



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA EN MECATRÓNICA**

TEMA:

“SISTEMA DE DETECCIÓN DE RIESGO DE FALLOS POR CALENTAMIENTO,
MEDIANTE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES TERMOGRÁFICAS EN LÍNEAS DE
ALTA TENSIÓN.”

AUTOR: GABRIELA ALEJANDRA MOYA TUPIZA

DIRECTOR: MSC. IVÁN IGLESIAS NAVARRO, ING.

ASESOR: MSC. COSME DAMIÁN MEJÍA ECHEVERRIA, ING.

ASESORA: MSC. LUZ MARÍA TOBAR SUBÍA CONTENTO, ING.

IBARRA – ECUADOR

JUNIO 2022



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

El cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DEL AUTOR			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1721889200		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Moya Tupiza Gabriela Alejandra		
DIRECCIÓN:	Lola Orbe 06 y Av. Los Galeanos		
EMAIL:	gamoyat@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0984473945
DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO:	“Sistema de detección de riego de fallos por calentamiento, mediante procesamiento de imágenes termográficas en líneas de alta tensión”		
AUTOR:	Moya Tupiza Gabriela Alejandra		
FECHA (DD/MM/AAAA):	06/06/2022		
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO			
PROGRAMA:	Pregrado		
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica		
ASESOR/DIRECTOR:	MSc Iván Iglesias, Ing.		

CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo sin violar derechos de autores de terceros, por lo tanto, la obra es original, y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, 6 de junio del 2022

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Gabriela Moya', is written over a horizontal line.

Nombre: Gabriela Moya

Cédula: 1721889200

CERTIFICACIÓN

En calidad de tutor del presente Trabajo de Grado titulado: “Sistema de detección de riegos de fallos por calentamiento, mediante procesamiento de imágenes termográficas en líneas de alta tensión”, certifico que fue desarrollado por la señorita Gabriela Alejandra Moya Tupiza, bajo mi supervisión.

**IVAN
IGLESIAS
NAVARRO**

Firmado digitalmente
porIVAN IGLESIAS
NAVARRO
Motivo:Apruebo este
documento
Fecha:2022-05-10
16:50-05:00

MSc. Iván Iglesias, Ing.

DIRECTOR DEL PROYECTO

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación se lo dedico a Dios por guiarme, apoyarme y ser la fortaleza para concluir mi carrera.

A mi madre Silvia Tupiza que ha sabido formarme lo cual me ha ayudado a seguir adelante en los momentos difíciles y a pesar de la distancia a sabido brindarme su apoyo.

A mi Tía Jacqueline Tupiza quien ha sabido apoyarme en los momentos difíciles para nunca rendirme.

A toda mi familia por confiar en mí, a mis abuelitos, tíos, primos, gracias por su apoyo incondicional.

-Gabriela Moya T.

AGRADECIMIENTO

El principal agradecimiento a Dios quien me ha guiado, dado fortaleza para seguir adelante y por poner en mi camino a personas maravillosas.

A mi familia por su comprensión y estímulo constante, además de su apoyo incondicional a lo largo de mis estudios.

Al Ingeniero Gabriel Contreras por compartir sus conocimiento y experiencia en el área de termografía en líneas de alta tensión y a la empresa T&D ELECTRIC por permitir aplicar mis conocimientos implementando Drones y Visión Artificial para el desarrollo de la presente investigación.

A mi Tutor Ingeniero Iván Iglesias y a cada uno de los docentes de la Universidad técnica del norte gracias por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de mi profesión.

RESUMEN

La inspección de líneas de alta tensión determina su estado y verifica fallas por calentamiento para lo cual se aplica un proceso manual de inspección de datos de alta complejidad, que permite detectar las fallas y su gravedad para luego utilizar protocolos de mantenimiento.

En este trabajo de investigación se muestra el proceso de diseño y programación de una interfaz gráfica de usuario para la adquisición y procesamiento de datos, la cual está realizada bajo el lenguaje de programación Python y permite al usuario detectar y clasificar fallos por calentamiento de una imagen con cámara termográfica.

ABSTRACT

The inspection of high voltage lines determines their status and verifies failures due to heating, for which a manual process of inspection of highly complex data is applied, which allows detecting the failures and their severity and then using maintenance protocols.

In this research work, the design and programming process of a graphical user interface for data acquisition and processing is shown, which is carried out under the Python programming language and allows the user to detect and classify errors due to heating of an image. with thermographic camera.

