

Propuesta de una guía de laboratorio para la práctica de termografía infrarroja en la  
Especialización de Gerencia de Mantenimiento de la Universidad ECCI.

Roosvelt García González C.C. 80747248

Juri Andrea Pita Correa C.C. 1023919425

Maximino Quemba González C.C. 79877829

Asesor

Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Miguel Ángel Urián

Programa Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Dirección de Postgrados

Universidad ECCI

Bogotá-Colombia, 2019

Propuesta de una guía de laboratorio para la práctica de termografía infrarroja en la  
Especialización de Gerencia de Mantenimiento de la Universidad ECCI.

Roosvelt García González C.C. 80747248

Juri Andrea Pita Correa C.C. 1023919425

Maximino Quemba González C.C. 79877829

Trabajo de grado para optar por el título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Programa Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Dirección de Postgrados

Universidad ECCI

Mayo, 2019

## **Dedicatoria**

Este trabajo está dedicado a nuestras familias por las que vale todo esfuerzo y sacrificio y a nuestra profesión que nos ha dado la satisfacción de aplicar el ingenio, las ciencias básicas y la tecnología al servicio de la industria y nos llevó a retornos a dar un paso más al especializarnos en Gerencia de Mantenimiento.

## **Agradecimientos**

A Dios primeramente por su bendición, provisión y sabiduría para enfrentar el reto del posgrado.

Al Ingeniero Especialista Miguel Ángel Urián nuestro tutor por su paciencia, dedicación y orientación tan profesional en la construcción del trabajo de grado.

A la universidad ECCI y su departamento de posgrados por considerar una especialización práctica y bien pensada en las necesidades del mercado laboral Colombiano, aportando no solo las habilidades gerenciales tan complementarias a la ingeniería sino las de mantenimiento que dan un plus en cualquier industria.

A todos mil gracias.

## **Introducción**

Este trabajo de investigación para optar al título de Especialista, tiene como objetivo presentar la propuesta de una guía de laboratorio de termografía aplicada y orientada a las necesidades de la especialización en Gerencia de Mantenimiento de la Universidad ECCI como parte de las prácticas de ensayos no destructivos que hacen parte del plan de estudios, así mismo exponer los beneficios y buenas prácticas para el uso de las cámaras termográficas Fluke Ti90 y Ti100 disponibles para uso de los estudiantes de posgrado.

La termografía como ensayo no destructivo resulta un método muy útil y menos invasivo para determinar posibles daños en la maquinaria y circuitos eléctricos, motores y mecanismos en los que los cambios de temperatura nos pueden indicar posibles fallos, escapes, filtraciones y en general un mal funcionamiento que se hacen más evidentes gracias al uso de la cámara termográfica.

Sus beneficios son muy tangibles en la práctica de mantenimientos predictivos y preventivos, sin embargo, en este trabajo de investigación se evalúan diferentes usos en la industria a través del estudio de estados del arte nacional e internacional que resultarán reveladores a la hora de entender otros campos de acción de la termografía, que enriquecerán el punto de vista del Gerente de Mantenimiento y abrirán el espectro de uso de las herramientas tecnológicas a su disposición.

El presente trabajo de grado aborda la termografía desde su historia, teoría termodinámica, cálculo de las variables, marco normativo, certificaciones, usos en la industria y en general todos los aspectos que permitan ampliar el conocimiento de la termografía, sentando las bases para su aplicación en la guía de laboratorio diseñada.

En el documento entregable se abordan además las instrucciones de los manuales Fluke para el uso de la cámara Termográfica y un apéndice A de una ficha de termografía que se puede usar para cualquier tipo de mantenimiento y máquina en el que se requiera registrar los hallazgos de un análisis termográfico.

En el Marco Metodológico se consignan las respuestas de las encuestas realizadas a los docentes de la especialización en Gerencia de Mantenimiento, sus puntos de vista y aportes la construcción de la guía de laboratorio, resaltando los aspectos importantes a considerar desde su experiencia; en el mismo numeral se encuentran también dos diferentes opciones para la certificación como termógrafo nivel I y nivel II disponibles en proveedores locales de la ciudad de Bogotá, el pensum de los cursos y requisitos de aprobación.

En el análisis financiero del numeral 8 se muestra la tabla de depreciación de los activos, muy útiles a la hora de analizar los costos de adquisición y mantenimiento lo que hace aún más evidente la necesidad de una guía de laboratorio que procure las buenas prácticas en la manipulación de los equipos.

## **Resumen**

El presente trabajo de investigación justifica la necesidad de la construcción de una guía de laboratorio de termografía para la especialización en Gerencia de Mantenimiento de la Universidad ECCI, contiene el marco teórico como base científica para su concepción, el marco normativo, los procesos de certificación como termógrafo en Colombia y el resultado de las encuestas realizadas dentro del marco metodológico a los docentes de la especialización y sus valiosos aportes que finalmente complementaron el diseño de la guía ajustándola a las necesidades del plan de formación y de la industria por supuesto ya que el enfoque es práctico y funcional e intencionalmente orientado a el uso en ambientes de mantenimiento y productivo para los que los ensayos no destructivos son fundamentales evitando paradas de máquina innecesarias y costosas.

Contiene también una muy interesante recopilación de estados del arte nacionales e internacionales que abordan diferentes usos en la industria de la termografía infrarroja que abren el espectro del uso de esta herramienta en entornos prácticos y con casos de éxito probados y bien documentados por académicos e ingenieros de diferentes especialidades.

Como entregable nos presenta la propuesta de un documento muy completo con el resumen del manual de uso de las cámaras termográficas, una guía de laboratorio para los estudiantes y una ficha termográfica como material de soporte en el que se consignarán los resultados de las pruebas y la aplicación de los beneficios descritos de la termografía infrarroja como ensayo no destructivo en labores de mantenimiento predictivo en la industria.

**Palabras Clave:** Temperatura, Termografía, Espectro Infrarrojo, Mantenimiento Predictivo, Ensayo No Destructivo, Cámara Termográfica, Termógrafo.

## Contenido

3.	Título .....	24
4.	Problema de investigación. ....	24
4.1.	Descripción del problema: .....	24
4.2.	Planteamiento del problema .....	25
4.3.	Sistematización del problema .....	26
5.	Objetivo de la investigación. ....	26
5.1.	Objetivo General: .....	26
5.2.	Objetivos específicos: .....	26
6.	Justificación y Delimitación: .....	27
6.1.	Justificación de la investigación: .....	27
6.2.	Delimitación de la investigación: .....	28
6.3.	Limitaciones para el desarrollo de la investigación: .....	28
7.	Marco Referencial. ....	29
7.1.	Estado del Arte. ....	29
7.1.1.	Estado del Arte Nacional. ....	29
7.1.2.	Estado del arte internacional.....	33
7.2.	Marco Teórico .....	39
7.2.1.	Mantenimiento Predictivo .....	39
7.2.2.	Historia de la termografía .....	41



7.2.3.	Tipos de termografía.....	44
7.2.4.	Cámara termográfica .....	44
7.3.	Marco Normativo .....	50
8.	Marco Metodológico .....	53
8.1.	Recolección de la información .....	53
8.1.1.	Tipo de investigación.....	53
8.1.2.	Fuentes obtención de la información.....	53
8.1.3.	Herramientas.....	53
8.1.4.	Metodología de la investigación.....	54
8.1.5.	Información recopilada.....	55
8.2.	Análisis de la información.....	64
8.3.	Propuesta solución.....	65
9.	Resultados .....	66
10.	Análisis financiero (ROI).....	66
11.	Conclusiones y recomendaciones.....	69
11.1.	Conclusiones.....	69
11.2.	Recomendaciones .....	70
12.	Bibliografía.....	71

## Tabla de ilustraciones

1. Ilustración 5-1 Pasos a seguir para implementar un plan de predictivo; Fuente: Notas de clase Gerencia de Mantenimiento I Universidad ECCI .....	41
2. Ilustración-1 Friedrich Wilhelm Herschel año 1800, Fuente: de Revista (FLIR, 2011)....	42
3. Ilustración-2 Experimento pasar un rayo de luz solar a través de un prisma de cristal para descomponerlo en su espectro y medir la temperatura de cada uno de sus colores Fuente Comunidad de Madrid (Madr, 2011) .....	43
4. Ilustración-3 Ondas Electromagnéticas Fuente: Comunidad de Madrid (Madr, 2011) ...	45
5. Ilustración-4 Emisividad (TESTO, 2008) .....	46
6. Ilustración-5 Emisión ( $\epsilon$ ), Reflexión ( $\rho$ ), Transmisión ( $\tau$ ), Imagen de revista (TESTO, 2008).....	46
7. Ilustración-6 Espectro en toda su amplitud Fuente: Comunidad de Madrid (Madr, 2011) .....	48
8. Ilustración-7 Espectro Electromagnético Fuente de revista Flir (FLIR, 2011).....	49

## Lista de Tablas

1. Tabla-1 Normatividad ISO aplicable a práctica de Termografía (Normatividad ISO Termografía, 2018)..... **¡Error! Marcador no definido.**
2. Tabla-2 Normatividad ASTM aplicable a práctica de Termografía (Norma ASTM, 2017) ..... **¡Error! Marcador no definido.**
3. Tabla-3 Normatividad Europea UNE aplicable a práctica de Termografía (UNE Normas Certicalia, 2018) ..... **¡Error! Marcador no definido.**
4. Tabla-4 Normatividad ANSI-ASNT aplicable a práctica de Termografía (ASNT, s.f.) ..... **¡Error! Marcador no definido.**
5. Tabla-5 Encuestas a docentes Universidad ECCI de autoría de los miembros del equipo ..... **¡Error! Marcador no definido.**
6. Tabla-6 Pensum módulo Nivel I Termografía (TransEquipos, s.f.)...**¡Error! Marcador no definido.**
7. Tabla-7 Pensum módulo Nivel II Termografía (TransEquipos, s.f.) .**¡Error! Marcador no definido.**
8. Tabla-8 Pensum módulo Nivel I Termografía ITC (ECI, s.f.) .....**¡Error! Marcador no definido.**
9. Tabla-9 Pensum módulo Nivel II Termografía ITC (ECI, s.f.) .....**¡Error! Marcador no definido.**
10. Tabla-10 Depreciación cámara FLUKE Ti100 de autoría de los miembros del equipo de investigación..... **¡Error! Marcador no definido.**
11. Tabla-11 Depreciación cámara FLUKE Ti90 de autoría de los miembros del equipo de investigación..... **¡Error! Marcador no definido.**



## **Título**

Propuesta de una guía de laboratorio para la práctica de termografía infrarroja en la Especialización de Gerencia de Mantenimiento de la Universidad ECCI.

