 76)

1.12.4. Termografía pasiva

Según Morales, J. (2018):

Este tipo de termografía no es necesaria la estimulación externa para lograr inspeccionar un objeto, el propio objeto por su funcionamiento o por la interacción con su entorno, genera o elimina calor, produciendo patrones de temperatura que se logran medir, pudiendo determinar una anomalía en la distribución de temperaturas. (p.76)

1.12.5. Termogramas

Se define como una imagen térmica, la cual es producto de emisiones radioactivas naturales, a través de un equipo que integra sistemas de video,

termómetros ópticos por radiación infrarroja y algoritmos complejos; en la imagen térmica se observa la diferenciación de colores del cuerpo estudiado, con el fin de determinar e interpretar de forma precisa los rangos de temperatura de la imagen obtenida.

1.12.6. Aplicación para sistemas mecánicos

Las aplicaciones para equipo rotativo son solo un pequeño subconjunto de las posibles áreas donde la termografía infrarroja puede ser usada en un programa de mantenimiento preventivo, adicionalmente a la habilidad para detectar problemas asociados con fallas de rodamientos, alineación, balanceo y holgura.

La termografía puede ser utilizada para definir varios perfiles de temperatura que indican las averías o paros en las operaciones del equipo. La siguiente lista provee un ejemplo de aplicaciones:

- Sistemas de Vapor
 - Generadores de vapor
 - Refractario
 - Tubería
 - Trampas de vapor
 - Válvulas
 - Líneas

- Motores y equipos rotativos
 - Rodamientos

- Problemas de alineamientos y acoplamientos
- Conexiones eléctricas en motores
- Motores enfriados por aire

1.12.7. Tipos de equipo

Existen diversos tipos de equipo para detección IR, variando en su capacidad, diseño y costo, adicionalmente los equipos para medición simple de temperatura que detectan las emisiones IR, pero no producen una imagen visual o un perfil IR también son fabricados.

En este caso se utilizó una cámara termográfica marca *FLIR* modelo E4 para realizar las tomas.

Figura 15. Cámara termográfica



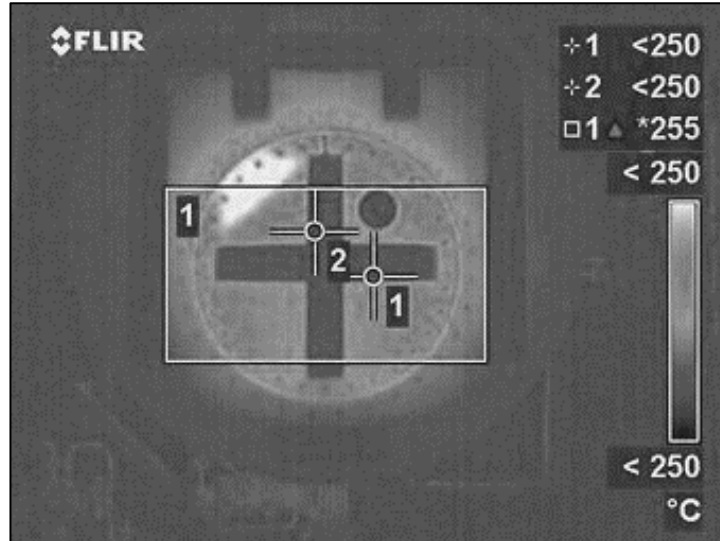
Fuente: Flir-Systems. (2019). *Cameras Termográficas Flir*. Consultado el 19 de Noviembre de 2019. Recuperado de <https://www.flir.com/browse/professional-tools/thermography-cameras/>.

1.12.8. Aplicaciones

Las principales aplicaciones del uso de la termografía infrarroja como herramienta de ensayo no destructivo para la revisión de sistemas de generación y distribución de vapor son las siguientes:

- Fallas de aislamiento
- Fugas de vapor en tubería
- Averías en trampas de vapor
- Fugas en juntas telescópicas
- Aumento de temperatura en motores

Figura 16. Medición termográfica



Fuente: Flir-Systems. (2019). *Cameras Termográficas Flir*. Consultado el 19 de Noviembre de 2019. Recuperado de <https://www.flir.com/browse/professional-tools/thermography-cameras/>.

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Durante el desarrollo de la investigación se realizaron visitas de campo en el centro asistencial para reconocimiento, inspecciones de disponibilidad y funcionamiento de los equipos, verificando el historial para determinar los paros, fallas, causas y posteriores tomas termográficas. La recopilación de información por medio de análisis termográfico fue de corte longitudinal y la recopilación de historiales se realizó de forma transversal.

2.1. Visita de campo para reconocimiento

La visita de reconocimiento se realizó el 18 de diciembre de 2019 a las 03:00 horas en las instalaciones de la división de ingeniería del Centro Médico Militar, coordenadas 14° 37' 28" N 90° 27' 35" E. Durante la inspección estuvieron presentes: Maestro Ingeniero Edwin Estuardo Sarceño Zepeda, Ingeniero Electricista Nathanael Requena Gómez Termógrafo Nivel II y el operador de Calderas Daniel Armando Tzoc Monzón. La visita finalizó a las 17:00 horas.

Durante la visita se recopiló información de la cantidad de equipos de generación de vapor, paros, averías, mantenimientos y la bitácora de cada equipo, asimismo se efectuó un análisis de equipos críticos auxiliares para el funcionamiento de las calderas y sus fallas recurrentes.

Tabla III. **Características generales de los tres equipos de generación de vapor**

Calderas Cleaver-Brooks CB 600-500	
Serie	L-7 64 26
Capacidad	2,092 KBTU/h
Año de fabricación	17/12/1983
Combustible	<i>Gas-Heavy Oil No. 6</i> (bunker)
Presión de operación	Vapor: 15-250 psig.
Fases	3

Fuente: elaboración propia.

El ciclo de distribución inicia a las 04:00 horas para suministrar de vapor al área del departamento de dietética para la elaboración de alimentos para los pacientes, personal médico, enfermeras, personal administrativo y personal operativo del hospital. El vapor se dirige al mismo tiempo a los tanques de agua caliente para elevar su temperatura y ser utilizada para el aseo de los pacientes principalmente, así como el área de fisioterapia donde existen tinas con afluente de agua caliente para tratamientos.

Durante el día el fluido térmico es trasladado hacia la central de equipos para la esterilización de equipo médico quirúrgico que se utiliza en quirófanos, hospital de día, encamamientos y consulta externa. El Departamento de lavandería utiliza lavadoras que requieren agua caliente y vapor para la esterilización de prendas y ropa de cama, en la sección de planchado las planchadoras industriales demandan vapor para su funcionamiento además de las secadoras industriales para el secado de ropa, estos finalizan a las 15:00 horas.

El generador de vapor detiene su operación a las 16:00 horas, el vapor restante que queda dentro del generador es suministrado únicamente al departamento de dietética para la elaboración de la cena del personal de planta y pacientes. La central de equipos ya no utiliza el vapor en horario nocturno, así como los tanques de agua caliente que todavía contiene agua a temperatura elevada si se llegara a utilizar en algún paciente.

El trasiego del combustible *Heavy Fuel Oil No. 6* (bunker tipo C) al tanque de diario para su precalentamiento, el cual es el de mayor viscosidad y de mejor temperatura de inflamación para este tipo de generador, se divide en dos cargas, una a las 06:00 horas para la operación del día, donde es elevado de temperatura a 93 °C para disminuir su viscosidad y así poder atomizarlo en el hogar de la caldera y comenzar la operación, la segunda a las 12:00 horas para mantener el tanque de diario listo para la operación del siguiente día.

Tabla IV. **Distribución de vapor por departamentos**

Departamento de Dietética		
No.	Suministra	Cantidad
1	Marmitas	12
2	Lava bandejas	1
Departamento de Lavandería		
No.	Suministra	Cantidad
1	Lavadoras industriales de 150 Lbs.	4
2	Planchadoras industriales	6
3	Secadoras industriales	4

Continuación tabla IV.

Central de Equipos		
No.	Suministra	Cantidad
1	Autoclaves	4

Tanques de agua caliente		
No.	Suministra	Cantidad
1	Encamamientos	2
2	Lavandería y Dietética	1
3	Quirófanos, consulta externa y VIP	1

Tanques de combustible		
No.	Suministra	Cantidad
1	Tanques de combustible bunker	3

Fuente: elaboración propia.

Para el sistema de distribución de vapor se realizó una inspección visual para determinar algún tipo de fuga o daño en la tubería que distribuye a los diferentes departamentos. Debido a lo complejo del sistema solo se seleccionaron lugares visibles donde se conduce la tubería hacia los departamentos más críticos y áreas donde se cuenta con trampas termodinámicas para determinar el estado de estas.

2.2. Fallos más comunes

Durante la entrevista a los operadores de calderas, indicaron las fallas más frecuentes del generador de vapor, sus equipos auxiliares y el sistema de distribución.

Tabla V. **Fallas más frecuentes del generador de vapor No. 2**

No.	Descripción del equipo	Modo de falla
1	Fusibles de tablero eléctrico trifásico del generador No. 2	Fusible sobre calentado
2	Fase No. 3 de contactor de panel de control de motor de ventilador de tiro forzado	Contactor en mal estado
3	Motor de bomba de agua que alimenta el generador	Motor en mal estado
4	Motor eléctrico No. 2 de bomba para trasiego de combustible bunker	Motor en mal estado
5	Pared refractaria delantera	Falta de mantenimiento
6	Pared refractaria trasera	Falta de mantenimiento
7	Trampa de vapor termodinámica	Baja acumulación de condensado
8	Trampa de vapor termostática	Baja acumulación de condensado
9	Tuberías de conducción de vapor	Fugas de vapor

Fuente: elaboración propia.

2.3. Inspección de disponibilidad

Se efectuó la inspección de un generador de vapor que se encontraba en operación en ese momento, asimismo el chequeo de los equipos auxiliares y partes consideradas críticas para este trabajo de graduación, los equipos se clasificaron de acuerdo con su nivel de criticidad la cual fue desarrollada por el investigador.