Índice General

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.....	II
CONSTANCIAS	III
CERTIFICACIÓN.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO	VI
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
INTRODUCCIÓN.....	14
Problema.....	14
Objetivos.....	15
Objetivo General.....	15
Objetivos Específicos	15
Alcance	15
Justificación.....	15
CAPÍTULO I.....	17
1. MARCO TEÓRICO	17
1.1 Inspección en líneas de Alta Tensión.....	17
1.2 Drones en Inspecciones de Líneas Eléctricas.	17
1.3 Dron DJI Matrice 300 RTK con Cámara H20T	18
1.4 Sensor de imagen	18
1.4.1 Sensor Térmico.	19
1.4.2 Sensor Lidar.	19
1.5 Infrarrojos	19
1.6 Termografía	20
1.7 Aplicación de la termografía.....	21
1.8 Cámaras Térmicas.....	21
1.9 Líneas de distribución eléctrica	22
1.9.1 Inspecciones aéreas	22
1.9.2 Inspecciones a pie.....	23
1.10 Características y condiciones en cables.	23
1.10.1 Cables guarda	23
1.10.2 Conductores.....	23

1.11	Características y condiciones en aisladores	24
1.12	Niveles de Voltaje en Ecuador.	25
1.13	Tipos de Torres por geometría	25
1.14	Problemas detectables a través de temperatura.	26
1.14.1	Tornillería Floja.....	26
1.14.2	Desbalance de Carga	26
1.14.3	Problemas de equipo.	27
1.15	Aspectos a tener en cuenta	27
1.15.1	Condiciones Ambientales.....	28
1.15.2	Aspectos ligados a la propia instalación.	28
1.16	Criterios de Evaluación	29
1.17	Visión Artificial.....	30
1.18	Procesamiento de imágenes	30
1.19	Interfaz gráfica de usuario.....	31
1.20	Normas de interfaz gráfica de usuario.....	31
1.21	Lenguaje de programación Python aplicado en Visión Artificial	31
1.22	Color RDB.....	32
1.23	Color HSV.....	32
1.24	Trabajos Previos	32
CAPÍTULO II.....		35
2.	MARCO METODOLÓGICO	35
2.1	Análisis de requerimientos.....	35
2.2	Adquisición de imágenes superficiales del terreno con UAV	35
2.3	Diagrama de flujo de la interfaz	36
2.4	Python	37
2.5	Anaconda Navigator	37
2.6	Spyder	38
2.7	Librerías	39
2.7.1	Numpy.....	39
2.7.2	Open CV.....	39
2.7.3	PyQT5 Designer.....	40
2.8	Interfaz de usuario	40
2.9	QT Designer.....	40
2.10	Exportando ventana .ui a .py	46
5.1.1.	Examinando y comprendiendo el código.	48

CAPÍTULO III	50
3. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	50
3.1.1 Descripción general de la GUI.....	50
3.1.2 Diseño de la interfaz gráfica de usuario	50
CAPÍTULO IV	60
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
Conclusiones.....	60
Recomendaciones	61
REFERENCIAS	62

Índice de Figuras

Fig. 1-1 Drone DJI MATRICE 300 RTK [12].	18
Fig. 1-2 Espectro de radiación electromagnética [16]	20
Fig. 1-3 Geometrías para torres de transmisión [24].	25
Fig. 1-4 Problema de conexiones flojas [19].	26
Fig. 1-5 Problemas con conector [25]	27
Fig. 1-6 Problemas de equipo [19]	27
Fig. 2-1 Diagrama de Flujo de la interfaz.	36
Fig. 2-2 Versión Python [43].	37
Fig. 2-3 Interfaz Anaconda Navigator [43].	38
Fig. 2-4 Instalación de Spyder [45]. a) Botón Home b) Botón instalar spyder.	39
Fig. 2-5 Nuevo Formulario en QT Designer.	41
Fig. 2-6 Nuevo Formulario en QT Designer.	41
Fig. 2-7 Nuevo Formulario en QT Designer.	42
Fig. 2-8 Editar texto en área de propiedades.	42
Fig. 2-9 Selección de Label.	43
Fig. 2-10 Insertar una imagen y ajustar su escala.	43
Fig. 2-11 Insertar Botones.	43
Fig. 2-12 Configuración de conexión de botones.	44
Fig. 2-13 Borde en label.	45
Fig. 2-14 Borde botones.	46
Fig. 2-15 Guardar archivo .UI	46
Fig. 2-16 Ejecutar CMD en la ubicación del archivo .ui	47
Fig. 2-17 Convertir archivo .ui a .py	47
Fig. 2-19 Interfaz	48
Fig. 2-20 Edición de botones.	49
Fig. 3-1 Diseño pestaña Thermal Analysis.	51
Fig. 3-2 Reporte Termográfico.	52
Fig. 3-3 Contacto para el usuario.	53
Fig. 3-4 Termograma 1.	54
Fig. 3-5 Análisis Térmico 1.	54
Fig. 3-6 Termograma Procesado 1.	55
Fig. 3-7 Termograma 2.	55
Fig. 3-8 Análisis Térmico 2.	56
Fig. 3-9 Termograma Procesado 2	56
Fig. 3-10 Termograma 3	57
Fig. 3-11 Análisis Termográfico 3.	57
Fig. 3-12 Termograma Procesado 3.	58
Fig. 3-13 Análisis Termográfico 4.	59
Fig. 3-14 Análisis Termográfico Normal	59