### **1. Problema de investigación.**

#### **1.1. Descripción del problema:**

La Universidad ECCI pone a disposición de los estudiantes de Especialización en Gerencia de Mantenimiento cámaras de termografía infrarroja como parte de las prácticas de laboratorio en ensayos no destructivos, emulando las actividades que ejecutan termógrafos en diferentes áreas de la industria en labores de diagnóstico y mantenimiento. Como parte del proceso pedagógico de la Especialización, se requiere documentar la funcionalidad de estos equipos y desarrollar competencias además de buenas prácticas durante su uso en las sesiones de trabajo.

También se necesita fortalecer desde el método el registro de las prácticas de laboratorio de la especialización ya que dentro de los requerimientos para solicitud, otorgamiento y renovación de registro calificado en programas de posgrado el ministerio de educación establece en el párrafo 2.2 sobre *Estructura Administrativa y Académica* en su descripción que: se debe fomentar “*la apropiación de las herramientas teóricas y metodológicas y de las habilidades propias de una disciplina, profesión u oficio*” (Educación, 2010) El mismo documento en el párrafo 3.5 sobre Los medios educativos establece que dentro de los recursos con los que deben contar las instituciones se contemplan los de tipo bibliográfico para laboratorios.

De las cámaras termográficas se tienen los manuales del fabricante, donde se describen las condiciones particulares de funcionamiento, pero insuficientes para desarrollar las competencias

en los estudiantes de posgrado, se necesita un procedimiento para manipularlas de manera más técnica, aprovechando todas las funcionalidades y consignar en un documento los datos de interés del orientador, ver las mediciones no solo como el resultado de la práctica sino como parte integral de toda la investigación, determinando así las condiciones más óptimas para la medición, teniendo en cuenta factores ambientales, especificaciones del espectro infrarrojo para la lectura de la cámara, significado de la paleta de colores, limitaciones y beneficios de la herramienta y cómo en el entorno del laboratorio se pueden obtener los mejores resultados de la experiencia. (Educacion, 2010)

Por último, el reglamento de los laboratorios de Electrónica y Mecánica de la Universidad ECCI en el artículo 8 sobre la seguridad en el inciso 3 recomienda “*se deben leer las instrucciones especificadas en el documento de trabajo práctico y no distraerse en el transcurso de este.*” A la fecha el documento para la práctica de termografía no existe.

Lo anterior conlleva a determinar que requiere estandarizar y documentar las prácticas de termografía, cumplir con el reglamento de laboratorios de la universidad y que aporte y alcance mayor al que tienen los reportes que presentan los estudiantes en la actualidad.

## **1.2. Planteamiento del problema**

De acuerdo con el problema descrito anteriormente se plantea la pregunta de investigación: ¿A través de qué instrumento o mecanismo se puede aportar a los estudiantes de posgrado en el desarrollo de destrezas necesarias para el uso teórico-práctico de ensayos no destructivos basados en termografía infrarroja y sus beneficios en los procesos de mantenimiento?

### **1.3. Sistematización del problema**

Se busca también un mecanismo para resolver las siguientes inquietudes puntuales en el uso y funcionalidad de la cámara termográfica.

- ¿Cómo sintetizar la información de los manuales descritos por el fabricante con el fin de explorar y comprobar las funciones de las cámaras termográficas Fluke Ti90 y Ti100 disponibles en los laboratorios de la ECCI?
- ¿A través de qué mecanismo se debe fomentar el desarrollo de habilidades técnicas y prácticas mediante la observación, registro y análisis de los casos de uso de la cámara termográfica?
- ¿Qué método pedagógico se pueden usar para consignar los resultados de la experiencia de los estudiantes en el laboratorio?

## **2. Objetivo de la investigación.**

### **2.1. Objetivo General:**

Diseñar una guía de laboratorio orientada al uso adecuado de las cámaras termográficas Fluke Ti90 y Ti100, contribuyendo al desarrollo de competencias en el programa de formación, aportando un método pedagógico que permita analizar casos prácticos en el uso de la termografía.

### **2.2. Objetivos específicos:**

- Identificar la metodología implementada por la Universidad ECCI, en el desarrollo de los laboratorios enfocados a las prácticas de termografía, el material utilizado, y la forma de evaluación y generación de informes por el docente en esta área.

- Estructurar un documento con los resultados obtenidos a través del método científico, la aplicación de las normas, la experiencia de los estudiantes y docentes durante las prácticas, permitiendo al estudiante desarrollar habilidades técnico-prácticas mediante la observación, registro y análisis, de las cámaras termográficas.
- Generar la propuesta de un documento guía para las prácticas de termografía en los laboratorios de la Universidad ECCI, además permitir explorar las diferentes funciones y aplicaciones de las cámaras termográficas Fluke Ti90 y Ti100, enfocadas a la formación pedagógica en la Especialización en Gerencia de Mantenimiento.

### **3. Justificación y Delimitación:**

#### **3.1. Justificación de la investigación:**

El uso de tecnología para el desarrollo de las actividades y como soporte a la gestión de mantenimiento proporciona a las organizaciones ventajas consistentes que generan valor a partir de reducción de las paradas y el incremento de la confiabilidad que trae como consecuencia el seguimiento a la condición de trabajo o a las variables críticas de funcionamiento del equipo sistema o componente al cual se está aplicando.

Una de las tecnologías de uso general y que soporta las actividades predictivas o basadas en condición de la industria en Colombia es la termografía industrial, el conocimiento de los principios básicos de funcionamiento y las utilidades de esta son vitales en la toma de decisiones y planeación de las intervenciones mantenimiento para gestores, ingenieros, técnicos y gerentes de mantenimiento.



Considerando la importancia dentro del enfoque académico y buscando proporcionar bases adecuadas para los profesionales que cursan especialización en Gerencia de Mantenimiento y el desarrollo de sus prácticas, se propone una guía de laboratorio centrada en la correcta manipulación de las cámaras termográficas, para el análisis de resultados (imágenes y rangos), adoptando los lineamientos y normatividad vigente para este tipo de trabajos. Lo anterior como soporte al aprendizaje del estudiante; adicionalmente se convierte en una herramienta de apoyo para los docentes en su propósito de generar las competencias necesarias en termografía como ensayo no destructivo y sus beneficios.

### **3.2. Delimitación de la investigación:**

La propuesta de una guía de laboratorio para el uso de cámaras termográficas será desarrollada dentro de las instalaciones de la Universidad ECCI, en particular el laboratorio de ingeniería Mecánica donde se realizan las prácticas de termografía de la Especialización en Gerencia de Mantenimiento, el proyecto propuesto se desarrollará durante el periodo de noviembre de 2018 a agosto de 2019 y alcanza los casos prácticos de uso que se puedan identificar con maquinaria y equipos disponible dentro de la Universidad.

Para el desarrollo de la guía se contará con las cámaras termográficas Fluke Ti90 y Ti100, sus accesorios y manuales de funcionamiento como parte del material que se busca construir.

### **3.3. Limitaciones para el desarrollo de la investigación:**

Si bien dentro de los laboratorios de la Universidad ECCI se tienen disponibles los equipos para las prácticas de termografía infrarroja, se busca que la guía sirva como orientación al estudiante

en entornos y situaciones a los que están expuestos en la industria, en general por lo que se adaptarán los casos de uso disponibles en ambientes controlados del laboratorio.

Se centrará el diseño de las guías en la información necesaria para la manipulación de los equipos de marca FLUKE adquiridos por la universidad teniendo como referencia el modelo, manual del fabricante específico con sus funciones y descartando otros modelos que se puedan encontrar en el mercado.

## **4. Marco Referencial.**

### **4.1. Estado del Arte.**

#### **4.1.1. Estado del Arte Nacional.**

5.1.1.1 *Aplicación de la termografía infrarroja como método de inspección no destructivo para el mantenimiento predictivo del proceso de extrusión de tubería en PVC.*

El estudiante Didier Aldana Rodríguez de la Universidad Nacional de Colombia, en su tesis para optar al título en maestría de Ingeniería Mecánica, desarrolla mediante lineamientos de inspección por Termografía Infrarroja (IRT) enfocados en el estándar ASTM E 1934-99a, en un equipo de extrusión para tubería PVC, donde se examinaron los componentes eléctricos y mecánicos de la extrusora, además de recolectar muestras en el proceso y terminado del producto, como resultado las imágenes termográficas, permitieron diagnosticar el estado de los componentes y valorar las discontinuidades en la línea de producción. (Rodríguez, 2017).

El caso de estudio sirve como análisis para el desarrollo de una guía de laboratorio en la Universidad ECCI, de la forma cómo se realiza la toma de imágenes termográficas, bajo el estándar ASTM E 1934-99A. Determinando así el desgaste de las piezas en el proceso de extrusión.

*Modelización Térmica, Termodinámica y Experimentación de un motor Ericsson de aire caliente en ciclo de Joule.*

El estudiante <sup>5.1.1.2</sup>Manuel Alejandro Fula Rojas de la Universidad Nacional de Colombia en su tesis para optar por el título Doctor en Energética, Ciencias de Ingeniero (UPPA-Fr) , y Doctor en Ingeniería Mecánica y Mecatrónica (UNAL-Col) hace uso de la termografía infrarroja como medida instantánea de temperatura, el flujo del aire en cilindros de compresión y distensión durante el ciclo Joule, ponderando el número de transferencias térmicas fluido - pared y verificar las similitudes de coeficientes de transferencia. (Rojas, 2015).

El caso de estudio sirve como análisis para el desarrollo de una guía de laboratorio en la Universidad ECCI, ya que usa la termografía infrarroja para hallar resultados en el estudio térmico en los motores Ericsson, estos resultados se comparan con resultados de instrumentos intrusivos como son los termómetros, PT100 y micro termocuplas, para evidenciar cómo la temperatura <sup>5.1.1.3</sup>promedio del aire afecta las mediciones en un entorno no deseado.

*Diagnóstico e identificación de fallas en motores industriales a través del análisis de imágenes termográficas.*

El estudiante Hermes Alexander Fandiño Toro de la Universidad Nacional de Colombia en su tesis de Magister en Ingeniería, realizó tomas de muestras de imágenes de termografía junto con muestras de vibración para evidenciar fallas en los componentes analizados en el proyecto:

desarrollo de un sistema piloto de mantenimiento predictivo en la línea de propulsión de las lanchas patrulleras de la armada nacional mediante el análisis de vibraciones mecánicas e imágenes termografías. (Toro, 2012).

La tesis reseñada sirve como análisis para el desarrollo de una guía de laboratorio en la Universidad ECCI, ya que se pone en práctica la toma de muestras de termografía infrarroja aplicado en los mantenimientos de componentes mecánicos, donde se puede incrementar la precisión del registro de los aumentos de temperatura en las imágenes termográficas tomadas, para permitir una mejor identificación de fallos.