Se solicitó el historial de fallos, mantenimientos y paros programados, pero únicamente se logró obtener algunas de las fechas de paros y mantenimientos mayores realizados a los equipos de generación de vapor en tres meses anteriores al estudio.

Con lo que respecta al sistema de distribución no se cuenta con historial de reparaciones en juntas telescópicas o cambios de trampas termodinámicas, solo el conocimiento del operador de calderas que funge como encargado de mantenimiento del sistema y generadores, haciendo difícil la tarea de recopilación de datos.

A continuación, se realizó el análisis de disponibilidad del generador No. 2, el cual era el único disponible en el tiempo de realización del estudio. Según los operadores del equipo a los cuales se les entrevisto y ya que como se menciona anteriormente no cuentan con bitácora de fallos o mantenimientos programados, se les cuestionó sobre los paros o mantenimientos efectuados tres meses antes y a raíz de esto se pudieron obtener horas disponibles, periodo de tiempo evaluado y tiempo indisponible para tener como resultado la disponibilidad del equipo, teniendo en cuenta que el generador trabaja doce horas al día los treinta días del mes.

$$D = \frac{Pe - Ti}{Pe} * 100$$

D= Disponibilidad

Pe= Periodo evaluado

Ti= Tiempo indisponible

Tabla VI. **Cálculo de disponibilidad del generador No. 2 mes de septiembre 2019**

Periodo evaluado (horas)	Tiempo indisponible (fallos, mantenimientos e inspecciones programadas)	Tiempo de fallo (horas)	Mantenimiento programado (horas)	Disponibilidad
360	41.5	36	5.5	88.47 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Cálculo de disponibilidad del generador No. 2 mes de octubre 2019**

Periodo evaluado (horas)	Tiempo indisponible (fallos, mantenimientos e inspecciones programadas)	Tiempo de fallo (horas)	Mantenimiento programado (horas)	Disponibilidad
360	50.5	45	5.5	85.97 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Cálculo de disponibilidad del generador No. 2 mes de noviembre 2019**

Periodo evaluado (horas)	Tiempo indisponible (fallos, mantenimientos e inspecciones programadas)	Tiempo de fallo (horas)	Mantenimiento programado (horas)	Disponibilidad
360	37.5	32	5.5	89.58 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Cálculo de disponibilidad del generador No. 2 mes de diciembre 2019**

Periodo evaluado (horas)	Tiempo indisponible (fallos, mantenimientos e inspecciones programadas)	Tiempo de fallo (horas)	Mantenimiento programado (horas)	Disponibilidad
360	34	32	2	90.56 %

Fuente: elaboración propia.

2.4. Criticidad de equipos

La División de Ingeniería no cuenta con una matriz para esta clase de equipos y partes, los equipos auxiliares del generador de vapor no se encuentran

codificados y no se encuentran en ninguna base de datos de referencia. Se seleccionaron los equipos para su mantenimiento preventivo basado en el análisis termográfico de acuerdo al alcance propuesto para esta investigación. Asimismo, se incluyeron los equipos asociados con conexiones eléctricas (tableros eléctricos de distribución).

Tabla X. **Análisis de criticidad de equipos eléctricos**

No.	Sector	Código de equipo	Descripción	S	C	R	A	F	C	Clas.
1	Área de Calderas	DM-ET-03-01-01	Caldera Cleaver-Brooks CB 500-600	1	1	1	1	2	2	A
2	Área de Calderas		Motor de ventilador de tiro forzado	1	1	1	2	2	2	A
3	Área de Calderas		Motor de bomba de aire	3	1	2	2	3	3	A
4	Área de Calderas		Fase No. 3 de tablero eléctrico trifásico	1	2	2	2	3	1	A
5	Área de Calderas		Motor eléctrico de bomba de agua que alimenta caldera No. 2.	2	1	2	2	2	1	A
6	Generador No. 2		Fase No. 3 de contactor de panel de control de motor de ventilador de tiro forzado	2	1	2	2	2	1	A
7	Área de Calderas		Motor eléctrico de bomba para trasiego de combustible bunker	1	1	1	1	1	3	A
8	Tanque de bunker C No. 2		Motor eléctrico No. 1 de bomba para trasiego de combustible bunker	3	2	1	1	3	3	A
9	Tanque de bunker C No. 2		Motor eléctrico No. 2 de bomba para trasiego de combustible bunker	3	2	1	1	3	3	A
10	Área de Calderas		Motor eléctrico de bomba de agua que alimenta caldera No. 2.	2	1	2	2	2	1	A

Fuente: elaboración propia.

Para los equipos y elementos del sistema de distribución se seleccionaron equipos con forme su criticidad en la operación siendo nombrados en la Tabla No. X.

Tabla XI. **Análisis de criticidad de equipos y partes**

No.	Sector	Código de equipo	Descripción	S	C	R	A	F	C	Clas.
1	Generador No. 2	N/A	Pared refractaria delantera	3	2	1	3	3	1	C
2	Generador No. 2	N/A	Pared refractaria trasera	3	2	1	3	3	1	C
3	Generador No. 2	N/A	Cara lateral derecha	3	2	1	3	3	1	C
4	Generador No. 2	N/A	Válvulas de seguridad	1	1	1	1	3	1	A
5	Área de cocina	N/A	Trampa de vapor termodinámica	3	2	1	3	3	3	C
6	Tanque de agua No. 1	N/A	Trampa de vapor termostática	3	2	1	3	3	3	C
7	Tanque de agua No. 2	N/A	Trampa de vapor termostática	3	2	1	3	3	3	C
8	Tanque de agua No. 3	N/A	Trampa de vapor termostática	3	2	1	3	3	3	C
9	Tanque de agua No. 4	N/A	Trampa de vapor termostática	3	2	1	3	3	3	C
10	Área de Calderas	N/A	Aislamiento térmico de tubería de conducción de vapor	3	2	3	3	3	3	C

Fuente: elaboración propia.

2.5 Tendencias de temperatura en operación

Durante la inspección no se encontraron registros o datos de termografía infrarroja realizada a los equipos o partes por parte del personal técnico de la División de Ingeniería y Mantenimiento del Centro Médico Militar, lo que indica que este tipo de ensayo no destructivos (END) no ha sido aplicado a los equipos, teniendo una deficiencia en el rendimiento energético a través de fugas en las tuberías, válvulas, trampas de vapor, resultando en la reducción de la capacidad calorífica del vapor.

La técnica de medición utilizada que se empleó fue la del análisis termográfico a los equipos y partes considerados críticos del generador y del sistema de distribución teniendo en cuenta la temperatura de operación y sus valores permitidos.

Al efectuar las mediciones se obtuvieron valores que fueron comparados contra criterios de aceptación de esta técnica utilizada, resultando esta comparación en un parámetro para emitir el diagnóstico de la condición del equipo o parte en ese momento.

Tabla XII. **Criterios de severidad en termografía de motores eléctricos**

Motores y elementos eléctricos			
$\Delta T > \text{de } 40^{\circ}\text{C}$	$20^{\circ}\text{C} \leq \Delta T \leq 40^{\circ}\text{C}$	$5^{\circ}\text{C} \leq \Delta T \leq 20^{\circ}\text{C}$	$\Delta T < 5^{\circ}\text{C}$
Reparar de inmediato	Reparar tan pronto como sea posible	Reparar cuando el tiempo lo permita	Normal
Cojinetes de motor			
$\Delta T > \text{de } 120^{\circ}\text{C}$	$100^{\circ}\text{C} \leq \Delta T \leq 120^{\circ}\text{C}$		$\Delta T < 100^{\circ}\text{C}$
Reparar de inmediato	Reparar tan pronto como sea posible		Normal

Fuente: elaboración propia, utilizando norma NETA 1997001 y estándares SKF (2018).

Tabla XIII. **Máximo aumento de temperatura por el método de resistencia para motores de inducción medianos**

Motores eléctricos de inducción medianos	Clase de aislamiento y máximo aumento de temperatura			
	A	B	F	H
Motores eléctricos con factor de servicio 1.0 (FS) que sean diferentes a los 3 o 4.	60	80	100	125
Todos los motores eléctricos con 1.15 (FS) o superior	70	90	115	-
Motores eléctricos totalmente cerrados no ventilados con 1.0 (FS).	65	85	110	130
Motores eléctricos con devanados encapsulados y con 1.0 FS.	65	85	110	-

Fuente: elaboración propia, utilizando norma NEMA MG 1-2003.

2.6 Recopilación de datos y análisis de información

Se efectuaron las mediciones con forme a la técnica de termografía infrarroja por medio de personal capacitado para el efecto, se utilizó la cámara termográfica FLIR E4, los datos recopilados se documentaron en formatos y se consolidaron en una base de datos para su posterior análisis y generación de tendencias.

2.6.1 Equipo utilizado para la recolección de datos

Se utilizó la cámara termográfica FLIR E4 cámara de imágenes térmicas para aplicaciones eléctricas, mecánicas, de construcción y HVAC / R. Diseñada para dar lecturas de temperatura precisas en aplicaciones de mantenimiento preventivo de equipos e instalaciones. El software utilizado para el análisis de fotografías infrarrojas fue FLIR *tools* versión 5.13.

Tabla XIV. Descripción general de cámara termográfica

Descripción	Especificaciones
Precisión	$\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\pm 3,6\text{ }^{\circ}\text{F}$) o $\pm 2\%$ de lectura, para temperatura ambiente de $10\text{ a }35\text{ }^{\circ}\text{C}$ (de $50\text{ a }95\text{ }^{\circ}\text{F}$) y temperatura del objeto superior a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($32\text{ }^{\circ}\text{F}$)
Tipo de detector	Microbolómetro no refrigerado
Campo de visión (FOV)	$45^{\circ} \times 34^{\circ}$
Resolución de IR	80×60 píxeles
Imagen dinámica multispectral (MSX)	Imagen de IR mejorada con detalle de cámara de luz normal
Rango de temperatura del objeto	De $-20\text{ a }250\text{ }^{\circ}\text{C}$ (de $-40\text{ a }482\text{ }^{\circ}\text{F}$)
Sensibilidad térmica/NETD	$<0,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($0,27\text{ }^{\circ}\text{F}$) / $<150\text{ mK}$
Certificaciones	UL, CSA, CE, PSE y CCC
Corrección de temperatura aparente reflejada	Automática, basada en la entrada de la temperatura reflejada
Tabla/corrección de emisividad	Tabla de emisividad de materiales predefinidos/variable de $0,1\text{ a }1,0$.