Índice de Tablas

Tabla 1-1 DJI Matrice 300 RTK. [12].....	18
Tabla 1-3 Cámara Termográfica FLIR T600 [19].....	21
Tabla 1-4 Cámara Zenmuse H20T [20].....	22
Tabla 1-5 Tipos de aisladores y características [22].....	24
Tabla 1-6. Niveles de Voltaje en Ecuador [23].	25
Tabla 1-7 Termogramas con influencia del viento [7].	28
Tabla 1-8 Normativa Internacional [27].....	30

INTRODUCCIÓN

Problema

Para el sector económico del Ecuador, el energético es uno de mayor importancia, porque garantiza el correcto funcionamiento de las redes eléctricas y la continuidad del servicio. Para eso, las empresas encargadas de la transmisión y distribución eléctrica cumplen con estándares de calidad que aseguren la dotación del servicio ofrecido, mediante controles de la infraestructura y de los equipos a través de mantenimientos preventivos, uno de ellos, es el análisis de fallas por calentamiento en líneas aéreas de alta tensión [1].

Para detectar las fallas por calentamiento en líneas aéreas de alta tensión, se aplica un proceso manual de inspección de datos de alta complejidad, que permite detectar las fallas y su gravedad para luego utilizar los protocolos de mantenimiento [2].

La técnica del procesamiento de imágenes termográficas con visión artificial ayuda a mejorar el modo de inspección y, la manera de detectar y clasificar la falla. Además, por su eficacia sirve de apoyo para la toma de decisiones en tiempo real durante el despeje de la falla o el restablecimiento del sistema [3].

Por eso, el procesamiento de imágenes termográficas en líneas aéreas de alta tensión implementado en un sistema de detección de fallos por calentamiento es una herramienta útil para las empresas encargadas del mantenimiento de las torres de alta tensión [4].

Objetivos

Objetivo General

1. Diseñar un sistema de detección de riesgo de fallos por calentamiento, que use el procesamiento de imágenes termográficas en líneas aéreas de alta tensión.

Objetivos Específicos

2. Determinar las características y condiciones de trabajo en cables y aisladores de una línea aérea de alta tensión para establecer los requisitos del sistema.
3. Diseñar la interfaz gráfica de detección de fallos mediante procesamiento de imágenes.
4. Implementar los algoritmos de procesamiento de imágenes para determinar un riesgo de fallo según normativa.

Alcance

En el presente trabajo de titulación se desarrollará: una interfaz gráfica para la adquisición y procesamiento de datos de temperatura desde una imagen con cámara termográfica, con el fin de identificar criterios de evaluación de riesgos de fallos por calentamiento en las líneas aéreas de alta tensión utilizando algoritmos de visión por computadora con la finalidad de que se especifique en un informe el tipo de riesgo de fallos según normativa.

Justificación

Las torres de alta tensión son estructuras peculiares, ubicadas en zonas rurales mayoritariamente, y utilizadas para transportar la energía eléctrica por todo el país. [5]

Para asegurar la integridad de las líneas aéreas hay que comprobar periódicamente el estado en el que se encuentran, y de esa manera prevenir y evitar cualquier falla; por eso,

una pieza clave para lograr este objetivo es el mantenimiento predictivo – preventivo de las líneas y de los sistemas de distribución eléctrica, mediante la utilización de procedimientos y equipos de mantenimiento [6].

Para este caso, la termografía surge como una tecnología de avanzada, cuya aplicación a la inspección de los sistemas de distribución eléctrica permite detectar anticipadamente las posibles averías en los sistemas citados, disminuyendo la probabilidad de fallo de la instalación en el futuro [7].

De igual manera, la implementación de la visión artificial, para procesar una imagen termográfica durante la inspección de las líneas de distribución eléctrica, permitirá tomar decisiones a tiempo, reducir los costos de mantenimiento y mejorar la disponibilidad de los equipos de la subestación eléctrica y de sus alimentadores, minimizando el riesgo de accidentes e interrupciones inesperadas [8].

En el seminario nuevas técnicas de inspección en líneas de transmisión de alta tensión, se menciona un criterio de evaluación (normal, leve, grave, muy crítico), el cual es implementado Perú, apto para poner en práctica en Ecuador. En consecuencia, este criterio beneficiara para la toma de requisitos en el sistema que se implementara con el fin de evaluar un riesgo de fallo [9].