5.1.1.4

*La termografía como herramienta de diagnóstico predictivo para los elementos eléctricos conectados a la red energía.*

Los estudiantes Calet Camacho Bedoya, Diego Fernando Forero Sierra, Héctor Armando Sarmiento Díaz, en su tesis para optar al título de tecnólogo en electricidad de la Universidad tecnológica de Pereira, donde ponen en práctica la toma de muestras de termografía infrarroja en instalaciones eléctricas identificando puntos calientes e identificando fallas en una fase temprana, teniendo como objetivo evitar alteraciones en la producción y la disminución de costes. (Calet Camacho Bedoya, 2017)

El desarrollo de esta tesis de grado sirve como referencia en la elaboración de la guía, por lo que no centra su investigación como la mayoría de los trabajos en análisis temperatura (termografía) de las partes mecánica de los equipos, si no en la afectación de las líneas eléctricas al paso de la corriente y el calentamiento que se produce a través de ellos y que pueden afectar las máquinas de producción generando costos adicionales en los mantenimientos de estos equipos.

### *Sistema de digitalización 3D a partir de visión termográfica*

El estudiante John Alejandro Forero Casallas de la Universidad Nacional en su tesis para obtener el título en Maestría en Ingeniería – Automatización Industrial, identifica las diferentes variables más significativas<sup>5.1.1.5</sup> que arroja la termografía para la digitalización de objetos en 3D realizando varias tomas de muestras y llevándolas a un software donde las digitaliza y genera un modelo a escala en 3D. (Casallas, 2011).

Los resultados de este análisis permiten a través de la termografía ayudar al modelamiento de objetos por medio de su radiación de energía, el espectro electromagnético definirá áreas calientes con diferentes grados de temperatura, haciendo posible el modelamiento de objetos y/o cuerpos a partir de su radiación de energía infrarroja.

#### *5.1.1.6 La termografía infrarroja como herramienta efectiva para detectar áreas musculares dañadas después de correr una maratón.*

Los estudiantes Randall Gutiérrez Vargas, José Alexis Ugalde Ramírez, Daniel Rojas Valverde, Jorge Salas Cabrera, Alejandro Rodríguez Montero y Juan Carlos Gutiérrez Vargas, en el artículo explican como el uso de la termografía como un equipo captador de radiaciones de calor irradiadas por los cuerpos y las recoge en valores de temperatura.

Este artículo ayuda a identificar la manera de realizar pruebas termográficas de forma no invasiva permitiendo observar la energía que emite un cuerpo que al parecer o a simple vista no refleja la temperatura generada ya sea que este en movimiento o en estado de reposo. (Salas-Cabrera, 2016)

*Contribución a la caracterización de defectos en termografía infrarroja con máquinas de aprendizaje.*

El estudiante Hernán Darío Benítez Restrepo de la Universidad del valle en su tesis por obtener el título de <sup>5.1.1.7</sup>Dóctór en ingeniería habla acerca de los métodos de ensayo de la termografía no destructivo (ETND) basados en el contraste térmico y como son afectadas las maquinas fuertemente por el calentamiento no uniforme en su superficie. Se realizan experimentos con termografía pasiva y sus resultados son procesados y analizados con la herramienta computacional desarrollada.

Con ayuda de esta tesis se puede evidenciar factores externos que llegasen afectar las mediciones en los cuerpos y objetos a través de su contraste térmico, realizando cálculos teóricos en la conducta de la temperatura en diferentes áreas a gran profundidad, como el medio ambiente y su factor ambiental, las redes neuronales entre otros. (Loaiza & Caicedo, 2014)

**4.1.2. Estado del arte internacional**  
5.1.2.1

*Diagnóstico de Máquinas eléctricas mediante técnicas de termografía infrarroja*

El proyecto realizado en la Universidad Politécnica de Valencia por la señora María Pizcano, en la tesis doctoral, de ingeniería mecánica, recalca la importancia del desarrollo de un método de diagnóstico detectando las fallas en motores eléctricos de inducción, utilizando métodos no invasivos entre ellos la termografía infrarroja, aportando como método de inspección del mantenimiento preventivo y anteponiéndose a posibles fallas en los motores eléctricos, la tesis hace énfasis en el desarrollo, la obtención de resultados, el análisis, la creación de un método y

una fase de implementación. La parametrización de estos resultados ayudará a anteponerse a las fallas antes que ocurran.

El estudio de esta tesis sirve como análisis para el desarrollo de una guía de laboratorio en la Universidad ECCI, por la forma en que se logró la obtención de resultados por medio del estudio termográfico, realizando la comparación con curvas de calentamiento, teorías de transferencia de calor, análisis de corrientes, y métodos como el SIFT (Scale Invariant Feature Transform) etc. Estos resultados darán al estudiante bases para el desarrollo de la guía en el laboratorio. (Rodenas, 2016).

5.1.2.2 *Diseño de un sistema de visión de luz visible e infrarroja para  
vehículo Aero-autónomo.*

La tesis desarrollada en la Universidad Nacional Autónoma de México, por Mariano López Escabedo, relaciona la adecuación de cámara termográfica en aviones dirigibles no tripulados para el desarrollo de trabajos en campo e investigación, la adecuación y dificultades presentes en el desarrollo de esta tesis y los aportes a la industria.

El aporte de esta tesis es una gran variedad de entornos de desarrollo mediante la utilización de la cámara termográfica viajando en aviones dirigibles obtienen imágenes de construcciones (casas, edificios), para evaluar el aislamiento térmico o sitios donde las torres de distribución eléctrica de difícil acceso, puedan afectar la integridad física del personal que ejecuta normalmente este tipo de trabajos, para la guía de laboratorio este caso de estudio aporta al estudiante evaluar la posibilidad interactuar en entornos exteriores de manera novedosa. (Escobedo, 2009).

*Elaboración de un plan de mantenimiento predictivo mediante la aplicación de termografía industrial en los motores eléctricos de la planta EUROLIT en la empresa Tubesec C.A.*

En la tesis realizada<sup>5.1.2.3</sup> por Diego Fernando Abarca y Francisco Javier Uglesias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Ecuador presentan un plan de mantenimiento en la fábrica Tubesec, mediante el estudio termográfico para los motores eléctricos, realizando pasos en el momento del mantenimiento y detectar posibles irregularidades en la operación de las máquinas y que sirve a los operarios o técnicos para tomar acciones correctivas reduciendo los TMR (Tiempo medio entre fallas) de los equipos.

El Aporte de esta tesis a la guía de laboratorio es recalcar en los estudiantes la manera de buscar alternativas al momento de diagnosticar un equipo conociendo métodos como el estudio de la termografía y la aplicación en campo de la misma, para el mantenimiento preventivo esta es una herramienta donde el operario con los resultados obtenidos generara reportes, soluciones y alternativas de mejora en la que se disminuirá la criticidad de los equipos por sobrecalentamiento y demás factores que afecten la producción de la empresa. Por lo que estas fallas son imperceptibles a simple vista, este tipo de diagnóstico genera así seguridad y confiabilidad en el estado de las máquinas.<sup>5.1.2.4</sup> (Sigcho, 2012)

*Mantenimiento predictivo de equipos de instalaciones eléctricas mediante termografía, tesis realizada por Enrique Edgardo Lancho Jaco de la Universidad Nacional del Centro del Perú.*

Este trabajo se basa en el CBM es un mantenimiento basado en la condición del equipo previniendo posibles fallas, utilizando la termografía infrarroja como recurso de detección de alteraciones en el buen funcionamiento de los sistemas eléctricos, el desarrollo de este estudio se



realiza mediante imágenes de captura de la cámara por la radiación emitida en los sistemas eléctricos donde evidencia la temperatura de la superficie, estos estudios se parametrizan revisando puntos calientes, gráficas de distribución, puntos de rocío e informes, donde las decisiones producto del estudio minimizan el consumo energético de la planta, evitando incendios con el calentamiento de las protecciones del equipo, y costes.

Para el desarrollo de la guía de laboratorio, aporta en la forma que el trabajo analiza cada una de las gráficas o imágenes capturadas con la cámara infrarroja, la lectura de muestreo de cada prueba o análisis realizado en la industria, por lo que se obtendrá estadísticas las cuales se analizarán para la detección de posibles fallas, eso es lo que se pretende que el estudiante tenga la capacidad de analizar cada imagen de muestreo y consignar los resultados. (Jaco, 2008)

#### 5.1.2.5 *Termografía infrarroja y el estudio de riesgo de lesiones musculoesqueléticas.*

Este informe realizado por Miguel Morales Ríos, Emilsy Medina, Ángel Carnevali y Eber Orozco de la Universidad de Carabobo Venezuela, enfoca su investigación en la detección de posibles daños musculares por medio de métodos no invasivos como la termografía en empleados de la industria, en paralelo con el método evaluación rápida de todo el cuerpo (REBA), obteniendo información respecto a las áreas comprometidas en la realización de diferentes actividades laborales como el armado de neumáticos, el artículo evidencia que dichas tareas repetitivas ocasionan lesiones en diferentes partes del cuerpo.

Para el desarrollo de una guía de laboratorio, este artículo muestra cómo se puede ampliar el campo de estudio y la variedad de aplicaciones de la termografía, el estudiante podrá agrandar el

espectro de investigación en los temas de su interés y documentar nuevos casos de uso. (Miguel Morales Ríos, 2011).

*Evaluación de la aplicación de la técnica de termografía infrarroja al reconocimiento del estado de elementos de hormigón*

El trabajo de investigación realizado por Natali Guerrero para el título de Magister de la Universidad Politécnica de Cataluña, define las diferentes aplicaciones de las cámaras termográficas, en el análisis de fallas en los sistemas con mezcla de concreto, o las superficies de concreto (hormigón), y la solvencia de realizar este tipo de estudios, donde resalta los avances encontrados. Las pruebas realizadas direccionaran esta evidencia al posible deterioro de los materiales que componen el concreto, fisuras, y cambio de densidad, lo cual no se puede pasar por alto en construcciones con concreto (hormigón), Las imágenes recopiladas permitieron evidenciar daños o afectaciones del concreto.

Para nuestro objetivo el desarrollo de una guía de laboratorio, esta tesis recalca la importancia de utilizar una metodología de investigación de fallas, para los docentes aporta nuevos casos de uso y sugerir diferentes tipos de análisis para las prácticas de laboratorio. (Cely Natali Guerrero Mena, 2013) 5.1.2.7

*Guía de la termografía infrarroja. Aplicaciones en ahorro y eficiencia energética, realizada por la Consejería de Hacienda y Economía.*

Esta guía describe conceptos básicos cómo; el calor, temperatura y los campos de aplicación en cuanto las pérdidas de energía, conceptos y terminología básica necesarios para el estudio, reportes y como se pueden generar aportes al ahorro energético con el estudio termográfico,

además de guiar al personal a una buena interpretación de las imágenes obtenidas y un instructivo para el desarrollo de estas actividades.