Fuente: Flir-Systems. (2019). *Camaras Termográficas Flir*. Consultado el 19 de Noviembre de 2019. Recuperado de <https://www.flir.com/browse/professional-tools/thermography-cameras/>.

Figura 17. Cámara termográfica utilizada para el estudio



Fuente: Flir-Systems. (2019). *Camaras Termográficas Flir*. Consultado el 19 de Noviembre de 2019. Recuperado de <https://www.flir.com/browse/professional-tools/thermography-cameras/>.

3. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se dan a conocer los resultados obtenidos de los análisis termográficos realizados a los equipos auxiliares de los generadores y línea de distribución de vapor del hospital, tomando en cuenta que anteriormente no se había utilizado equipo de estado de arte para realizar ensayos no destructivos como parte del mantenimiento preventivo para determinar altas temperaturas a los mismos.

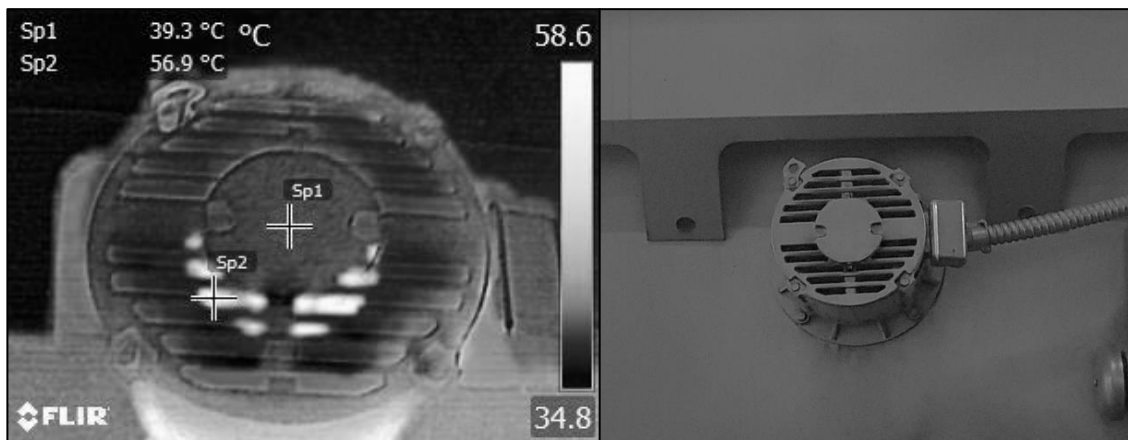
3.1. Análisis termográfico realizado a equipos críticos

Se realizó el análisis termográfico a los equipos descritos en las Tablas IX y X, para cada uno de estos el valor de temperatura se obtuvo de una toma individual en el momento que el generador de vapor se encontraba en operación durante el día, distribuyendo el fluido a los diferentes departamentos que lo requieren para poder prestar sus servicios a los pacientes.

Como se menciona anteriormente la división de ingeniería y mantenimiento del hospital no utilizaba esta herramienta de estado de arte para realizar inspecciones termográficas a los equipos eléctricos y partes críticas de los generadores de vapor y su red de distribución, por lo que en esta oportunidad se logró determinar y dar a conocer focos de temperaturas elevadas como lo demuestran los análisis termográficos ejecutados, teniendo así un panorama del estado de los mismos.

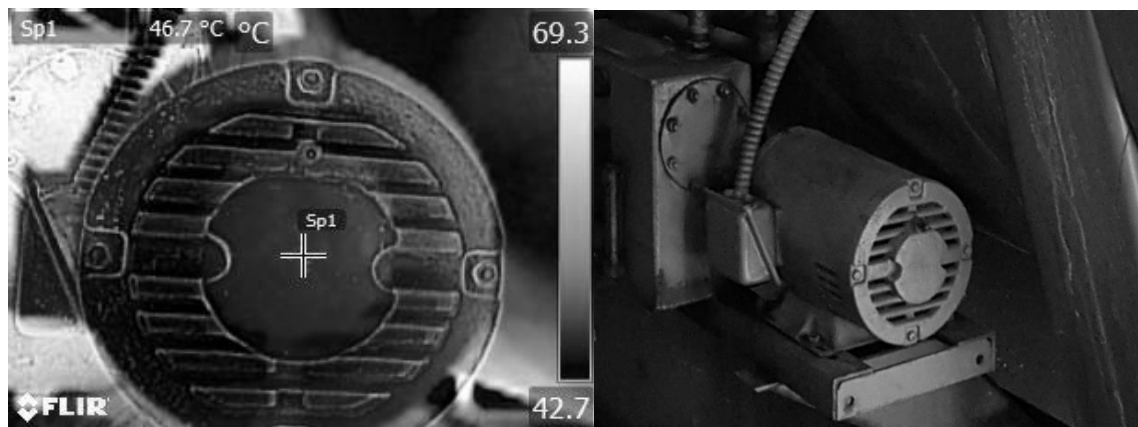
A continuación, se muestran los termogramas de algunos de los equipos eléctricos que forman parte del generador de vapor o de sus sistemas auxiliares, presentando temperaturas no habituales debido a la falta de mantenimiento preventivo en los mismos o realización de ensayos no destructivos para poder predecir fallas futuras o por ocurrir.

Figura 18. **Termograma del ventilador de tiro forzado**



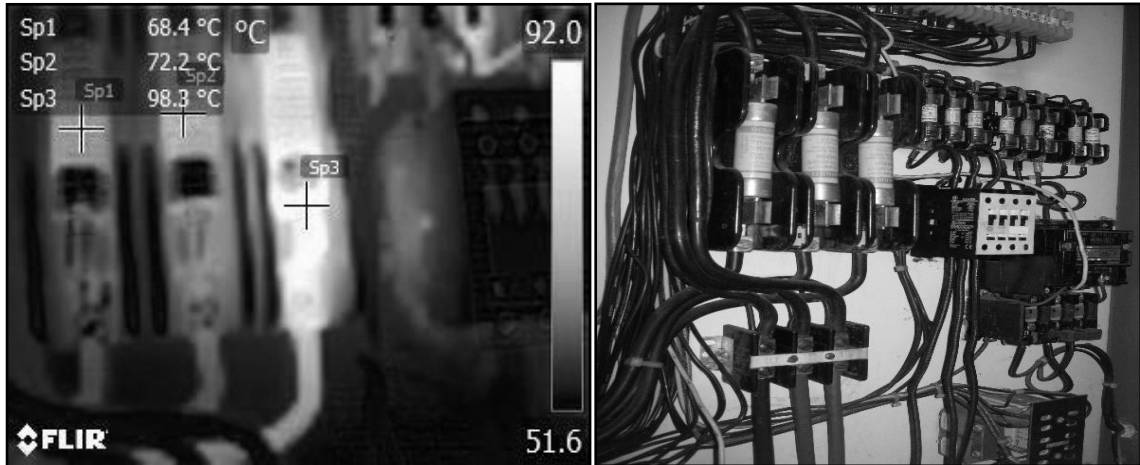
Fuente: Fotografía de Nathanael Requena Gómez. Centro Médico Militar. 2019. Área de calderas.

Figura 19. **Termograma del motor compresor de atomización**



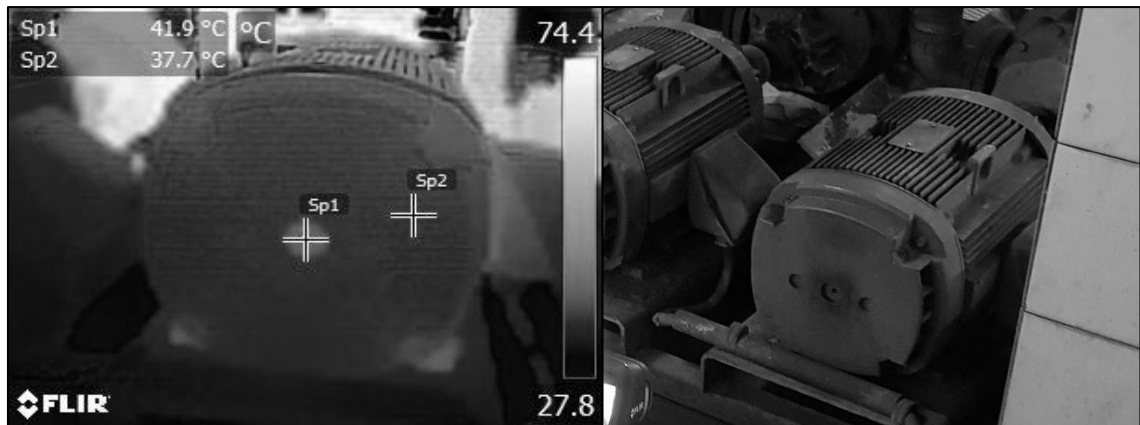
Fuente: Fotografía de Nathanael Requena Gómez. Centro Médico Militar. 2019. Área de calderas.