En definitiva, el uso de la visión artificial para la detección de riesgos fallos por calentamiento proporciona la mayor cantidad de información posible, tanto para el técnico como para el gestor, de esta forma, es más fácil la detección térmica de un problema en un sistema, facilitando la localización anticipada, sencilla, rápida y segura de posibles puntos de fallo.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

En esta sección, se presenta la base teórica del trabajo de titulación determinando características y condiciones para establecer requisitos en el sistema de detección y clasificación de fallos por calentamiento en líneas aéreas de alta tensión desde una imagen termográfica, lo cual permite conocer el tipo de falla y su gravedad para utilizar protocolos de mantenimiento.

1.1 Inspección en líneas de Alta Tensión

La tecnología en la inspección de líneas de alta Tensión es un concepto de gestión valioso que ayuda a diagnosticar fallas y posteriores correcciones evitando cortes de energía y penalizaciones. La automatización con el uso de cámaras termográficas permite al personal técnico identificar el criterio de evaluación de riesgo de fallo por calentamiento [10].

El producto de investigación resultante de este trabajo permite controlar que la detección de riesgo de fallo se esté realizando correctamente.

1.2 Drones en Inspecciones de Líneas Eléctricas.

Las líneas Eléctricas recorren todo tipo de terrenos, incluso algunos no accesibles por tierra, por lo que el mantenimiento e inspección se lo realizaba usando helicópteros sin dejar de mencionar un peligro para las personas, lo que lo hace más costoso, lento e ineficiente considerando que las líneas eléctricas se tienden por miles de kilómetros, la inspección con Drone permite mejorar la seguridad evitando que el personal realice trabajos en altura y trabajos en proximidad de tensión, Además reduce tiempo en el sitio cubriendo mayor cantidad de terreno y optimizando la recolección de información [11]

1.3 Dron DJI Matrice 300 RTK con Cámara H20T

A continuación, en la Tabla 1-1. se presentan las características principales del Dron.

Tabla 1-1 DJI Matrice 300 RTK. [12]

Características principales	
Autonomía	55 minutos
Alcance Máximo	15km
Carga Máxima	2.7 Kg
Velocidad Máxima	23 m/s
Cámara	Zenmuse H20T
Altitud de vuelo	7000m



Fig. 1-1 Drone DJI MATRICE 300 RTK [12].

En la Fig.1-1 Dron Matrice 300 RTK se muestra el dispositivo utilizado para adquisición de imágenes en torres de alta tensión las cuales se encuentran en el capítulo 2.

1.4 Sensor de imagen

Los sensores de imagen tratan de simular la capacidad del ojo humano y del cerebro al reproducir la imagen, en la actualidad existen tipos de sensores que permiten la toma

de imágenes de alta resolución y en distintas bandas del espectro de luz. A continuación, se presentan los sensores utilizados para la inspección en torres de alta tensión [13].

1.4.1 Sensor Térmico.

Permite visualizar la energía o calor emitido por un objeto que el ser humano no puede detectar a través de sus ojos, en el caso de inspección en torres de alta tensión permite detectar posibles riesgos de fallo y resolver el problema antes de que ocurra un fallo o interrupción en la línea [14].

1.4.2 Sensor Lidar.

Un sensor Lidar permite obtener nube de puntos del terreno los cuales se toman mediante un escáner laser, las principales características son obtener una larga distancia de detección, garantizar una alta precisión por lo cual permite una detección remota por láser que mapea un entorno 3D utilizando una georreferenciación directa y precisa, lo que facilita la inspección y el monitoreo de sitios industriales.

La tecnología LIDAR tradicionalmente se ha mostrado como difícil de operar se requería algo de experiencia para usar algunos de estos sensores y los aviones eran demasiado pequeños para hacer espacio a estos grandes sistemas LiDAR y su coste era elevado. En la actualidad se encuentra disponible la cámara Zenmuse L1 la cual es adaptable al Dron DJI MATRICE 300 RTK [15].

1.5 Infrarrojos

Es importante definir adecuadamente los infrarrojos, ya que son el principio fundamental del funcionamiento de la termografía. Los infrarrojos o luz infrarroja se encuentran a medio camino entre el espectro visible y las microondas del espectro electromagnético. El espectro de radiación electromagnética está conformado por un conjunto de ondas distribuidas en función de su energía, intensidad frecuencia o longitud

de onda para esto se la ha dividido en varios segmentos en banda, como se muestra a continuación en la Fig. 1-2. Espectro de radiación electromagnética.