En la implementación de una guía de laboratorio se espera que el estudiante mediante los conceptos adquiridos en su formación y el buen manejo de la cámara termográfica consigne en ella resultados que generen valor al proceso formativo y aporte a futuro su visión a la industria. (Revillas, 2011)

*Applications of thermal infrared imaging for research in*

5.1.2.8 *Aeroecology*

Desarrollado por Nickolay Hristov, Margrit Betke, Thomas H. Kunz, del departamento de Biología de la Universidad de Boston, USA, presentan una aplicación donde se puede demostrar el amplio campo de estudio de la termografía, esta vez reflejada en la investigación del comportamiento y la ecología de los animales nocturnos, detallando su población y principales sitios de alimentación.

Este estudio aporta al desarrollo de una guía de laboratorio en la centralización de las pruebas determinado la densidad de calor concentrada en un punto específico y el análisis de estas lecturas y la consolidación de estos datos. (Nickolay I. Hristov, 2008)

## 4.2. Marco Teórico

### 4.2.1. Mantenimiento Predictivo

Dentro del desarrollo histórico de mantenimiento la aplicación de tecnologías que aportan a la detección de comportamientos adversos en las variables de funcionamiento de los activos sistemas y componentes ha sido cada vez más relevante. Actualmente en la industria se aplican diferentes tecnologías acorde a la variable que se dese seguir, entre las principales se encuentran el análisis de vibraciones, la termografía infrarroja, el análisis por ultrasonido entre otros, la necesidad de aplicación se relaciona directamente con los requerimientos de confiabilidad de los activos y la disponibilidad de recurso de la organización para acceder a la adquisición de los equipos, el entrenamiento del personal en la metodología requerida o la adquisición del servicio.

Debe ser claro para el tomador de decisiones dentro de la organización que luego de aplicar cualquier técnica de análisis predictivo un técnico calificado solo entregará un informe en el cual presentará los resultados del análisis desarrollado y este será la base para que a continuación se tomen las decisiones convenientes.

#### *Tipos de decisiones generadas por el análisis predictivo*

Luego de recibir el informe e interpretar los análisis el ingeniero podrá tomar cuatro decisiones básicas acorde a lo presentado en clase de Gerencia de Mantenimiento 1 por el profesor Miguel Angel Urián.

- Decisión 1: No hacer nada, esta decisión se genera cuando el ingeniero de mantenimiento encuentra que el sistema o componente están trabajando dentro de los rangos especificados para el equipo que es examinado.

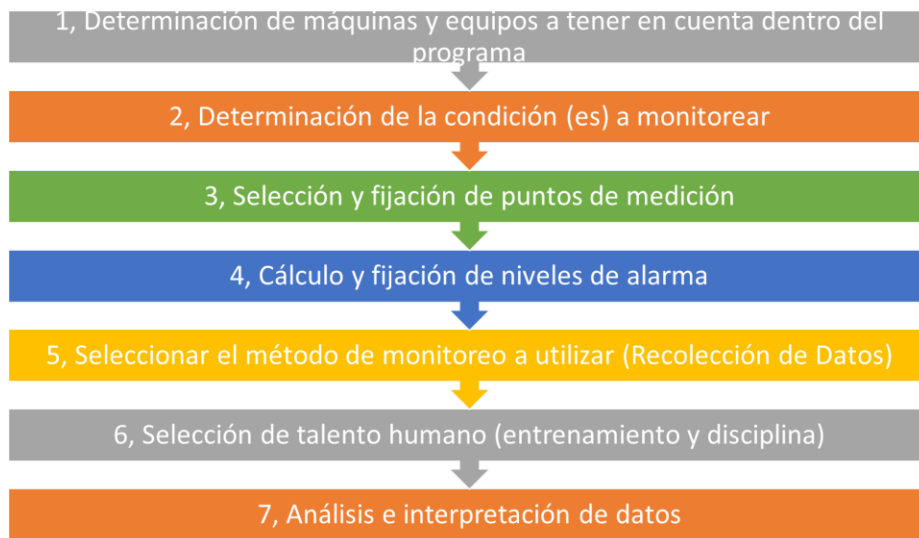
- Decisión 2: Programar actividades de mantenimiento preventivo, se genera cuando el ingeniero de mantenimiento encuentra que el sistema o componente están trabajando dentro del rango pero se están generando desviaciones o tendencias a la falla, por esto se deben generar intervenciones básicas para buscar controlar la desviación y regresar la variable a su comportamiento normal.
- Decisión 3: Programar actividades de mantenimiento correctivo programado, se genera cuando el ingeniero de mantenimiento encuentra que el sistema o componente están trabajando fuera de los rangos y el sistema o componente pueden en el corto plazo generar pérdida de la función, por esto se debe programar una intervención correctiva para buscar corregir la desviación y llevar la variable a su comportamiento normal.
- Decisión 4: Detener el equipo e intervenirlo, se genera cuando el ingeniero de mantenimiento encuentra que el sistema o componente está trabajando fuera de los rangos y está generando daños en otros componentes, riesgos desde el punto de vista de seguridad, contaminación ambiental entre otros. Por esto se debe programar una intervención correctiva inmediata que corrija la desviación y llevar la variable a su comportamiento normal.

Debe ser claro que luego de cualquier intervención que pueda afectar el comportamiento de la variable en seguimiento es necesario hacer medición de comprobación para validar la calidad de la intervención desarrollada y el funcionamiento del equipo dentro de las condiciones de instalación.

### *Pasos para el desarrollo de un plan de mantenimiento predictivo*

Dentro de los modelos genéricos el más usado es el de los siete pasos, En este se busca a partir del conocimiento del activo determinar el tipo de tecnología a aplicar. La ilustración 5.1 muestra la secuencia de los pasos a seguir para la aplicación del plan predictivo.

Es de anotar que la aplicación de cada uno de los pasos tiene una acotación específica que no hace parte del alcance del presente marco teórico.



*Ilustración 4-1 Pasos a seguir para implementar un plan de predictivo; Fuente: Notas de clase Gerencia de Mantenimiento I Universidad ECCI*

#### **4.2.2. Historia de la termografía**

Esta técnica se debe a un experimento de Friedrich Wilhelm Herschel en el año 1800 (ver ilustración 1), el cual consistió en hacer pasar un rayo de luz solar a través de un prisma de cristal para descomponerlo en su espectro y medir la temperatura de cada uno de sus colores (ver

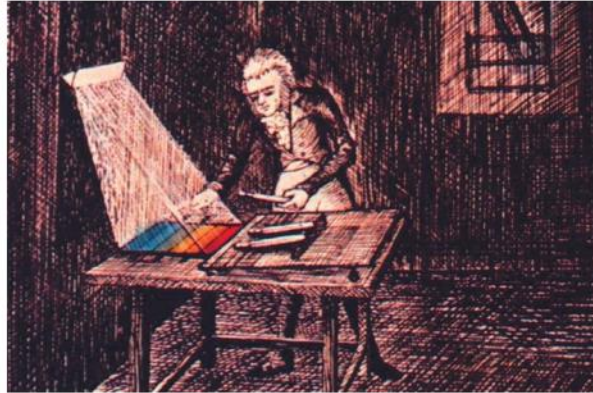
ilustración 2), descubrió que la temperatura de cada color se incrementaba partiendo del color violeta hacia el color rojo del espectro de luz.

Adicional al medir la temperatura de cada color del espectro descubrió se va incrementando más allá del rojo, donde la descomposición de la luz del rayo solar ya no era perceptible al ojo humano.



*Ilustración-2 Friedrich Wilhelm Herschel año 1800, Fuente: de Revista (FLIR, 2011)*

Encontró que esta radiación invisible por encima del rojo se comportaba de la misma manera desde el punto de vista de la reflexión, refracción, absorción y transmisión que la luz visible. Esta radiación inicialmente la denominó Rayos Caloríficos y luego Infrarrojos. Su descubrimiento permitió el desarrollo de varias aplicaciones tecnológicas, muy comunes hoy en día como son los LED infrarrojos de un control remoto, la termografía, sensores y demás.



*Ilustración-3 Experimento pasar un rayo de luz solar a través de un prisma de cristal para descomponerlo en su espectro y medir la temperatura de cada uno de sus colores Fuente Comunidad de Madrid (Madrid, 2011)*

El ojo del ser humano no puede captar la radiación infrarroja de un objeto, cuerpo o superficie, por ello se usan las **cámaras termográficas**. Estas cámaras tienen sensores infrarrojos, los cuales permiten la captura y medir la energía radiante de éstos, determinando de esta manera la temperatura de dichos elementos. La **cámara termográfica** toma la radiación emitida por un objeto y genera un espectro de colores, cada color representa una temperatura distinta con base en una escala.

5.2.1.1

### *Termografía infrarroja*

Método de medición de energía no intrusivo, pasivo, bidimensional, multidisciplinar y sin contacto. Existe una correlación entre un cuerpo y la energía que emite como lo demostró el físico Max Planck en el año 1900. La termografía de infrarrojos es el proceso de transformar una imagen infrarroja en una imagen radiométrica, que permita leer los valores de temperatura, cada píxel de la imagen radiométrica es una medición de temperatura. Para ello, se incorporan complejos algoritmos a la cámara de infrarrojos. Esto hace de la cámara termográfica una herramienta perfecta para los mantenimientos requeridos en la industria.



### **4.2.3. Tipos de termografía**

#### *Termografía cuantitativa*

El método de termografía comparativa cuantitativa es un método aceptado y eficaz para evaluar la condición de una máquina o componente mediante la determinación de temperaturas aproximadas.

5.2.2.1

Como resultado, las estimaciones de estas consideraciones se pueden realizar fácilmente para obtener la temperatura aproximada de un componente, en la mayoría de los casos, es más que suficiente para determinar la gravedad de la condición.

#### *Termografía cualitativa*

5.2.2.2

Esta técnica es utilizada por la mayoría de las industrias. Es muy eficaz en la identificación de los aspectos anormales, hallazgos y/o puntos calientes en los aparatos eléctricos, las conexiones eléctricas calientes indeseables, fugas o equipos de intercambio de calor de fluido bloqueado y componentes, las fugas de líquido de recipientes a presión, tuberías y válvulas.