Figura 20. Termograma de tablero trifásico del generador de vapor



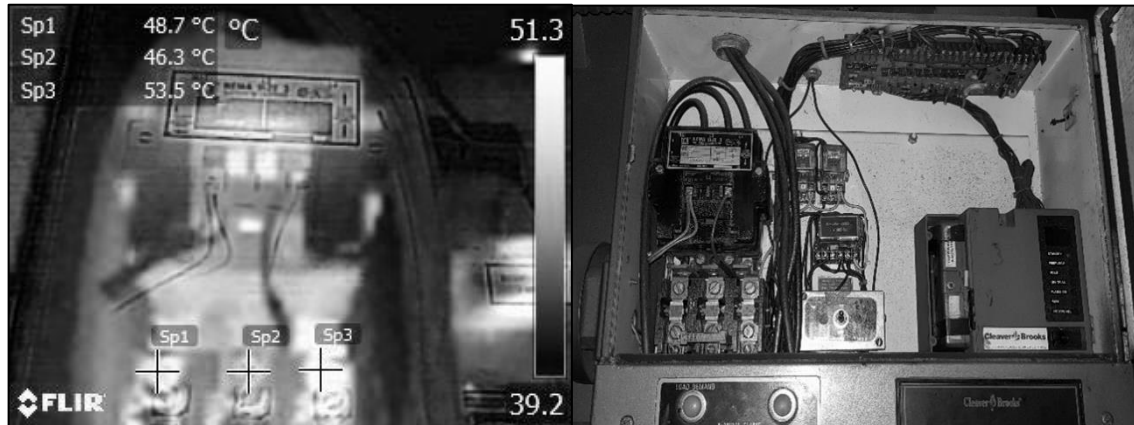
Fuente: Fotografía de Nathanael Requena Gómez. Centro Médico Militar. 2019. Área de calderas.

Figura 21. Termograma de motor de bomba de agua



Fuente: Fotografía de Nathanael Requena Gómez. Centro Médico Militar. 2019. Área de calderas.

Figura 22. Termograma de contactor de panel de control de motor de ventilador de tiro forzado



Fuente: Fotografía de Nathanael Requena Gómez. Centro Médico Militar. 2019. Área de calderas.

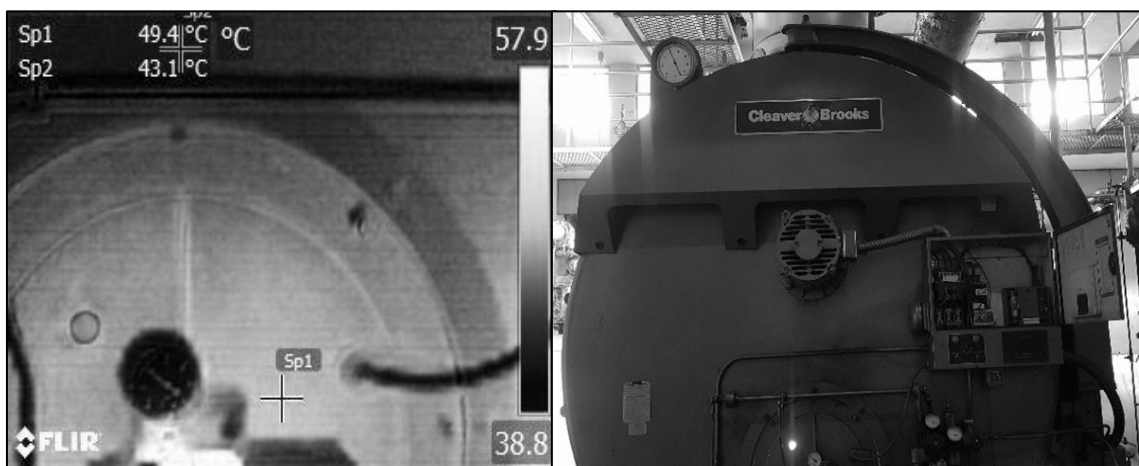
Tabla XV. Temperaturas de operación de elementos eléctricos

No.	Sector	Código de equipo	Descripción	Valor de temperatura en °C	Máximo aumento de temperatura	Severidad
1	Área de Calderas	N/A	Motor de ventilador de tiro forzado	39.4	80	Normal
2	Área de Calderas	N/A	Motor de bomba de aire	46.7	80	Normal
3	Área de Calderas	N/A	Fusible de la fase No. 3 de tablero eléctrico trifásico	98.3	40	Reparar de inmediato
4	Área de Calderas	N/A	Motor eléctrico de bomba de agua que alimenta caldera No. 2.	41.9	90	Normal
5	Generador No. 2	N/A	Fase No. 3 de contactor de panel de control de motor de ventilador de tiro forzado	53.5	40	Reparar de inmediato
6	Área de Calderas	N/A	Motor eléctrico de bomba para trasiego de combustible bunker	38.5	90	Normal
7	Tanque de bunker C No. 2	N/A	Motor eléctrico No. 1 de bomba para trasiego de combustible bunker	36.3	90	Normal
8	Tanque de bunker C No. 2	N/A	Motor eléctrico No. 2 de bomba para trasiego de combustible bunker	37	90	Normal

Fuente: elaboración propia.

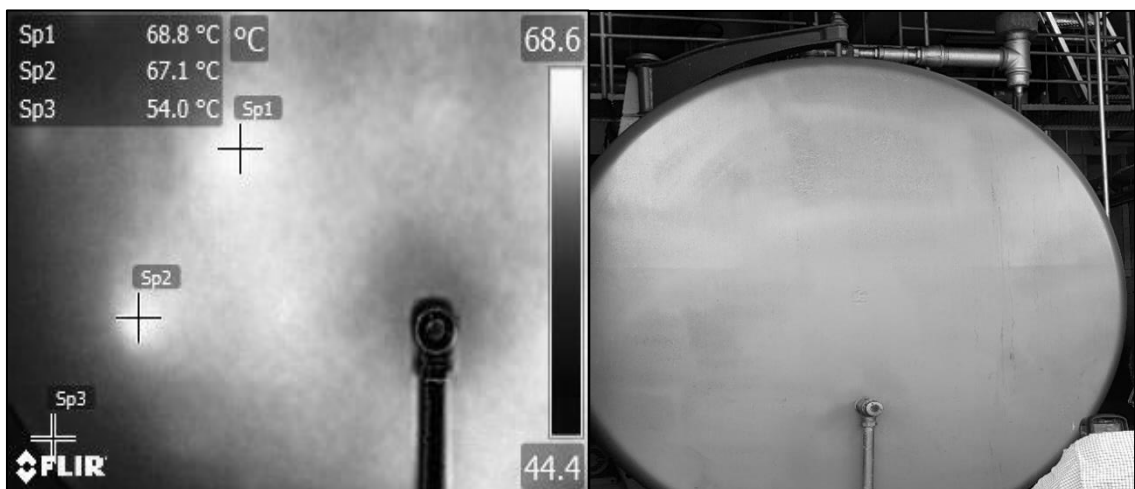
Posterior a la toma de termografías infrarrojas a los equipos eléctricos, se realizó el análisis a las partes del generador y sistema de distribución (tuberías y válvulas) que se consideran críticos para su funcionamiento o por generar pérdidas de energía por encontrarse en mal estado, las temperaturas se compararon con otras que nos pueden dar un parámetro de lo ideal u óptimo.

Figura 23. Termograma de pared refractaria delantera



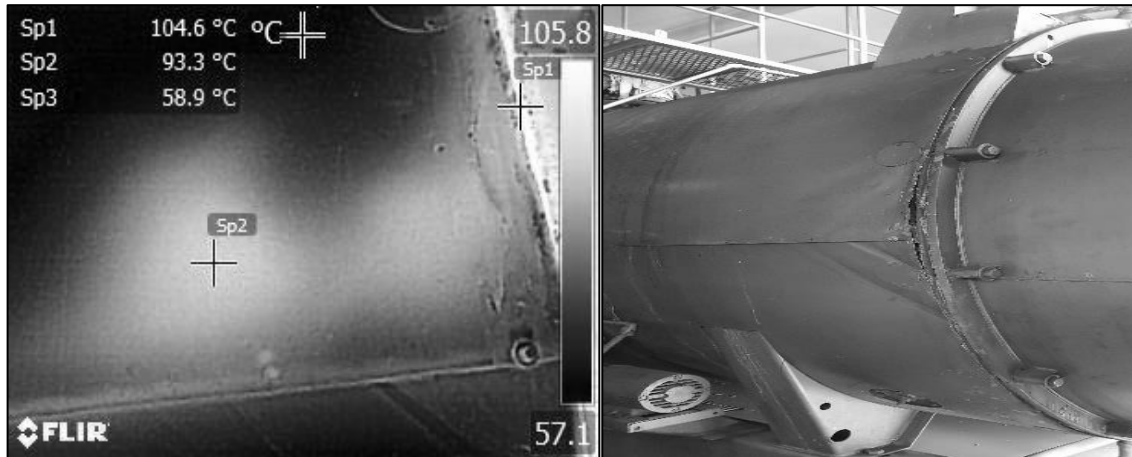
Fuente: Fotografía de Nathanael Requena Gómez. Centro Médico Militar. 2019. Área de calderas.

Figura 24. Termograma de pared refractaria posterior



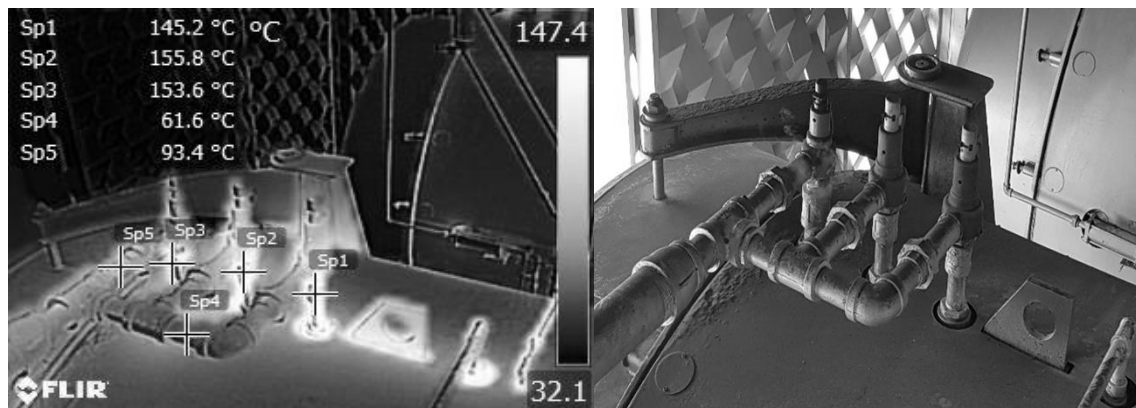
Fuente: Fotografía de Nathanael Requena Gómez. Centro Médico Militar. 2019. Área de calderas.