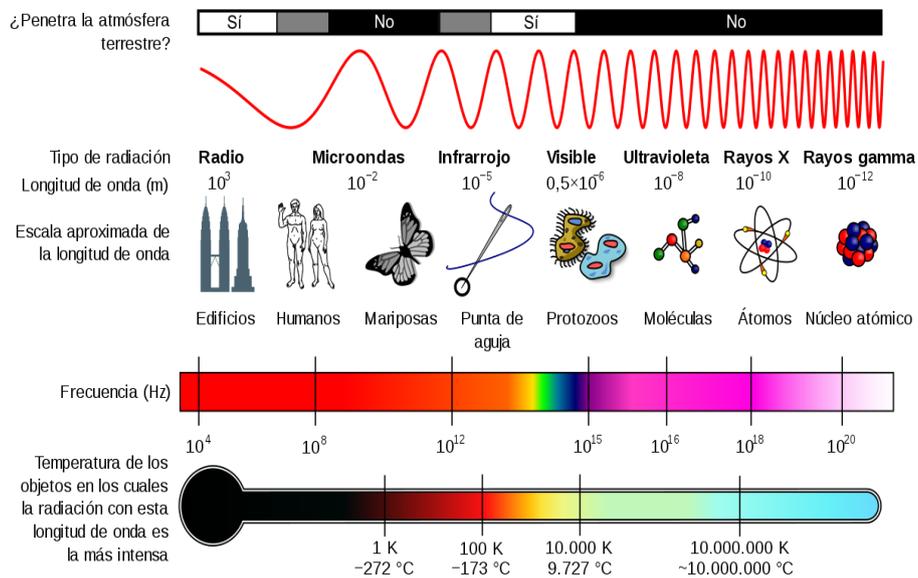


Fig. 1-2 Espectro de radiación electromagnética [16]

La principal fuente de radiación de infrarrojos es el calor o radiación térmica. Cualquier objeto que presente una temperatura superior al cero absoluto (-273.15 [°C] O 0 [K]) emite radiación en la región infrarroja, dependiendo de las condiciones y naturaleza del mismo. Sin importar que tan baja temperatura presenten los objetos a nuestro alrededor siempre van a emitir rayos infrarrojos. Cuanto más caliente es un objeto emite radiación infrarroja con mayor intensidad. [17].

1.6 Termografía

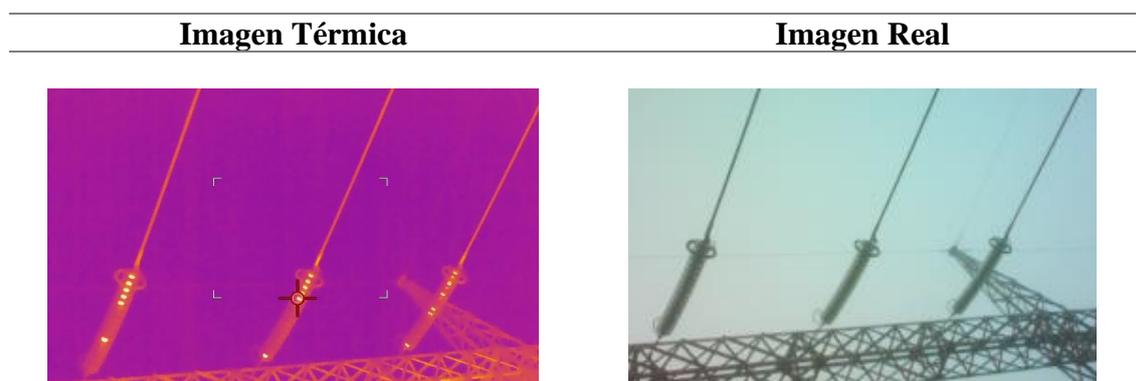
Es un procedimiento empleado con la finalidad de obtener información a partir de la temperatura que posea un objeto a distancia sin la necesidad de emplear el contacto físico con el mismo. Este proceso se lleva a cabo a partir de la captación de radiación infrarroja del espectro electromagnético mediante la utilización de sensores térmicos que tienen la función de transformar esta energía irradiada en información la cual es presentada mediante una imagen [18].

1.7 Aplicación de la termografía

A nivel técnico, la aplicación de la termografía permite visualizar los patrones de temperatura de sistemas e instalaciones eléctricas. Los posibles riesgos de fallos en los sistemas eléctricos es un exceso de temperatura. [7].

A continuación, en la Tabla 1-2 Termografía en cadena de aisladores se muestra una imagen térmica y una real, tomadas en una inspección con el fin de evaluar la condición de aisladores, en la cadena de aisladores se puede apreciar puntos calientes.

Tabla 1-2 Termografía en cadena de aisladores [9].