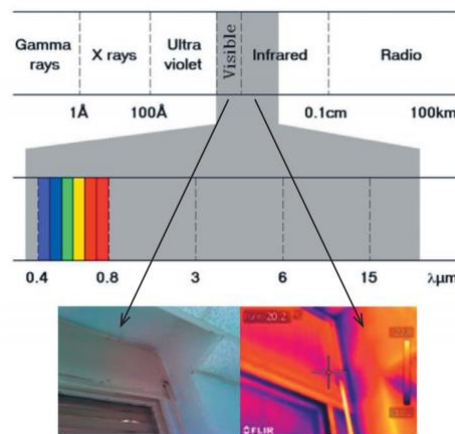
### **4.2.4. Cámara termográfica**

Una cámara térmica o cámara infrarroja, es un dispositivo que, a partir de las emisiones de infrarrojos del espectro electromagnético, es capaz de medir la temperatura de los objetos y cuerpos detectados, el detector envía los datos al sensor electrónico para procesar la imagen luminosa visible para el ojo humano. Este cálculo tiene en cuenta la emisividad ( $\epsilon$ ) y la compensación de la temperatura reflejada (RTC). La imagen generada por la cámara se denomina termograma o imagen radiométrica.

Estas cámaras operan, con longitudes de onda (ver ilustración 3), entre  $3\ \mu\text{m}$  y  $14\ \mu\text{m}$  en la zona del infrarrojo térmico. Generalmente, los objetos con mayor temperatura emiten más radiación infrarroja que los que poseen menor temperatura. Estas ondas de luz se transmiten a diferentes longitudes y el color es dependiente de la longitud de esta onda.

Las imágenes se visualizan en una pantalla o monitor de video, y tienden a ser monocromáticas, porque se utiliza un sólo tipo de sensor que percibe una particular longitud de onda infrarroja.

Muestran las áreas más calientes de un cuerpo en blanco y las de menor temperatura en negro, y con matices grises los grados de temperatura intermedios entre los límites térmicos. (FLIR, 2011)



*Ilustración-4 Ondas Electromagnéticas Fuente: Comunidad de Madrid (Madrid, 2011)*  
5.2.3.1

### *Emisividad ( $\epsilon$ ) y su importancia*

Es la capacidad de un material de propagar energía no visible al ojo humano, teniendo en cuenta la reflexión ( $\rho$ ) y la transmisión ( $T$ ). Se debe tener en cuenta que los materiales con altos valores de emisividad son fáciles de interpretar y medir, en cambio los materiales con bajos valores de emisividad reflejan bastante la radiación de los alrededores y generalmente no permiten diagnosticar de forma real y precisa, en este caso no se puede confiar en la imagen termográfica

obtenida. A menor emisividad mayor energía infrarroja reflejada, aumenta la dificultad de una muestra real, aumenta la precisión de configuración de la compensación de la temperatura reflejada. (TESTO, 2008)



*Ilustración-5 Emisividad (TESTO, 2008)*

### *Reflexión ( $\rho$ )*

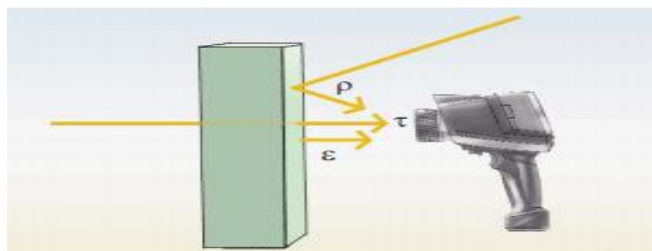
5.2.3.2

Es la capacidad de un cuerpo u objeto de reflejar la energía infrarroja, depende de la superficie y sus propiedades, por lo general las superficies corrugadas no lisas reflejan mucho menos que las superficies lisas y sin irregularidades. (Testo, 2008)

5.2.3.3

### *Transmisión*

Es la medida de la capacidad de un material de permitir el paso de la radiación infrarroja, depende del material y su grosor, hay que tener en cuenta ya que existen materiales impermeables a la radiación infrarroja es decir no son transmisivos. (TESTO, 2008)



*Ilustración-6 Emisión ( $\epsilon$ ), Reflexión ( $\rho$ ), Transmisión ( $\tau$ ), Imagen de revista (TESTO, 2008)*

### *Ley de radiación de Kirchhoff's*

Si un cuerpo o superficie está en equilibrio termodinámico con su entorno, su emisividad no puede ser mayor a uno ( $\epsilon < 1$ )

5.2.3.4

La suma de la emisividad, reflexión y la transmisión es igual a 1.

$$\epsilon + \rho + T = 1$$

En la práctica se omite la transmisión ya que es inapreciable

$$\epsilon + \rho = 1$$

La radiación infrarroja en el espectro electromagnético es el rango de todos los tipos de radiación electromagnética clasificados por longitud de onda.

5.2.3.5

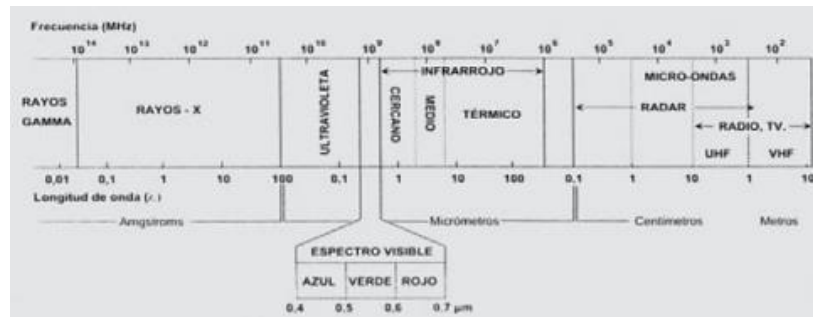
### *Ángulo de visión*

Delimita el ángulo en la zona, objeto y /o cuerpo que es capaz de captar el sensor, sus valores dependen de la distancia y el tamaño del sensor de la cámara. A mayor distancia menor ángulo de detección, a mayor tamaño y una distancia acorde al sensor mayor es el ángulo de visión de la cámara.

5.2.3.6

### *La radiación infrarroja en el espectro*

En la ilustración 6, se puede observar el espectro electromagnético. No deja de ser sorprendente que la luz visible por el ojo humano sea tan solo una minúscula parte de la totalidad del espectro de ondas.



*Ilustración-7 Espectro en toda su amplitud Fuente: Comunidad de Madrid (Madrid, 2011)*

El rango de radiación infrarroja sigue inmediatamente a continuación de la luz roja y ocupa el rango de 780 nm a 1 mm dentro del espectro electromagnético, la radiación infrarroja se puede subdividir en tres rangos:

- SIR (short infrared [infrarrojo corto], 780 nm - 3 μm),
- MIR (middle infrared [infrarrojo medio], 3 - 5 μm)
- FIR (far infrared [infrarrojo lejano], 5 μm –1 mm).

En relación a la tecnología de medición por infrarrojos, el rango más significativo es el de 5-20 μm (FIR).

5.2.3.7

### *Ley de conservación de energía.*

Constituye el primer principio de la termodinámica, se afirma que la cantidad total de energía en cualquier cuerpo u objeto aislado (sin interacción con ningún otro) permanece invariable con el tiempo, aunque esta energía puede transformarse en otro tipo de energía. Siendo una de las leyes fundamentales de la física, su teoría trata de que la energía no se crea ni se destruye, únicamente se transforma.

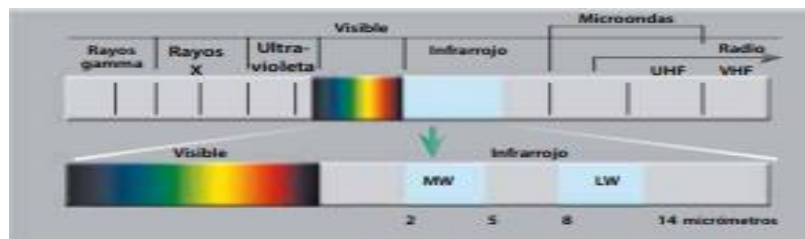
### *Ley de transferencia de calor*

Se dice que un cuerpo con mayor energía calórica transfiere energía a un cuerpo con inferior energía calórica solo en sentido de mayor a menor.

5.2.3.8

### *Radiación infrarroja*

Es la radiación de energía electromagnética del calor, superior al cero absoluto ( $0^{\circ}\text{K}$  ó  $-273.15^{\circ}\text{C}$ ), esta radiación está en los rangos de longitud de onda entre  $0,75\mu\text{m}$  hasta  $1000\mu\text{m}$  y bordea el rango de la longitud de luz que es  $0,38\mu\text{m}$  hasta  $0,75\mu\text{m}$ .



*Ilustración-8 Espectro Electromagnético Fuente de revista Flir (FLIR, 2011)*

### 4.3. Marco Normativo

Normas ISO		
Norma	Artículo	Aplicación
ISO 6781:1983	Aislamiento térmico – Detección cualitativa de irregularidades térmicas en envolventes del edificio	Evidenciar irregularidades en un equipo por medio de la energía calórica que genera y que sea anormal.
ISO 10878	Ensayos no destructivos – Termografía infrarroja	1). Conocer el estado térmico de un equipo en general 2). Detectar la presencia de fugas térmicas.
ISO 13372:2004	Condiciones de vigilancia y diagnóstico de máquinas	Interpretar la información para la toma de decisiones como la de monitoreo general de un equipo.
ISO 18434-1:2008	Condiciones de vigilancia y diagnóstico de máquinas – Termografía – Parte 1: Procedimientos generales.	Interpretar la información para la toma de decisiones como para tener el conocimiento apropiado y determinar qué zona del equipo debe tener monitoreo constante.
ISO 18436-1: 2012	Especifica los requisitos para las personas y organizaciones que operan sistemas de evaluación de la conformidad para el personal que realiza el monitoreo del estado de la maquinaria, identifica fallas de la máquina y recomienda medidas correctivas.	Parte 1: requisitos para los organismos de evaluación y el proceso de evaluación.
ISO 18436-3: 2012	Monitoreo de condición y diagnóstico de máquinas, requisitos para la calificación y evaluación del personal.	Parte 3: requisitos para los organismos de capacitación y el proceso de capacitación
ISO 18436-7:2008	Condiciones de vigilancia y diagnóstico de máquinas – Requisitos para la calificación y evaluación de personal – Parte 7: Termografía.	El personal debe estar calificado o con un conocimiento acorde al diagnóstico e interpretación de la información para la toma de decisiones.