Figura 25. Termograma de cara lateral derecha



Fuente: Fotografía de Nathanael Requena Gómez. Centro Médico Militar. 2019. Área de calderas.

Figura 26. Termograma de válvulas de seguridad



Fuente: Fotografía de Nathanael Requena Gómez. Centro Médico Militar. 2019. Área de calderas.

Figura 27. Termograma de llaves de paso y aislamiento térmico de tubería de distribución de vapor.



Fuente: Fotografía de Nathanael Requena Gómez. Centro Médico Militar. 2019. Área de calderas.

Tabla XVI. Temperaturas de operación de elementos del generador de vapor y sistema de distribución

No.	Sector o equipo	Código de equipo	Descripción	Valor de temperatura en °C	Valor de temperatura recomendada en °C	Condición
1	Generador No. 2	N/A	Pared refractaria delantera	49.03	43.0	Leve incremento de temperatura
2	Generador No. 2	N/A	Pared refractaria posterior	69	54	Se encontraron focos de temperaturas elevadas, debido a falta de mantenimiento a la pared refractaria.
3	Generador No. 2	N/A	Cara lateral derecha	100.6	59.2	Lamina de protección se encuentra golpeada y produce pérdida de energía.
4	Generador No. 2	N/A	Válvulas de seguridad	153..6	91.8	Fuga de vapor en una de las válvulas de seguridad
5	Área de cocina	N/A	Trampa de vapor termodinámica	118.3	118	En buen estado
6	Tanque de agua No. 1	N/A	Trampa de vapor termostática	119.2	118	En buen estado

Continuación de tabla XVI.

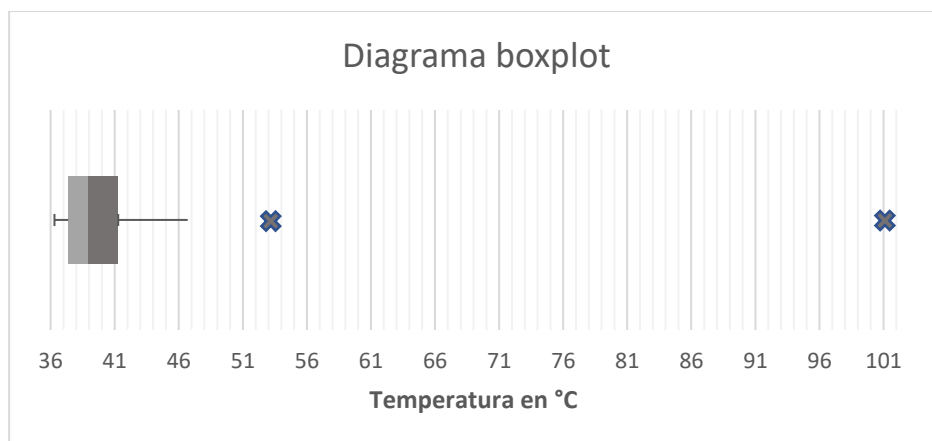
7	Tanque de agua No. 2	N/A	Trampa de vapor termostática	117.4	118	En buen estado
8	Tanque de agua No. 3	N/A	Trampa de vapor termostática	118.5	118	En buen estado
9	Tanque de agua No. 4	N/A	Trampa de vapor termostática	120.2	118	En buen estado
10	Área de Calderas	N/A	Aislamiento térmico de tubería de conducción de vapor	90.8	43.9	Mal estado debido al tiempo de servicio, ocasiona pérdida de energía

Fuente: elaboración propia.

3.2. Análisis estadístico de temperaturas

El presente análisis está basado en los rangos de las temperaturas obtenidas de las termografías realizadas a los equipos considerados como críticos para este estudio y así demostrar la utilización del diagrama boxplot para el análisis de mencionados equipos y partes de la División de Ingeniería del Hospital Centro Médico Militar.

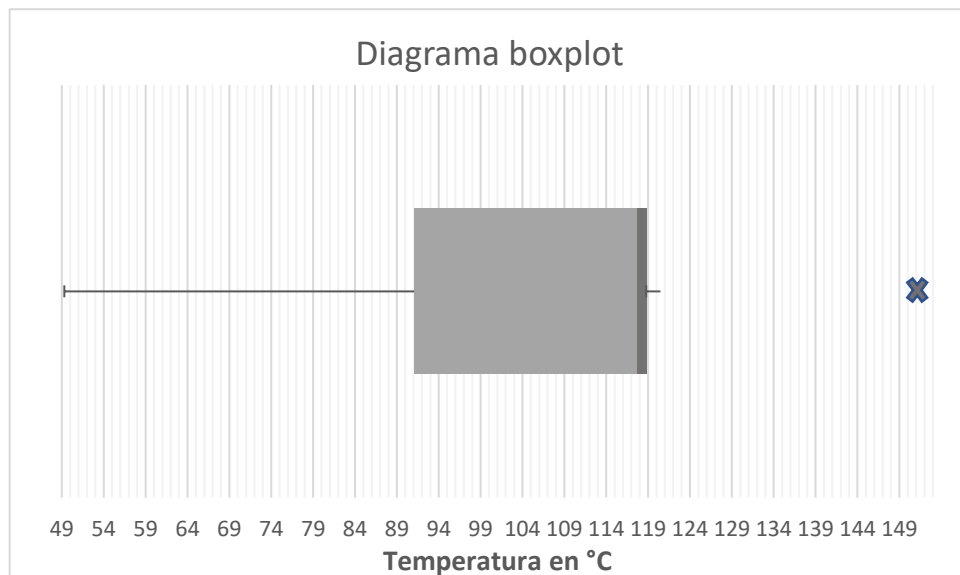
Figura 28. Rango de temperaturas en grados C° de elementos eléctricos



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Los datos del diagrama demuestran los valores de temperatura de los equipos eléctricos críticos del generador de vapor, la tendencia se mantiene de los 36 °C a los 46.7 °C, indicando con esto que un alto porcentaje se mantiene en una temperatura estable de operación, sin embargo, existen dos equipos eléctricos que con datos atípicos como lo es la fase No. 3 de contactor de panel de control de motor de ventilador de tiro forzado con temperatura de 53.5 °C y el Fusible de la fase No. 3 de tablero eléctrico trifásico con temperatura de 101 °C, los cuales requieren su reparación inmediata por presentar un peligro para el desempeño del generador.

Figura 29. **Rango de temperaturas en C° de partes críticas del generador de vapor**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel

Los datos del diagrama demuestran los valores de temperatura de las partes críticas del generador de vapor, la tendencia se mantiene de los 49 °C a los 120.2 °C, indicando con esto que un alto porcentaje se mantiene en una temperatura no recomendada ya que esto genera pérdidas energéticas y

eficiencia en las paredes del generador, sin embargo, se encontró una temperatura muy elevada de 153 °C que demuestra que uno de las tres válvulas de seguridad cuenta con fuga de vapor, ocasionando pérdida del fluido energético.

3.3. Discusión de resultados

Para tener una imagen del estado de todos los equipos críticos de los equipos de generación y distribución de vapor, el encargado del Departamento Mecánico Industrial tendría que utilizar esta herramienta de estado de arte para verificar los puntos calientes de los equipos antes mencionados.

En el análisis estadístico de las termografías realizadas, se observó el comportamiento de los equipos eléctricos, los motores siendo de diferente potencia se encontraban en condiciones aceptables para su funcionamiento, a lo que se refiere a los tableros eléctricos del generador se observó el aumento de temperatura a un estado crítico de uno de los fusibles de las tres fases y el contactor que controla el ventilador de tiro forzado presentaba una elevada temperatura de funcionamiento en una de sus fases, con esto se demuestra que el uso de la termografía como herramienta de mantenimiento preventivo de una forma técnica y profesional puede ser de mucha utilidad para determinar fallos próximos a ocurrir y así evitar paros repentinos costosos y que paralicen las actividades hospitalarias.

Para las tendencias estadísticas de las partes del generador de vapor y su sistema de distribución presentaron una variación de rangos de temperatura muy amplia respecto a la temperatura recomendada y la temperatura con la que se encontraban operando, siendo esta más elevada, ya que se observaron puntos calientes en diferentes lugares, teniendo esto como resultado pérdidas

energéticas por falta de mantenimiento al material refractario y sellos de las compuertas frontal y trasera, asimismo el material aislante de la tubería de distribución muestra en la toma termográfica que su tiempo de vida útil llego a su límite permitiendo el escape de calor y energía térmica, así también aumentando el riesgo de una perforación del material refractario provocando un accidente que puede ser lamentable.

4. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

En el presente capítulo se describe la propuesta de solución para el problema investigado. Se muestran las etapas para el diseño del plan de mantenimiento basado en el análisis termográfico para el equipo de generación distribución de vapor del Centro Médico Militar, finalizando con la puesta en marcha del plan.

4.1. Propuesta del plan de mantenimiento

En el plan preventivo de mantenimiento desarrollado, el cual abarca inspecciones visuales, chequeos superficiales, verificaciones en campo, tomas termográficas y su posterior análisis por medio de personal calificado para la tarea y así sea de una sencilla interpretación y lectura para el personal de operadores, ya que no existe personal capacitado para llevar a cabo el análisis se considera oportuno tercerizar esta acción para obtener un mejor resultado.

Un programa de inspección termográfica tiene por objetivo reducir el riesgo de paradas no programadas, aumentar la productividad, mejorar la seguridad y clasificar y definir tendencias de los historiales térmicos. Usualmente una falla tiene un tiempo de deterioro lento, debido a los esfuerzos que se va sometido el material y las curvas de carga, no uniformes, que debe llevar a cabo en un proceso.

4.1.1. Metodología para el análisis termográfico

Neita, L. (2011) recomiendan este tipo de metodología para la realización de termografías a los equipos eléctricos y partes críticas de los generadores de vapor, las cuales fueron planteadas en la Tabla IX y Tabla X.