1.8 Cámaras Térmicas.

En la Tabla 1-3. Cámara Termográfica FLIR T600 se describen las especificaciones y funciones, es importante mencionar que este modelo de cámara es de piso es decir no puede ser adaptada a un dron.

Tabla 1-2 Cámara Termográfica FLIR T600 [19].

Modelo	Imagen	Especificaciones	Funciones
FLIR T600		Resolución de infrarrojos 480 x 360 pixeles. Rangos de altas temperaturas hasta 650°C Campo de visión 25° x19° Distancia focal mínima 0.25m Zoom digital 4X	Localizar problemas eléctricos, mecánicos, puntos calientes Mantenimiento preventivo.

A continuación, en la Tabla 1-4. Cámara Zenmuse H20T se describen las especificaciones y funciones, además se muestra una imagen tomada con dicha cámara integrada al dron Dji Matrice 300 RTK.

Tabla 1-3 Cámara Zenmuse H20T [20].

Modelo	Imagen	Especificaciones	Funciones
Zenmuse H20T		Resolución de infrarrojos 640 x 512 píxeles. Medidor de distancia láser 1200m Impermeabilidad IP44 Estabilización de imagen activa y EIS. Zoom 23x Zoom híbrido.	Capturas aéreas y a larga distancia, permite visualizar puntos calientes con el fin de realizar un mantenimiento preventivo.

1.9 Líneas de distribución eléctrica

Son encargadas de unir las centrales eléctricas con los puntos de consumo a través de las subestaciones permitiendo el transporte y distribución de energía eléctrica [21].

Uno de los aspectos a tomar en cuenta al realizar inspecciones termográficas de las líneas de alta tensión será su accesibilidad. En este sentido podemos considerar tres formas básicas de inspección:

1.9.1 Inspecciones aéreas

Este método se utiliza principalmente cuando es necesario inspeccionar grandes distancias en líneas de transmisión o de difícil acceso. Actualmente se utiliza los drones para realizar inspecciones aéreas. El Drone DJI MATRICE 300 RTK con cámara Zenmuse H20T permite realizar este tipo de inspecciones con la aplicación de la termografía aérea en los sistemas eléctricos.

1.9.2 Inspecciones a pie

La inspección a pie permite una revisión preventiva en zonas accesibles y la revisión de forma puntual en aquellos casos en los que realizan labores de mantenimiento y reparación.

Presenta la ventaja del gran contraste de las imágenes termográficas ya que al estar tomadas en piso no refleja vegetación, pastos, asfalto o terreno. Los cuales al estar a temperatura ambiente proporcionan un menor contraste con los sistemas eléctricos. [14]

1.10 Características y condiciones en cables.

1.10.1 Cables guarda

Son cables sin tensión ubicados en la parte superior de los apoyos, su función principal es generar un equipotencial de tierra en todo el trazado de la línea, reduciendo su resistencia. [21]

La utilización del cable guarda, permite la protección en las líneas eléctricas contra sobre tensiones ocasionadas por descargas atmosféricas

El equipotencial en la línea disminuye la posibilidad de electrocución, minimiza las tensiones de paso, produce puntos de baja resistencia eléctrica colocados en las zonas más altas de las torres, lo que facilita la incidencia de rayos.

1.10.2 Conductores.

Son elementos que están compuestos por cuerdas de hilos, generalmente de cobre o de aluminio, reforzados por acero. No poseen revestimiento. Son ubicados de manera que sus secciones formen los vértices de un triángulo equilátero, ocasionando que la tensión inductiva sea distinta para cada conductor.

Es común observar la disposición de estos en un mismo plano y la disposición de conductor en haz en la que los apoyos cuentan con dos circuitos o más, estando cada fase

constituida por más de un conductor. Es necesario utilizar cables de guarda para poder proteger estos conductores de rayos. [21]

1.11 Características y condiciones en aisladores

Los Aisladores son elementos utilizados para soportar mecánicamente los conductores de las líneas y a los apoyos asegurando el aislamiento entre conductores o conductor entre fase y estructura. Se fabrican de materiales dieléctricos como el vidrio, porcelana o resinas epoxi. Existen tres tipos de aisladores a continuación, en la Tabla 1-5. Tipos de aisladores y características se detalla cada uno:

Tabla 1-4 Tipos de aisladores y características [22].