Tabla-1 Normatividad ISO aplicable a práctica de Termografía (Normatividad ISO Termografía, 2018)

Normas ASTM		
Norma	Artículo	Aplicación
ASTM C1060-90 (Reapproved 2003)	Método de prueba estándar para la inspección termográfica de instalaciones de aislamientos de la estructura envolvente de edificios.	Evidenciar irregularidades en un equipo por medio de la energía infrarroja que genera y que sea anormal, por medio de la escala de colores que se puede identificar.
ASTM C1153-97 (Reapproved 2003).	Método de prueba estándar para la localización de aislamiento húmedo en sistemas de cubiertas utilizando imagen infrarroja.	
ASTME1213-97 (Reapproved 2009)	Método estándar para determinar la diferencia de resolución mínima para sistemas de imágenes térmicas.	Identificar parámetros iniciales de la termografía, como la longitud de onda, espectro electromagnético, Angulo de visión y gama de colores
ASTM-E1543-00 (Reapproved 2011)	Método estándar para determinar la diferencia de temperatura equivalente de ruido en sistemas de imágenes térmicas.	Evidenciar irregularidades en un equipo por medio de la energía infrarroja que genera y que sea anormal, por medio de la escala de colores que se puede identificar.
ASTM-E1862-97 (Reapproved 2010)	Método estándar para la medición y compensación de la temperatura reflejada mediante radiómetros de imágenes infrarrojas.	
ASTM C1934-99A (Reapproved 2010).	Método de prueba estándar para examinar equipos eléctricos y mecánicos mediante termografía infrarroja.	
ASTM-E 2582-07	Práctica Estándar para Flash de termografía infrarroja en entornos tecnológicos.	Aplica para fabricación de paneles compuestos y parches de reparación utilizados en aplicaciones aeroespaciales
ASTM D4788-03 (Reapproved 2007).	Método de prueba estándar para la detección de laminaciones en cubiertas de puentes utilizando imagen infrarroja.	Identificar parámetros iniciales de la termografía, como la longitud de onda, espectro electromagnético, Angulo de visión y gama de colores.

*Tabla-2 Normatividad ASTM aplicable a práctica de Termografía (Norma ASTM, 2017)*



Normas Europeas EN		
Norma	Artículo	Aplicación
EN 13187:1999	Rendimiento térmico de edificios. Detección cualitativa de irregularidades térmicas en envolventes de edificios. Método infrarrojo (ISO 6781:1983 modified).	Evidenciar irregularidades en un equipo por medio de la energía infrarroja que genera y que sea anormal, por medio de la escala de colores que se puede identificar.
UNE-EN 16714-1:2017	Ensayos no destructivos. Ensayo por termografía. Parte 1: Principios generales.	

*Tabla-3 Normatividad Europea UNE aplicable a práctica de Termografía (UNE Normas Certicalia, 2018)*

Normas ANSI-ASNT		
Norma	Artículo	Aplicación
ANSI/ASNT CP-105-185- 2011	ASNT Standard. Topical Outlines for Qualification on Nondestructive Testing Personnel.	
ASNT-SNT- TC-1A	Calificación y certificación de personal en pruebas no destructivas (2016) proporciona pautas para los empleadores que desean establecer programas de certificación internos.	<i>SNT-TC-1A</i> establece el marco general para un programa de calificación y certificación. Además, el documento proporciona los requisitos recomendados de educación, experiencia y capacitación para los diferentes métodos de prueba.

*Tabla-4 Normatividad ANSI-ASNT aplicable a práctica de Termografía (ASNT, s.f.)*

## **5. Marco Metodológico**

### **5.1. Recolección de la información**

#### **5.1.1. Tipo de investigación**

La investigación realizada para el desarrollo de la guía de laboratorio es una investigación documental, este como proceso de observación y recopilación de datos en los que se evidenciaba la falta de un documento guía para las prácticas de laboratorio de termografía de la Especialización en Gerencia de Mantenimiento.

#### **5.1.2. Fuentes obtención de la información**

##### *Fuentes Primarias.*

6.1.2.1

Las fuentes primarias recolectadas en esta investigación hacen mención de documentos referentes a tesis, manuales de la cámara termográfica, guías de la universidad de diferentes asignaturas y que enmarcan algunas formas de aplicar la termografía en diferentes áreas de la industria.

6.1.2.2

##### *Fuentes Secundarias.*

Las fuentes secundarias recolectadas en esta investigación refieren a documentos encontrados en publicaciones de empresas particulares, donde han desarrollado guía para conocimiento general de personal técnico.

#### **5.1.3. Herramientas**

- Entrevistas
- Software de las cámaras fluke
- Guías de laboratorio de la Universidad ECCI

#### **5.1.4. Metodología de la investigación**

- Para el desarrollo del objetivo No 1 “Identificar la metodología implementada por la Universidad ECCI, en el desarrollo de laboratorios enfocados a estudios de termografía, el material utilizado en las prácticas, y la forma de evaluación y generación de informes por el docente en esta área” Se desarrollaron entrevistas con los docentes implicados con la práctica en Gerencia de Mantenimiento I, se recolectaron modelos de guías actualmente utilizados por los docentes.
- Para el desarrollo del objetivo No 2 “Estructurar un documento con los resultados obtenidos a través del método científico, la aplicación de las normas, la experiencia de los estudiantes durante las prácticas, permitiendo al estudiante desarrollar habilidades técnicas y prácticas mediante la observación, registro y análisis, de las cámaras termográficas” Para el alcance de este objetivo se investigaron modelos de guías de termografía, criterio de los docentes del área, lineamiento de la universidad para el desarrollo de estas actividades consignadas en el pensum y adicional se puso un punto de vista desde el estudiante.
- Para el desarrollo del objetivo No 3 “Generar la propuesta de un documento guía en las prácticas de termografía de los laboratorios de la Universidad ECCI, además permitirá explorar las diferentes funciones y aplicaciones de las cámaras termográficas infrarrojas Fluke Ti90 y Ti100, enfocadas a la formación en la Especialización en Gerencia de Mantenimiento” Se desarrolló un modelo de guía estructurado acorde con los lineamientos de la universidad ECCI, esta guía será evaluada por cada docente del área para generar una estimación que sirva para mejoras del documento.

### **5.1.5. Información recopilada**

#### *Entrevistas*

Conforme a la documentación y métodos realizados en la investigación se realizan entrevistas a los ingenieros William Leguizamón, Miguel Ángel Urián y María Gabriela Mago, actualmente son docentes de Posgrado de Gerencia de Mantenimiento de la Universidad ECCI.

Una vez recopilada información de bibliografías técnicas (libros), documentos hemerográficos (artículos, tesis etc.) y guías de laboratorio, se indagó con profesionales dedicados al área de posgrados, encontrando que el material que se encuentra al alcance de estos profesionales se enfoca en el micro currículo de cada área, en libros que han publicado docentes de la universidad y guías de diferentes carreras como ingenierías mecánica y electrónica, esta información en el micro currículo en el punto de planeación establece que el docente transmitirá a los estudiantes el conocimiento, las metodologías y los lineamientos para el desarrollo de las actividades involucradas en el plan de formación, donde se detallan los aspectos más importantes para el desarrollo de los laboratorios en general.

Con la publicación de la guía se espera al documentar la práctica de termografía, exponerla de manera clara y coadyuve a los docentes en la construcción de conocimiento y se ajuste a su criterio de enseñanza y plan de estudios de la especialización.

Esta información apoya la idea de realizar una guía de laboratorio para el análisis termográfico en la universidad, globalizar esta información y complementar el trabajo que se viene haciendo con un documento que permita además recomendaciones para el uso de la cámara y consignar datos de manera ordenada para su posterior análisis.

Pregunta	Respuesta		
	Docente 1: Ingeniero William Leguizamón	Docente 2 Ingeniero Miguel Urián	Docente 3 Ingeniera María Gabriela Mago
¿Qué información se tiene sobre laboratorios de termografía en la Universidad?	En la actualidad la Universidad ECCI no cuenta con un laboratorio de termografía, cuenta con dos cámaras termográficas (TI90 y TI 100 de fluke) con estas cámaras se desarrollan las prácticas de laboratorio como fase práctica del tema termografía infrarroja.	Ninguna, el docente desarrolla prácticas de laboratorio de líquidos penetrantes, ultrasonido, termografía con informes a criterio del docente estipulando las variables que contenga el informe según los objetivos trazados en el curso.	Ninguna, el docente desarrolla la práctica entre 2 y 3 horas identificando diferentes elementos que irradian energía después de esto el estudiante genera un informe entregable con los resultados obtenidos.
¿Se tiene algún formato para el desarrollo de las prácticas de laboratorios en cuanto a termografía?	No se tiene un formato específico, cada uno de los docentes desarrolla la práctica de acuerdo a sus criterios.	No. Se generan informes a partir de las prácticas de laboratorio.	No, se genera después de las prácticas un informe detallado aplicando con normas ATCM.
¿Qué variables se tienen en cuenta al momento de realizar los laboratorios?	A parte de las variables técnicas (Emisividad, temperatura de fondo, temperatura ambiente), se tienen en cuenta el número de estudiantes, el número de equipos disponibles, la cantidad de prácticas que serán desarrolladas en el área de trabajo.	La temperatura, identificación de puntos a medir, Ángulos de medición, distancia, tiempo, comparación con estándares internacionales.	Medir la energía irradiada por cada cuerpo analizado de forma no invasiva, objetos que a simple vista pareciera que no irradiar temperatura.  Tener en cuenta la distancia en la que se mide.  Tener en cuenta el del cuerpo u objeto al ser analizado.

<p>¿Qué observaciones tienen hacia la Universidad para el desarrollo de estos laboratorios?</p>	<p>Es necesario tener una guía única para el desarrollo de los laboratorios y con esto garantizar que los estudiantes tienen los conocimientos mínimos para hacer la práctica, evitando así el deterioro de los equipos y posibles accidentes.</p>	<p>Cada docente aparta un sitio para realizar las pruebas y realizar el acompañamiento.</p> <p>Dependiendo el laboratorio se puede realizar un recorrido para las pruebas en caldera de plantas térmicas, midiendo elementos como contactores, PLC, conexiones eléctricas.</p>	<p>El laboratorio debe realizarse en dos sesiones, una en la noche y una en el día, para evidenciar los cambios de energía que se pueden obtener al estudiarlas en dos horarios diferentes y cómo varían.</p>
<p>¿Qué enfoque y objetivo resalta en los estudiantes al momento de realizar un laboratorio de termografía?</p>	<p>La termografía es una de las herramientas más usadas para la aplicación de MPD y MBC, la aplicación de la metodología le dará el conocimiento para interpretar informes y generar una toma de decisiones adecuada.</p>	<p>El concepto de mantenimiento debe cambiar, y nosotros como docentes debemos enfocar a cada estudiante a desarrollar técnicas y obtener herramientas para una buena gestión a nivel industrial.</p>	<p>Aplicación de las normas ASTM referente a la termografía.</p> <p>No importa el objeto o cuerpo a estudiar siempre y cuando el estudiante aprenda a analizar cómo se leen las capturas de la cámara y que resultados se observan y se pueden obtener.</p>
<p>¿Qué aportes o recomendaciones tendría en cuenta para los estudiantes al momento de realizar una guía de laboratorio?</p>	<p>Normas de seguridad para el desarrollo de la práctica, conocimientos previos, definición clara de los objetivos para el desarrollo de la práctica, normatividad vigente, alcance, ventajas y desventajas de la tecnología usada.</p>	<p>Seguir lineamientos establecidos por la normatividad nacional o internación en área el análisis de imágenes termográficas, aplicables al conocimiento adquirido por el estudiante</p>	<p>El estudiante debe traer el conocimiento adquirido con anterioridad de forma autónoma de cómo puede funcionar la cámara termográfica, qué normas nacionales e internacionales se deben tener en cuenta a la hora de analizar las mediciones y en qué ambientes se pueden aplicar.</p>

*Tabla-5 Encuestas a docentes Universidad ECCI de autoría de los miembros del equipo de investigación*

### *Guía actual*

No hay formato establecido por ende no existe una guía consolidada para el programa.