- Establecer las órdenes de trabajo para la realización de las inspecciones termográficas, teniendo en consideración la selección del equipo a inspeccionar, establecer las prioridades y frecuencias de inspección, diseñar la ruta a seguir y hacer seguimiento de los resultados obtenidos, analizar las tendencias térmicas en el ciclo de vida de los equipos y componentes inspeccionados, entre otras.
- Revisión de la Orden de Trabajo (OT) para la ejecución de la inspección termográfica de los equipos en los respectivos sitios de la planta, si no se encuentra la OT se debe generar, para poder realizar la inspección. (Anexos)
- Identificación de la ruta de trabajo a realizar y revisión de los historiales térmicos de los equipos de la ruta.
- Revisión del estado de la cámara y sus componentes, la carga de la batería y de las baterías de repuesto, adicionalmente los elementos de medición de las condiciones del entorno como pirómetro óptico, voltímetro, pinza amperimétrica, entre otros.
- En el sitio de la inspección se debe identificar los equipos a examinar y los parámetros de compensación del entorno necesarios, según el tipo de cámara termográfica a emplear: temperatura ambiente, distancia de

observación, emisividad, humedad relativa y temperatura reflejada. Antes de abrir cualquier tablero o casilla se debe hacer un barrido de todos los tableros o casillas para reconocer si hay una zona con una temperatura alta que advierta una precaución adicional antes de abrirla.

- Ejecución de la inspección termográfica a los equipos y partes críticas, teniendo en cuenta las variables de cada equipo que pueden afectar los resultados especialmente el enfoque, la temperatura ambiente, la humedad relativa, la emisividad del equipo, la distancia al equipo y el rango de temperaturas. También, se debe mantener las medidas de seguridad y equipo de protección personal.
- En el momento de las tomas de los termogramas, se recomienda llenar el formato de inspección con los parámetros, observaciones de cada equipo y permite llevar un registro ordenado de éstos, facilitando el análisis posterior de las imágenes térmicas y disminuyendo los errores en la generación de los reportes, al igual, se recomienda tomar una foto digital del equipo para ser más específico cuando se cree el informe. (Anexos)
- Cuando se concluye la ruta de inspección se procede a finalizar la orden de trabajo.
- Una vez se descarguen las imágenes en el software termográfico empleado para el análisis posterior de los termogramas de forma individual teniendo en cuenta las normas, la tendencia térmica del equipo, con el fin de establecer el grado de severidad en que se encuentra los elementos inspeccionados.

- Finalizado el análisis se elaboran los reportes respectivos y se actualiza el historial térmico de los equipos. Si del análisis anterior se establece una falla, se genera la orden de trabajo para el mantenimiento respectivo. Asimismo, toda esta información debe ser archivada para su control de tendencias.
- Finalizado el mantenimiento correctivo del equipo o equipos se recomienda hacer una re-inspección termográfica de estos para confirmar que se ha corregido la falla y establecer nuevos parámetros de funcionamiento los cuales se deben mantener monitoreados para definir futuras intervenciones en el equipo.

4.1.2. Procedimiento para tomas termográficas

Se detallará el procedimiento para realizar las tomas como parte de la gestión del mantenimiento, basado en el análisis termográfico para los equipos de generación y distribución de vapor del Centro Médico Militar.

- Establecer un rango de temperaturas de los equipos o partes a inspeccionar.
- Comprobar la resolución del puntero, el tamaño, detalle; siempre con las medidas de seguridad necesarias según el objeto a inspeccionar.
- Ingresar el dato de distancia en la cámara (si existe esa opción) de los objetos a inspeccionar.
- Enfocar el objeto a inspeccionar.

- Medir, compensar e introducir los parámetros de emisividad y temperatura reflejada.
- Guardar las fotografías reales y térmicas.
- Analizar los termogramas con un *software* especializado para determinar los criterios de severidad de los equipos o partes.
- Generar reportes de las anomalías encontradas.

4.1.3. Cronograma trimestral de termografía para equipos eléctricos

A continuación, se muestra la tabla que contiene el cronograma de termografías para equipos eléctricos del generador, las tomas serán trimestrales.

Tabla XVII. Cronograma trimestral de termografía para equipos eléctricos

No	Equipo matriz	Equipo auxiliar	Enero	Abril	Julio	Octubre
1	Generador de vapor	Motor de ventilador de tiro forzado	x	x	x	x
2	Generador de vapor	Motor de bomba de aire	x	x	x	x
3	Generador de vapor	Tablero eléctrico trifásico	x	x	x	x
4	Tanque de agua	Motor eléctrico de bomba de agua que alimenta caldera No. 2.	x	x	x	x

Continuación tabla XVII.

5	Generador de vapor	Panel de control de motor de ventilador de tiro forzado	x	x	x	x
6	Tanque de diario	Motor eléctrico de bomba para trasiego de combustible bunker	x	x	x	x
7	Tanque de bunker	Motor eléctrico No. 1 de bomba para trasiego de combustible bunker	x	x	x	x
8	Tanque de bunker	Motor eléctrico No. 2 de bomba para trasiego de combustible bunker	x	x	x	x

Fuente: elaboración propia.

4.1.4. Cronograma bimestral de termografía para partes del generador

A continuación, se muestra la tabla que contiene el cronograma de termografías para diferentes partes del generador, las tomas serán bimestrales.

Tabla XVIII. **Cronograma bimestral de termografía para diferentes partes críticas**

No	Equipo matriz	Parte auxiliar	Febrero	Mayo	Agosto	Octubre	Diciembre
1	Generador de vapor	Pared refractaria delantera	x	x	x	x	x
2	Generador de vapor	Pared refractaria trasera	x	x	x	x	x
3	Generador de vapor	Cara lateral derecha	x	x	x	x	x
4	Generador de vapor	Válvulas de seguridad	x	x	x	x	x

Continuación tabla XVIII

5	Área de cocina	Trampa de vapor termodinámica	x	x	x	x	x
6	Tanque de agua No. 1	Trampa de vapor termostática	x	x	x	x	x
7	Tanque de agua No. 2	Trampa de vapor termostática	x	x	x	x	x
8	Tanque de agua No. 3	Trampa de vapor termostática	x	x	x	x	x
9	Tanque de agua No. 4	Trampa de vapor termostática	x	x	x	x	x
10	Área de Calderas	Aislamiento térmico de tubería de conducción de vapor	x	x	x	x	x

Fuente: elaboración propia.

4.2. Metodología de divulgación

La divulgación de la propuesta del plan de gestión de mantenimiento se hará del conocimiento al Director del Centro Médico Militar, para que este enterado de la propuesta del plan y sus beneficios, asimismo se hará del conocimiento del Jefe de la División de Ingeniería y secciones subordinadas por medio de un trifoliar, este se redactará con un lenguaje simple y con imágenes explicativas para mejor comprensión del personal técnico.

4.3. Análisis externo

Los resultados obtenidos en el presente trabajo de los análisis termográficos realizados a los equipos y partes considerados críticos del generador de vapor y su sistema de distribución son como lo menciona Jimenez, R., Madrigal, J. y

Lapido, M. (2016) y Palacios, Peña e Hidalgo (2015), su descripción del trabajo entre las diferentes aplicaciones del uso de la termografía, indica que es utilizada para determinar las pérdidas por transferencia de calor en las paredes de la caldera.

Su relación con el presente trabajo es la determinación a través de imágenes infrarrojas de áreas críticas del generador donde se hizo evidente la falta de aislamiento térmico tanto en las paredes laterales, pared refractaria frontal y posterior y aislamiento de tuberías de conducción del fluido térmico, teniendo en puntos elevadas temperaturas que no son semejantes al resto del objeto estudiado.

Pérez, Martínez, Reyes y Hernández (2014), expresan en su descripción del trabajo de procesos de generación de vapor para cubrir diferentes necesidades, el trabajo realizado con el análisis termográfico es la identificación de inconsistencias en las paredes y el refractario con el apoyo de esta herramienta, esto para la planificación y cumplimiento del plan de mantenimiento realizando el paro del equipo programáticamente.

Comparando los resultados obtenidos con esta investigación se identificaron las mismas inconsistencias en las paredes refractarias por la falta de gestión del mantenimiento utilizando esta técnica, asimismo se elaboró un plan de mantenimiento preventivo basado en el análisis termográfico para determinar que este tipo de deterioro en las paredes del generador pueda ser corregido antes que suceda alguna falla interna en el generador.

Olarte, W., Botero, M., y Cañon, B. (2010), indica que la descripción del trabajo en la aplicación de la técnica de análisis de termografía infrarroja es muy utilizada en el mantenimiento preventivo y predictivo, ya que estudia el

comportamiento de la temperatura de los equipos con la finalidad de corroborar si se encuentran operando de manera correcta. Su aporte metodológico permite la detección de fallas en los componentes de los equipos por sus cambios de temperatura en operación y sus resultados compilaron datos de la temperatura obtenida con los equipos en operación sin contacto físico con los mismos.

Comparando esta investigación se determinó la detección de fallas en los equipos y partes auxiliares del generador de vapor estando operación utilizando la técnica de END como lo es la termografía, sin tener contacto físico con los mismos, con esto queda demostrado que el uso de esta técnica para el mantenimiento preventivo nos puede indicar el comportamiento en la temperatura de los equipos y si se encuentra operando de manera correcta.

Muñoz, Pencue y León (2009), expresan en su descripción del trabajo muestran la termografía infrarroja como una herramienta poderosa en las manos de personal calificado, su aporte práctico es su utilización para realizar mantenimientos preventivos a equipos y herramientas, los costos de toma de fotografías infrarrojas al inicio eran muy altos, hoy se ha tornado más accesible económicamente este tipo de tecnología de estado de arte; así como su aplicación para su estudio de las partes que son sometidas a estrés térmico, eléctrico y mecánico en equipos industriales con el afán de establecer puntos con elevada temperatura a la sugerida por el fabricante esto con el afán de disminuir los paros por mantenimiento correctivo.