Tipo de Aislador	Características	Fotos
Aislador de Porcelana	<ul style="list-style-type: none"> • Resistentes a la degradación de la superficie. • Alta resistencia térmica. • Soporta temperaturas hasta 1000°C • No se deforma al menos que se aplique una fuerza externa. 	
Aislador de Vidrio	<ol style="list-style-type: none"> 1. Costo inferior al de porcelana. 2. Alta dureza, resistencia mecánica y estabilidad a cambios de temperatura 	
Aislador Polimérico	<ol style="list-style-type: none"> 3. Resistencia mecánica. 4. Pequeño, liviano, fácil instalación 5. Alta estabilidad térmica 	

1.12 Niveles de Voltaje en Ecuador.

A nivel de Latinoamérica, en el que incluye a Ecuador. El voltaje estándar es de 120V con una frecuencia de 60Hz, la cual están diseñadas para que trabajen los aparatos eléctricos, en la tabla 1-6. Se indican los niveles de voltaje en Ecuador.

Tabla 1-5. Niveles de Voltaje en Ecuador [23].

Niveles de Voltaje	
Bajo Voltaje	<0,6kV
Medio Voltaje	0,6 kV- 40kV
Alto Voltaje	>40kV

1.13 Tipos de Torres por geometría

Es importante al momento de iniciar cualquier tipo de inspección definir correctamente la geometría que van a tener las torres de transmisión en función de sus requerimientos, se tomara en cuenta el tipo de carga según el consumo de energía, a continuación, en la Fig. 1-3. Geometrías para torres de transmisión se muestran los tipos de geometría desde 45kV hasta 420 kV.

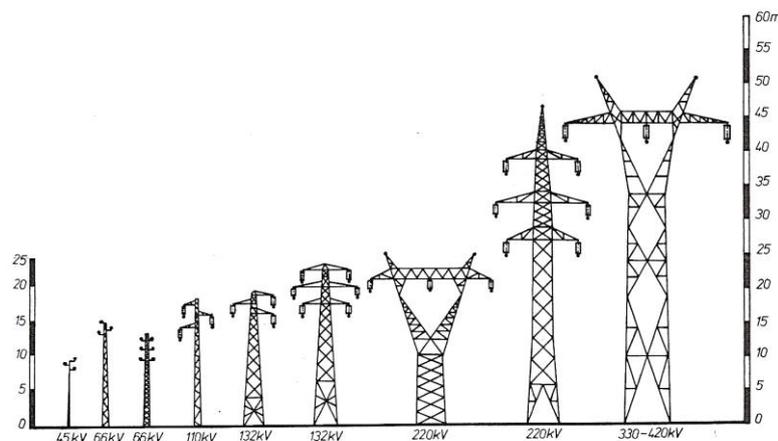


Fig. 1-3 Geometrías para torres de transmisión [24].

1.14 Problemas detectables a través de temperatura.

La termografía infrarroja hoy en día es una herramienta predictiva a continuación se presenta las causas de una variación térmica:

1.14.1 Tornillería Floja

Es una de las más frecuentes debido a una mala conexión provoca aumento de resistencia por lo tanto aumento de temperatura a continuación en la Fig. 1-4. Problema de conexiones flojas se presenta un ejemplo en una subestación, la tornillería floja provoca existencia puntos calientes con una diferencia de temperatura mayor a 53.0 °C [19].

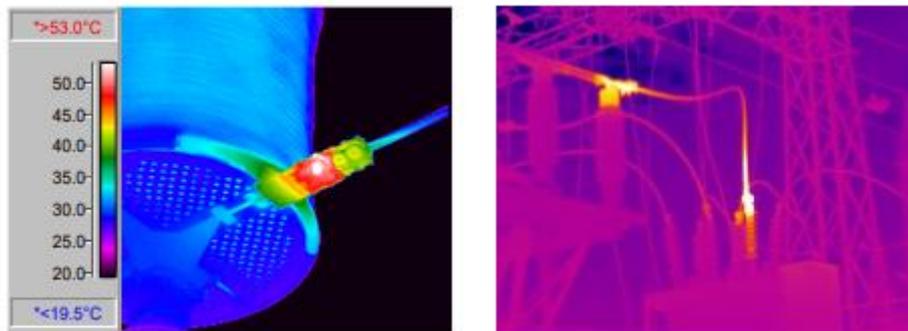


Fig. 1-4 Problema de conexiones flojas [19].

1.14.2 Desbalance de Carga

Se presenta cuando la intensidad que soportan los componentes se encuentra por arriba de los nominales a los cuales fueron fabricados, lo cual es muy perjudicial para la estabilidad del sistema ocasionando problemas como pérdidas adicionales de potencia y energía en la siguiente imagen Fig. 1-5. Problemas con conector, la cual es una de las consecuencias de un desbalance de carga [25].