Actualmente existe un formato de guía en Pregrado de la coordinación de la facultad de Ingeniería Electrónica.<sup>6.1.5.2</sup>

- Micro currículo de Gerencia de Mantenimiento I
- Guía de pregrado de ingeniería electrónica de automatización de autoría del Ing. Víctor Hugo Bernal docente de Pregrado.

### *Cómo se desarrolla la capacitación de Termografía en otros*

#### 6.1.5.3 *entornos*

La industria demanda del mercado laboral técnicos especializados en ensayos no destructivos en general y en particular certificados en termografía con la normativa vigentes para cargos de supervisores de inspecciones y termografía, técnicos de mantenimiento certificados en Termografía Niveles I y II.

Existen empresas que además de ofrecer servicios de medición y mantenimiento de cámaras termográficas, certifican en niveles I y II de termografía con las normas ASNT-SNT-TC-1A e ISO18483-7.

#### 6.1.5.3.1 NORMA ASNT-SNT-TC-1A

En Colombia se puede obtener una certificación de termógrafo bajo la norma ASNT-SNT-TC-1A de la ASNT (American Society for Non Destructive Testing) previo cumplimiento de requisitos básicos como mínimo 2 años de estudios de ingeniero y/o universitarios técnicos o tecnológicos.

Debe también certificar conocimientos teóricos y prácticos básicos sobre la naturaleza de las mediciones que se practican con la cámara termográfica como temperatura, teoría y transferencia

del calor, emisividad y las diferentes aplicaciones en entornos industriales, instalaciones eléctricas, mecánicas y de control.

El curso toma 40 horas por cada nivel y se dicta en Bogotá con el proveedor Transequipos Kilómetro 2.5 autopista Medellín, Parque Industrial Portos Sabana 80, bodega No 5. PBX: (1) 7434001-CEL: +57 3102550885-EMAIL: info@transequipos.com Web: <https://transequipos.com>

(TransEquipos, 2019)

Se ofertan dos cursos en las siguientes modalidades:

- Curso de certificación de termógrafos nivel I (Presencial y Virtual)
- Curso de certificación de termógrafos nivel II (Presencial)

La certificación SNT-TC-1A (2016) se homologa la norma ANSI / ASNT CP-105: Esquemas de capacitación para la calificación del personal no destructivo (2016) (ASNT, s.f.)

CERTIFICACIÓN TRANSEQUIPOS NIVEL I	
Módulo_1	Revisión conceptos previos.
Módulo_2	Concepto de Temperatura, historia y su medición.
Módulo_3	Conceptos básicos sobre el calor.
Módulo_4	La transferencia de calor y sus formas.
Módulo_5	La emisividad y su importancia.
Módulo_6	La transmitancia y sus implicaciones.
Módulo_7	La reflectividad y sus aplicaciones.
Módulo_8	Capacitancia térmica y sus aplicaciones

*Tabla-6 Pensum módulo Nivel I Termografía (TransEquipos, s.f.)*



CERTIFICACIÓN TRANSEQUIPOS NIVEL II	
Módulo_1	Cálculos Básicos en los tres modos de transferencia de calor
Módulo_2	El espectro infrarrojo
Módulo_3	Problemas de radiosidad

*Tabla-7 Pensum módulo Nivel II Termografía (TransEquipos, s.f.)*

Una vez superados los niveles se entrega:

- Certificación internacional de la ASNT (American Society for Non Destructive Testing.)
- Carné de Membresía PTA.
- Memorias del curso

Requisitos para obtener la Certificación como Termógrafo Nivel I (Tomado de la página del proveedor):

- Presentar y aprobar un examen de 40 preguntas de acuerdo con la guía ASNT-SNT-TC-1A. Este se presentará el último día del curso en tiempo real por Internet.
- Presentar y aprobar un trabajo de termografía en campo posterior al curso en un término inferior a 15 días calendario.
- Presentar diligenciado por parte del empleador de cada participante el documento "Employers training certification and testing requirements" de acuerdo a la guía ASNT-TC-1A, el cual será entregado a cada participante para ser diligenciado y entregado por el correspondiente empleador.

(TransEquipos, s.f.)

#### 6.1.5.3.2 NORMA ISO18483-7

También se puede obtener una certificación bajo la norma ISO18483-7 certificada por ITC (Infrared Training Center) Estas certificaciones ITC cumplen con las normas ISO 17024 e ISO 18436 (Monitorización de condición y diagnóstico de máquinas - Requisitos para la capacitación y certificación de personal). Las partes aplicables incluyen ISO 18436-1 (Norma Internacional - Requisitos para los organismos de certificación y el proceso de certificación), ISO 18436-3 (Requisitos para los organismos de formación y el proceso de formación) e ISO 18436-7 (Termografía).

Conforme a la norma el personal que busca ser certificado para el desarrollo de esta actividad según la ISO 18436-7 2014 artículo 5, numeral 5.2, establece 3 tipos de categorías y en nivel de estudio para cada una de ellas y la intensidad horaria refiriéndose a no necesitar una educación formal sin embargo hace unas recomendaciones: (<https://www.iso.org>, 2014)

El curso toma 40 horas por cada nivel y se dicta en Bogotá con el proveedor Equipos y Controles Industriales SA, Parque Industrial Puerto Central, Calle 23 No 116-31 Piso 4 PBX: (1) 327 5151 – 745 7474 – Web: [www.eci.co/](http://www.eci.co/) (ECI, s.f.)

Se ofertan dos cursos en las siguientes modalidades:

- Curso certificado de Termografía ITC Nivel I (Presencial) 40 Horas
- Curso certificado de Termografía ITC Nivel II (Presencial) 40 Horas

El curso lo califica y prepara como termógrafo Nivel I, se aprenden bases del espectro infrarrojo, los aspectos generales de operación de las cámaras termográficas y lectura en diferentes

condiciones para diferentes aplicaciones; realizar un apropiado análisis de las mediciones e identificar los errores más comunes al aplicar termografía como ensayo no destructivo.

Será capaz de incorporar la termografía en inspecciones de mantenimiento y/o rutinas de trabajo en general.

NIVEL I	
Módulo_1	Introducción y operación de la cámara IR y parámetros de control, enfoque óptico, rango de temperatura, nivel, ganancia.
Módulo_2	Calor y temperatura, transferencia de calor, conducción, convección y radiación térmica
Módulo_3	Medición de temperatura directa, indirecta y capacidad térmica
Módulo_4	Flujo de calor, evaporación y condensación
Módulo_5	Conservación de la temperatura
Módulo_6	Emisión, temperatura aparente y reflejada
Módulo_7	Identificación y mejora de la visualización de patrones térmicos
Módulo_8	Influencia de la emisividad y reflectividad en la emisión de temperatura
Módulo_9	Cuerpos negros
Módulo_10	Resolución espacial, medición de puntos calientes y fríos
Módulo_11	Termografía cualitativa y cuantitativa
Módulo_12	Criterios de clasificación de severidad
Módulo_13	Elementos de los reportes y software e imágenes

*Tabla-8 Pensum módulo Nivel I Termografía ITC (ECI, s.f.)*

El nivel II procura profundizar y expandir conocimientos en la ciencia del calor, técnicas de medición efectiva, mejores equipos de acuerdo con las necesidades de la industria, limitaciones y reportes.

NIVEL II	
Módulo_1	Ciencia termal y transferencia del calor
Módulo_2	Medición de temperatura y ciencia del IR
Módulo_3	Equipos y aplicaciones del IR, selección de equipos
Módulo_4	Calor, energía, trabajo y potencia
Módulo_5	Primera ley de la termodinámica: conservación de la energía
Módulo_6	Segunda ley de la termodinámica: dirección del flujo de calor
Módulo_7	Efecto del calor y calor latente
Módulo_8	Modos de transferencia de calor, conducción, convección y radiación
Módulo_9	Ondas de calor y descubrimiento de Herschel
Módulo_10	Ley de la conservación aplicada al cambio de calor por radiación
Módulo_11	Ley de plank y cuerpos negros
Módulo_12	Leyes de kirshhoff , wien y Boltzmann
Módulo_13	Cuerpos grises, emisividad de cuerpos grises
Módulo_14	Atmósfera, niebla y humo
Módulo_15	Atmósfera, niebla y humo
Módulo_16	Ventanas IR y ventanas de determinación de la transmitancia
Módulo_17	Detectores IR y rendimiento térmico

*Tabla-9 Pensum módulo Nivel II Termografía ITC (ECI, s.f.)*

Una vez superados los niveles se entrega:

- Capacitación en español.
- Material de apoyo de alta calidad a color del ITC.
- Certificación como termógrafo nivel I y II del ITC (siempre que se cumplan con los requisitos)

Requisitos para obtener la Certificación como Termógrafo Nivel I (Tomado de la página del proveedor):

- Presentar y aprobar un examen de 40 preguntas de acuerdo con la norma ISO18483-7 certificada por ITC (Infrared Training Center) incluye preguntas de elección múltiple y análisis de termogramas. La clase incluye ejercicios y nuestros profesores trabajan con imágenes, dibujos y diagramas simples para ilustrar la teoría de manera descriptiva.
- Presentar y aprobar un trabajo de termografía en campo. (Grupo Alava, s.f.) (ECI, s.f.)