Si se compara a Muñoz, Pencue y León (2009) con el presente trabajo, se puede decir que la termografía es una herramienta de estado de arte para realizar mantenimientos preventivos, tal y como se efectuaron en esta investigación, presentado resultados de temperaturas elevadas consideradas como severas y

así prevenir paros por fallas en los equipos eléctricos y partes críticas del generador.

Vavrin, Brown y Kemme (2007), definen en su descripción del trabajo en la central de calefacción ubicada en Fort Wainwright, Alaska, que el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América realizó un estudio de mantenimiento preventivo y de disponibilidad demostrando que el uso termografía utilizada para evaluación del equipo, es un método para determinar si existen fallas esperando a ocurrir, se pueden detectar motores sobre cargados, rodamientos con alta temperatura y conexiones eléctricas entre otros.

Comparando los resultados del estudio antes mencionado de Vavrin, Brown y Kemme (2007), se puede expresar que se identificaron fusibles de cajas eléctricas con temperaturas críticas, contactores con fases conteniendo temperaturas elevadas y motores eléctricos con temperatura normal de operación no teniendo ningún tipo de severidad, esto permite el ahorro en costos de reparación de equipos antes de que estos fallen u ocurra cualquier tipo de avería que presente una falla catastrófica y el corte del fluido energético a los distintos departamento que requieren de la demanda.

4.4. Análisis interno

En el presente trabajo de investigación se demostró que la gestión de mantenimiento preventivo, basado en el análisis de termografía infrarroja como una herramienta de estado de arte, es fundamental para determinar algún tipo de falla esperando a ocurrir y con esto reducir costos y tiempos de reparación, así elevar la disponibilidad de los equipos de generación de vapor.

Con esto no se cuenta con una validez interna, debido a que el muestreo de equipos no es aleatorio ni representativo para los equipos auxiliares del generador de vapor y sistema de distribución. Para la determinación de los equipos críticos se realizó un análisis y matriz de criticidad descritos anteriormente en la Tabla IX y Tabla X, según la experiencia de los operadores, ya que no se cuenta con este tipo de análisis, lo cual debería ser de suma importancia para el encargado de la Sección de Mecánica Industrial de la División de Ingeniería.

Se localizó por medio del análisis termográfico puntos calientes en los equipos y partes críticas con temperaturas severas, lo cual demuestra que el presente trabajo fue factible y de suma importancia para la futura inspección de los equipos utilizando esta herramienta de estado de arte.

CONCLUSIONES

1. Se realizó inspección de disponibilidad y funcionamiento al generador de vapor No. 2, por un periodo de cuatro meses, obteniendo un promedio de disponibilidad máxima del equipo de 90.56 %. Asimismo, se implementó un formulario de fallas o mantenimientos para registrar los eventos que puedan ocurrir y llevar un control de la disponibilidad, con esto poder determinarla de una forma más exacta cuando se requiera.
2. Las tendencias de rangos de temperatura fueron identificadas en el momento de realizar las termografías infrarrojas, teniendo como resultado que los equipos eléctricos, paredes del generador y sistema de distribución reportaron temperaturas fuera de los rangos permisibles para este tipo de equipos, presentando un peligro para la disponibilidad y entrega de vapor a los servicios.
3. Se estableció un plan de mantenimiento preventivo basado en el análisis termográfico para los diferentes equipos eléctricos, partes del generador y sistema de distribución, con el objeto de mejorar la disponibilidad y eficiencia de los equipos críticos y partes, para poder identificar posibles fallas o inestabilidad de los equipos. El plan incluye lo que es la metodología del análisis termográfico, procedimientos para tomas termográficas y cronograma trimestral de ejecución.
4. Se estructuró un medio gráfico para dar a conocer el plan de mantenimiento preventivo, este es un trifoliar el cual contiene información de cómo realizar un análisis termográfico, los pasos a seguir para poder darle seguimiento al

procedimiento y la lectura y comparación de resultados por medio de tablas de severidad de temperaturas en equipos eléctricos y temperaturas consideradas estándar para las diferentes partes del generador y su sistema de distribución.

RECOMENDACIONES

1. Implementar el uso de una bitácora y folder de información para los equipos de generación y distribución de vapor de la División de Ingeniería y Mantenimiento del Centro Médico Militar, esto con el afán de llevar un control de las horas de paro por fallas, mantenimientos preventivos y correctivos efectuados y así tener un mejor control de los mismos para obtener la disponibilidad de los equipos y poder realizar un análisis de fallas mecánicas.
2. Realizar el análisis de termografía infrarroja como parte del mantenimiento preventivo a los equipos de generación de vapor y sistema de distribución para determinar si existen fallas esperando a ocurrir, temperaturas elevadas consideradas como severas y así prevenir paros por fallas en los equipos eléctricos y partes críticas del generador; con esto se puede reducir los costos de reparación de equipos antes de que estos fallen u ocurra cualquier tipo de avería que presente una falla catastrófica y el corte del fluido energético a los distintos departamentos que requieren de la demanda.
3. Hacer del conocimiento del personal de operadores y Jefe de la División de Ingeniería de esta herramienta del estado de arte la cual puede ser de muy valioso aporte para determinar el estado de los equipos, asimismo se le pueda dar cumplimiento al plan de mantenimiento basado en el análisis termográfico descrito anteriormente, con el propósito de mejorar la disponibilidad y eficiencia del equipo de generación y distribución de vapor y evitar pérdidas energéticas que se puedan dar en las paredes y tubería.

4. Beneficiar al personal de la Sección de Mantenimiento Mecánico Industrial y operadores de calderas con un medio gráfico, para dar a conocer el plan de mantenimiento preventivo y al momento que personal certificado realice las tomas y posteriores análisis termográficos se le pueda dar seguimiento al procedimiento y ya contar con un material de apoyo para supervisión y revisión de los resultados obtenidos.

REFERENCIAS

1. Asme. (2017). *Boiler and pressure vessel code*. Recuperado el 9 de Noviembre de 2019, de <https://www.asme.org/codes-standards>.
2. Baleagas, D. (Octubre de 2007). *Termografía Infrarroja : una técnica multifacética para la Evaluación No Destructiva (END)*. IV Conferencia Panamericana de END, 1-14.
3. Betanzos, C. (2013). *Calderas y generadores de vapor*. Mexico: Instituto Politécnico Nacional. Recuperado el 18 de noviembre de 2019, de https://www.academia.edu/24174940/_GENERADORES_DE_VAPOR_.
4. Botero, C. (1993). *Manual del mantenimiento* (Vol. 47). Bogota, Colombia: Fedemetal. Recuperado el 14 de noviembre de 2019, de https://www.researchgate.net/publication/321353976_Manual_de_mantenimiento_Parte_I_que_es_el_mantenimiento.
5. Cañada, M., y Royo, R. (2016). *Termografía Infrarroja Nivel II (END)*. Madrid, España: Fundación Confemetal. Recuperado el 17 de Agosto de 2019.
6. Cleaver-Brooks. (2009). *Packaged boiler, Operation, Service and Parts Manual*. Recuperado el 19 de 11 de 2019, de <https://cleaverbrooks.com/education-and-training>.

7. Eberhard, F. (2012). *Comparativa de caldera pirotubular y caldera acuotubular*. Nürnberg: Bosch Industriekessel. Recuperado el 19 de 11 de 2019.
8. Fernández, M., García, M., Alonso, G., Cano, J., & Solares, J. (1998). *Técnicas para el mantenimiento y diagnóstico de máquinas eléctricas rotativas*. Barcelona, España: Marcombo. Recuperado el 14 de Noviembre de 2019.
9. Flir-Systems. (17 de Agosto de 2019). *Camaras Termográficas Flir*. Recuperado el 19 de Noviembre de 2019, de <https://www.flir.com/browse/professional-tools/thermography-cameras/>.
10. Gómez, F. (1998). *Tecnología del mantenimiento industrial*. Murcia, España: Servicio de publicaciones, Universidad de Murcia. Recuperado el 14 de noviembre de 2019.
11. González, J. (2013). *Teoría y Práctica de Mantenimiento Industrial Avanzado*. Madrid, España: Fundación Confemetal. Recuperado el 17 de Agosto de 2019.
12. Jimenez, R., Madrigal, J., y Lapidó, M. (2 de Mayo de 2016). *Método para la evaluación de la eficiencia e impacto ambiental de un generador de vapor*. Ingeniería Energética, XXXVII(2), 135-144. Recuperado el 9 de Agosto de 2019, de <https://www.redalyc.org/pdf/3291/329145824007.pdf>.


13. Madrid, F. d. (2011). *Guía de la termografía infrarroja, Aplicaciones en ahorro y eficiencia energética*. Madrid: Graficas Arias Montano S.A. Recuperado el 13 de septiembre de 2020.
14. Martíl, I. (24 de Junio de 2016). *Tecnología de los detectores de radiación infrarroja*. Recuperado el 17 de Agosto de 2019, de <https://blogs.publico.es/ignacio-martil/2016/06/24/tecnologia-de-los-detectores-de-radiacion-infrarroja/>.
15. Melgosa, S. (2011). *Guia de la Termografía Infrarroja aplicaciones en ahorro y eficiencia energetica*. Madrid, España: Gráficas Arias Montano S.A. Recuperado el 19 de Noviembre de 2019.
16. Miranda, R. (2018). *Calderas: Clasificación, usos y mecanismos de transferencia de calor*. Puebla: Benemérita Universidad Autónoma De Puebla. Recuperado el 18 de noviembre de https://www.academia.edu/37204691/_calderas_clasificaci%3f93n_usos_y_mecanismos_de_transferencia_de_calor_.
17. Morales, J. (2018). *Metodología para el análisis de fallas en los motores eléctricos por medio del estudio termográfico*. Guayaquil. Recuperado el 13 de septiembre de 2020.
18. Muñoz, A., Pencue, L., y León, J. (2009). *Análisis Termográfico Para La Determinación De Puntos Críticos En Equipos Mecánicos y Eléctricos*. Revista de la Facultad de Ciencias Básicas, 7(1), 1-4. Recuperado el 17 de Agosto de 2019, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90312171013>.

19. Neita, L. (2011). *Principios básicos de la termografía infrarroja y su utilización como técnica para mantenimiento predictivo*. La Paz, Bolivia. Recuperado el 13 de septiembre de 2020.
20. Nieto, E. (2013). *Mantenimiento Industrial Práctico*. Fidestec. Recuperado el 14 de noviembre de 2019, de <https://books.google.com.gt/books?id=M1ddBAAAQBAJ&pg=PA141&dq=mantenimiento+preventivo+industrial&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjVpLPIrevIAhWs1VvKHcT-Db04ChDoAQguMAE#v=onepage&q&f=true>.
21. Olarte, W., Botero, M., y Cañon, B. (Agosto de 2010). *APLICACIÓN DE LA TERMOGRAFÍA EN EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO*. Scientia et Technica, 253-256. Recuperado el 17 de Agosto de 2019.
22. Palacios, J., Peña, A., y Hidalgo, V. (Febrero de 2015). *Técnicas de Gestión Energética en Sistemas de Vapor*. Revista Politécnica, 35(3), 1-8. Recuperado el 13 de Octubre de 2019, de http://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/348.
23. Pérez, M., Martínez, F., Reyes, H., y Hernández, M. (Octubre de 2014). *Aplicación de la Termografía en la inspección y el diagnóstico de paredes de generadores de vapor*. Ciencias Técnicas Agropecuarias, 23(4), 69-75. Recuperado el 1 de Ocutubre de 2019, de <http://www.google.com.cu/url?url=http://www.rcta.unah.edu.cu> <http://www.google.com.cu/url?url=http://www.rcta.unah.edu.cu/index.php/rcta/article/view/323&rct=j&frm=1&q=&esrc=s&sa=U&ei=hKNQVZyAGKyCsQTPj4DYCw&ved=0CBgQFjAB&usg=AFQjCNHN4NDDNxakeqeoY1YPaFKmpxRXXQ>.

24. Santiago, G. (2003). *Organización y Gestión Integral del Mantenimiento*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, S. A. Recuperado el 17 de Agosto de 2019.
25. Spirax Sarco. (2012). *Distribución del vapor Guía de referencia técnica*. Recuperado el 19 de noviembre de 2019, de <http://www.fnmt.es/documents/10179/10666378/Distribucion+del+vapor.pdf/fca09a6d-70ab-da86-5d9d-f19321638315>.
26. Tejaxun, C. (2019). *Desarrollo de un modelo de gestión de mantenimiento a través del monitoreo de condición, utilizando ensayos no destructivos, bajo la norma iso 17359:2011 para la conservación de equipos críticos, en la industria avícola*. Guatemala. Recuperado el 2020 de septiembre de 2020.
27. Vargas, M. (2016). *Análisis de la eficiencia energética aplicado al mantenimiento del sistema de generación y distribución de vapor para la empresa "La Ibérica"*. Tesis de pre-grado, Riobamba. Recuperado el 19 de noviembre de 2019, de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/5180/1/25T00270.pdf>.
28. Vavrin, J., Brown, W., y Kemme, M. (2007). *Preventative Maintenance and Reliability Study for the Central Heating and Power Plant at Fort Wainwright, Alaska*. US Corps of Engineers, Engineers Research and Development Center, Wainwright, Alaska. Recuperado el 17 de Agosto de 2019.


APÉNDICES

Apéndice 1. Orden de trabajo para mantenimiento

 Orden de trabajo para mantenimiento preventivo División de Ingeniería-Centro Médico Militar							
Orden de trabajo No. _____ Fecha: _____							
Tipo de actividad		Solicitado por:		Fecha de solicitud		Especificación	
Serial del equipo:			Aprobado por:			Fecha de aprobación:	
Nombre del equipo:			Ejecutado por:			Fecha de ejecución:	
Prioridad		Marcar X		Descripción:			
		Preventivo					
		Correctivo					
		Predictivo					
		Emergencia					
		Marcar X		Descripción:			
Tipo de falla		Eléctrica					
		Electromecánica					
		Neumática					
		Hidráulica					
		Otra					
Trabajo a realizar:			Mano de obra:		Materiales o repuestos a utilizar:		
Corrección de la falla	Trabajo realizado por	Tiempo	Salario Q.	Costo Q.	Descripción	Cantidad	Unidad
Costo de mano de obra:		Costos de materiales y repuestos:			Total:		
Operador:			Jefe de sección:			Jefe de División:	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Formato para parámetros de temperatura de equipos y parte**

 División de Ingeniería-Centro Médico Militar Parámetros de temperatura de equipos y partes de los generadores de vapor y sistema de distribución									
Orden de trabajo No. _____			Ejecutado por: _____						
Fecha: _____			Descripción del equipo a utilizar: _____						
No.	Descripción de equipo o parte	No. De inventario	Ubicación	Temperatura actual de operación en C°	Temperatura ideal de operación en C°	Severidad	Acción correctiva		
Operador:			Jefe de sección:		Jefe de División:				

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Reporte de termografía infrarroja



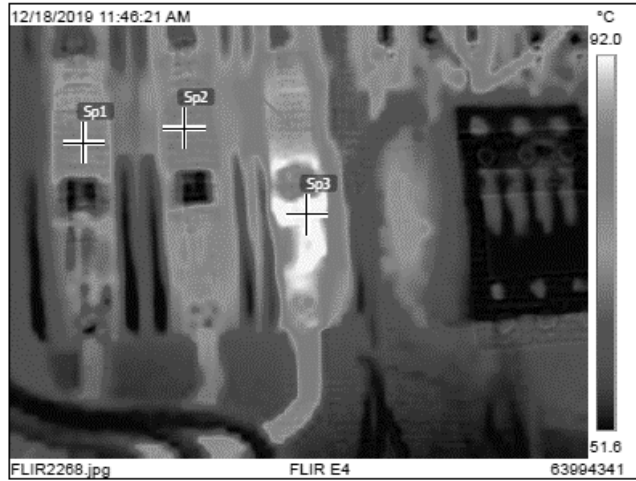
Hospital Centro Médico Militar
División de Ingeniería y Mantenimiento
Reporte de termografía infrarroja
Fusibles de caja trifasica de generador de vapor No. 2

Measurements

Sp1	68.4 °C
Sp2	72.2 °C
Sp3	98.3 °C

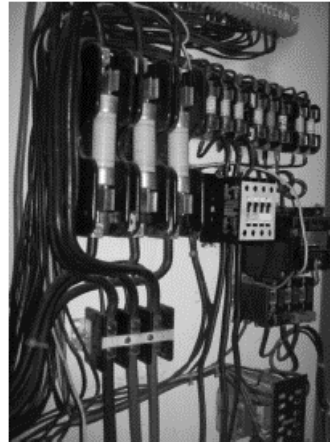
Parameters

Emissivity	0.95
Refl. temp.	20 °C




Diagnostico: temperatura critica en el fusible de la fase No. 3, se recomienda cambio de fusible y verificacion del sistema electrico.

8/10/2012 4:51:37 PM



Apéndice 4. **Formulario para registro de fallas o mantenimientos**

 Formulario para registro de fallas o mantenimientos División de Ingeniería-Centro Médico Militar						
Área:		Proceso:		Operador:		
Fecha de ocurrencia:			Equipo o parte:			
Descripción de la falla o mantenimiento:			Hora de inicio de paro:	Hora finalización paro:		
			Tipo de mantenimiento			
			Correctivo <input type="checkbox"/>	Preventivo <input type="checkbox"/>		
			Consecuencias			
			Tiempo de paro del equipo(min)			
Indicador Afectado						
Acciones realizadas						
Operador:		Técnico de reparación:		Jefe de sección:		
				Jefe de División:		

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Cara externa de folleto para divulgación del plan de mantenimiento

Un programa de inspección termográfica tiene por objetivo reducir el riesgo de paradas no programadas, aumentar la productividad, mejorar la seguridad y clasificar y definir tendencias de los historiales térmicos. Usualmente una falla tiene un tiempo de deterioro lento, debido a los esfuerzos que se va sometido el material y las curvas de carga, no uniformes, que debe llevar a cabo en un proceso.



CMM


Análisis termográfico

Metodología y procedimiento para la realización de termografías a los equipos eléctricos y partes críticas de los generadores de vapor del Centro Médico Militar.

Punto: 59.3 °C
Cuadro: 66.2
Máx.: 65.4
Mín.: 24.3

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Cara interna de folleto para divulgación del plan de mantenimiento



Metodología para realización de análisis termográfico:

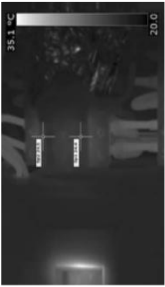




1. Establecer las órdenes de trabajo para la realización de las inspecciones termográficas.
2. Identificación de la ruta de trabajo a realizar y revisión de los historiales térmicos de los equipos de la ruta.
3. Revisión del estado de la cámara y sus componentes.
4. Ejecución de la inspección termográfica a los equipos y partes críticas de los generadores.
5. Llenar el formato de inspección con los parámetros, observaciones de cada equipo.
6. Descargar las imágenes en el software termográfico empleado, con el fin de establecer el grado de severidad en que se encuentra los elementos inspeccionados.
7. Elaborar los reportes respectivos y se actualiza el historial térmico de los equipos.

Las cámaras termográficas son la herramienta perfecta para predecir fallos ya que consiguen hacer visible lo invisible, en una termografía los problemas saltan a la vista de inmediato.

Ejecución de la inspección termográfica:

1. Establecer un rango de temperaturas de los equipos o partes a inspeccionar.
2. Comprobar la resolución del puntero, el tamaño, detalle; siempre con las medidas de seguridad necesarias según el objeto a inspeccionar.
3. Ingresar el dato de distancia en la cámara (si existe esa opción) de los objetos a inspeccionar.

4. Enfocar el objeto a inspeccionar.
5. Medir, compensar e introducir los parámetros de emisividad y temperatura reflejada.
6. Guardar las fotografías reales y térmicas.
7. Analizar los termogramas con un software especializado para determinar los criterios de severidad de los equipos o partes.
8. Generar reportes de las anomalías encontradas

Fuente: elaboración propia.