## **5.2. Análisis de la información**

- Se puede evidenciar que al faltar una guía los profesores de la universidad desarrollan las prácticas bajo su propio criterio siguiendo los objetivos del micro currículo.
- Los resultados obtenidos evidencian que son comunes la interpretación de variables como la radiación, emisividad, temperatura entre otras que sería muy útil consignar la información en una guía de laboratorio
- Se evidencia que la información del manual del equipo, donde orienta al personal técnico define las mejores prácticas en el funcionamiento del equipo, análisis de la información ajustes y recomendaciones del fabricante referentes al equipo. Temas que en la práctica de laboratorio no se tienen en cuenta o no se profundizan en ellas.

- Se puede concluir a través de la información recopilada, que no se cuenta con un formato guía de laboratorio donde los docentes pueden estandarizar la información correspondiente a estudios de termográfica, e implementarlas a las prácticas de laboratorio.

### **5.3. Propuesta solución**

La propuesta solución es el desarrollo de una guía de laboratorio, un documento entregable donde se consignan conceptos básicos sobre teoría del calor y termografía, una breve reseña del inicio de los estudios en este campo, se condensará el manual de funcionamiento de las cámaras termográficas FLUKE y resumen de buenas prácticas que fortalezcan las competencias del estudiante en este tipo de ensayo no destructivo y necesarias para la implementación de termografía como herramienta de diagnóstico en ambientes industriales, propenderá por contemplar la normativa vigente y será un aporte en el fortalecimiento académico de los estudiantes, la guía dará la pauta para la construcción de una ficha termográfica de cada inspección o mantenimiento programado, incluirá ejemplos con casos de uso práctico que a través de la observación y análisis de los resultados ayudará al estudiante con método y un parámetro para estandarizar este tipo de prácticas.

El contenido de la guía se presenta en archivos anexos en el anexo 1 (Guía de Laboratorio), las plantillas para el análisis de imágenes se presentan en el anexo 2 (Ficha Termográfica).

## 6. Resultados

Se generará un documento guía como propuesta de mejora en el desarrollo de actividades de laboratorio, enfocadas en las cámaras termográficas.

Permitir un impacto en los estudiantes conforme a la manera de generar informes de laboratorio correspondientes a la termografía.

Enfocar a los estudiantes con este tipo de documentos que la tecnología proporciona las herramientas y grandes aplicaciones en el área de mantenimiento, en el estudio de la termografía.

## 7. Análisis financiero (ROI)

De acuerdo con el análisis financiero y el valor en libros que costaría la compra de un equipo nuevo es importante, se calcula la depreciación en línea recta para un equipo, caso de estudio la cámara termográfica. Método que permite un acercamiento al valor del equipo durante su vida útil agregando información a la universidad, en el cual se determinará el momento adecuado para el cambio, mejora del activo.

$$D_{depreciación} = \frac{\text{Costo} - \text{Vida Residual}}{\text{Vida útil}}$$

*Ecuación-1 Ecuación de Depreciación*

$$\text{Valor neto en libros} = \text{Costo del activo} - \text{depreciación}$$

*Ecuación 2 Ecuación Neto en Libros*

Cámara FLUKE Ti100

- Costo del activo: \$13.000.000
- Vida residual o de salvamento de un 20% del valor del activo
- Vida útil de 10 años.

Depreciación de activo cámara termográfica			
Valor del activo	\$13.000.000		
Valor residual	\$2.600.000	20%	
Vida útil	10	Años	

Cuadro de Depreciación	Cuota de Depreciación	Depreciación acumulada	Valor neto en libros
1	\$1.040.000	\$1.040.000	\$11.960.000
2	\$1.040.000	\$2.080.000	\$10.920.000
3	\$1.040.000	\$3.120.000	\$9.880.000
4	\$1.040.000	\$4.160.000	\$8.840.000
5	\$1.040.000	\$5.200.000	\$7.800.000
6	\$1.040.000	\$6.240.000	\$6.760.000
7	\$1.040.000	\$7.280.000	\$5.720.000
8	\$1.040.000	\$8.320.000	\$4.680.000
9	\$1.040.000	\$9.360.000	\$3.640.000
10	\$1.040.000	\$10.400.000	\$2.600.000

*Tabla-10 Depreciación cámara FLUKE Ti100 de autoría de los miembros del equipo de investigación*



Cámara FLUKE Ti90

- Costo del activo: \$7.000.000
- Vida residual o de salvamento de un 20% del valor del activo
- Vida útil de 10 años.

Depreciación de activo cámara termográfica			
Valor del activo		\$7.000.000	
Valor residual		\$1.400.000	20%
Vida útil		10	años
Cuadro de Depreciación	cuota de Depreciación	Depreciación acumulada	valor neto en libros
1	\$560.000	\$560.000	\$6.440.000
2	\$560.000	\$1.120.000	\$5.880.000
3	\$560.000	\$1.680.000	\$5.320.000
4	\$560.000	\$2.240.000	\$4.760.000
5	\$560.000	\$2.800.000	\$4.200.000
6	\$560.000	\$3.360.000	\$3.640.000
7	\$560.000	\$3.920.000	\$3.080.000
8	\$560.000	\$4.480.000	\$2.520.000
9	\$560.000	\$5.040.000	\$1.960.000
10	\$560.000	\$5.600.000	\$1.400.000

*Tabla-11 Depreciación cámara FLUKE Ti90 de autoría de los miembros del trabajo de investigación*

A través de estos resultados se hace más necesario la implementación de documento donde describa el mejor uso del equipo, además de recalcar la importancia que tiene la universidad en el mantenimiento preventivo o predictivo de las cámaras, ya que resulta más costoso para la universidad adquirir estos equipos.

## **8. Conclusiones y recomendaciones**

### **8.1. Conclusiones**

Se identificó una metodología que permitiera cumplir con las mejores prácticas en el desarrollo de estudios termográficos, obteniendo conceptos para la evaluación y presentación de informes acorde a las imágenes termográficas obtenidas.

Se logró estructurar un documento donde se registrará la mejor manera de utilizar las cámaras, acorde al fabricante, las necesidades del cuerpo educativo, para su aplicación a las prácticas de laboratorio

La generación de este documento permitirá de manera práctica y siguiendo lineamientos acordes a la termografía, ayudar a los estudiantes a la detección de fallas en las diferentes aplicaciones de la termografía a nivel industrial

## **8.2. Recomendaciones**

Implementar estrategias de información donde se involucre la comunidad estudiantil y administrativa de la universidad, encargados del área de gerencia de mantenimiento donde se resalte el cuidado, el manejo y soporte de estos equipos.

Ejercer una contante retroalimentación de la guía, entre docentes y estudiantes permitiendo una mejora continua en la guía de laboratorio.

Promover a los estudiantes el amplio portafolio que tiene el uso de cámaras termográficas y la aplicación en la industria, espacios en los laboratorios para la interacción de los equipos y desarrollar sus guías.

Incluir dentro del mantenimiento de las cámaras un plan de recalibración con el proveedor

**FLUKE**

## 9. Bibliografía

- ASNT. (s.f.). *THE AMERICAN SOCIETY FOR NONDESTRUCTIVE TESTING*. Obtenido de [https://www.asnt.org/MajorSiteSections/NDT-Resource-Center/Codes\\_and\\_Standards/ASNT\\_Standards/SNT-TC-1A.aspx](https://www.asnt.org/MajorSiteSections/NDT-Resource-Center/Codes_and_Standards/ASNT_Standards/SNT-TC-1A.aspx)
- Calet Camacho Bedoya, D. F. (Enero de 2017). *Universidad tecnologica de Pereira*. Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co>
- Casallas, J. A. (2011). *bdigital Universidad Nacional*. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/5099/1/JohnAlejandroForeroCasallas.2011.pdf>
- Cely Natali Guerrero Mena. (2013). *UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUÑA*. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/19610>
- ECI. (s.f.). *ECI Confiabilidad*. Obtenido de <https://www.eci.co/Capacitacion/Metrolog%C3%ADa%20y%20confiabilidad#>
- Educacion, M. d. (20 de Abril de 2010). *Ministerio de Educacion*. Obtenido de [https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-338177\\_archivo\\_pdf.pdf](https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-338177_archivo_pdf.pdf)
- Escobedo, M. L. (OCTUBRE de 2009). <http://www.ptolomeo.unam.mx>. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/1230/1/Tesis.pdf>
- FLIR. (2011). [www.flirmedia.com](http://www.flirmedia.com). Obtenido de [https://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820264/T820264\\_ES.pdf](https://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820264/T820264_ES.pdf)
- Grupo Alava. (s.f.). *Cotenido Cursos ITC*. Obtenido de <http://www.grupoalava.com/formacion-tecnologica/cursos-termografia/>
- <https://www.iso.org>. (01 de 04 de 2014). <https://www.sis.se>. Obtenido de <https://www.sis.se/api/document/preview/917207/>
- Jaco, E. E. (2008). <http://repositorio.uncp.edu.pe>.
- Loaiza , H., & Caicedo, E. (2014). *Universidad del Valle, Colombia*. Obtenido de <http://psi.univalle.edu.co/tesis-doctorado>
- Madrid, F. d. (2011). [www.fenercom.com](http://www.fenercom.com). Obtenido de [www.madrid.org](http://www.madrid.org): <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-de-la-Termografia-Infrarroja-fenercom-2011.pdf> página 14
- Miguel Morales Ríos, E. M. (7 de OCTUBRE de 2011). *DIALNET*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3959276>
- Nickolay I. Hristov, M. B. (20 de junio de 2008). *NBCI.NLM.NHI.GOV*. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21669772>
- Revillas, S. M. (2011). *COMUNIDAD DE MADRID*. Obtenido de <http://www.madrid.org>

Rodenas, M. J. (ENERO de 2016). <https://riunet.upv.es/handle/10251/62317>.

Rodríguez, D. A. (2017). *Biblioteca Vvirtual Universidad Nacional*. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co>

Rojas, M. A. (2015). *bdigital*. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/>

Salas-Cabrera, R. G.-V.-R.-V. (20 de Octubre de 2016). *bdigital Universidad Nacional*. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/66040/1/60638-365535-2-PB.pdf>

Sigcho, D. F. (9 de NOVIEMBRE de 2012). <http://dspace.esPOCH.edu.ec>. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3061>

Testo. (09 de 2008). *Testo*. Obtenido de <https://www.testo.com>

TESTO. (septiembre de 2008). *WWW.TESTO.COM/ES*. Obtenido de <https://static-int.testo.com/media/fa/0e/49bd6f50d6cb/Pocket-Guide-Thermography-ES.pdf>

Toro, H. A. (2012). *bdigital*. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co.pdf>

TransEquipos. (2019). *TransEquipos*. Obtenido de <https://transequipos.com/contactenos.html>

TransEquipos. (s.f.). *Transequipos Contenido del Curso*. Obtenido de <https://transequipos.com/certificacion-en-termografia-infrarroja-nivel-1-virtual.html>