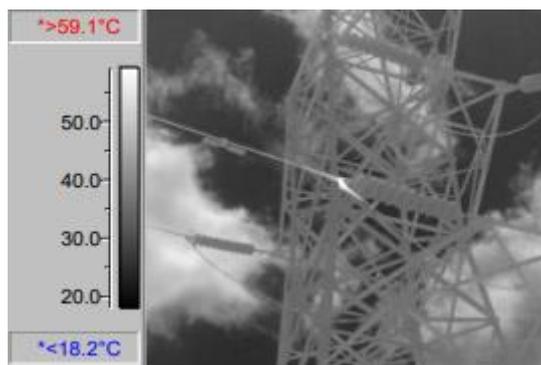


Fig. 1-5 Problemas con conector [25]

1.14.3 Problemas de equipo.

Se presentan debido a la degradación de la vida de los elementos que conforman una torre de transmisión eléctrica, los cuales pueden ser provocados por corrosión atmosférica, es una causa de la destrucción de metales y aleaciones para lo cual se recomienda realizar inspecciones y dar a conocer un plan de mantenimiento, en la siguiente imagen Fig. 1-6. Se muestra un aislador en donde se puede apreciar la corrosión provocada por las condiciones ambientales del lugar [26].

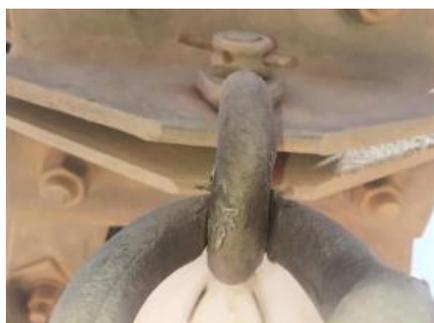


Fig. 1-6 Problemas de equipo [19]

1.15 Aspectos a tener en cuenta

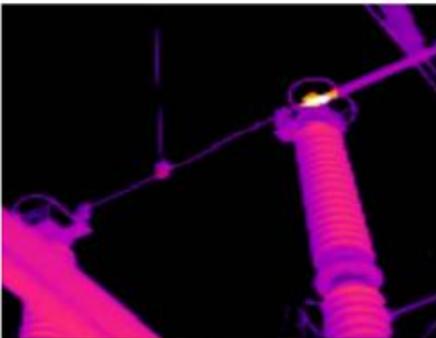
A continuación, se muestran los aspectos que se deben tomar en cuenta al realizar una inspección térmica los cuales son las condiciones ambientales y aspectos ligados a la propia instalación.

1.15.1 Condiciones Ambientales

Se debe tomar en cuenta los aspectos ambientales y atmosféricos los cuales pueden ser la velocidad del viento y el fenómeno de reflexión del sol como se explica a continuación:

La velocidad del viento, es un factor que incrementa la transferencia de calor por convección entre los elementos calientes y el medio, lo cual puede dar lugar a una reducción de la temperatura de los puntos críticos, enmascarando problemas que pueden ser graves, en la siguiente tabla se muestra imágenes termográficas una tomada con viento de 14 km/h y otra tomada sin viento por lo cual se recomienda evitar realizar inspecciones termográficas para velocidades del viento superiores a los 16 km/hora. [7]

Tabla 1-6 Termogramas con influencia del viento [7].

a) Termografía tomada con un viento de 14 km/h	Termografía tomada sin viento
	

1.15.2 Aspectos ligados a la propia instalación.

Dentro de los aspectos que están ligados a la propia instalación tendríamos:

Se debe tomar en cuenta el nivel de carga de la línea, no se recomienda realizar inspecciones con niveles de carga inferiores al 30%, en este sentido la época del año también es importante a la hora de planificar las inspecciones térmicas debido a los picos

de consumo que existen en periodos como invierno por el uso de sistemas de climatización [7].

Otro aspecto a tomar en cuenta es la altura de las torres, dada la diferente altura de las torres de distribución eléctrica la resolución espacial nos determina el objeto más pequeño que es capaz de ver la cámara y la resolución óptica nos determina el objeto más pequeño para el cual se pueden obtener mediciones de temperatura precisas. Ambos aspectos dependen del tipo de sensor y por la óptica de la cámara los cuales se deben tener en cuenta a la hora de considerar la distancia desde la que vamos a realizar las termografías [7].

1.16 Criterios de Evaluación

Para el análisis térmico se toma en cuenta la siguiente Tabla 1.8 Normativa internacional la cual muestra las fallas eléctricas según la norma NETA (International Electric Testing Association). ISO 100.18.

En la tabla se indica los aspectos a tomar en cuenta como son los valores de diferencia de Temperatura en componentes eléctricos similares bajo la misma condición de carga, clasificándose en 4 niveles de criticidad y dando un el plan de acción a seguir según su criterio [26].

Los criterios de evaluación serán aplicados para el desarrollo del sistema y considerados requisitos para detección de fallos mediante procesamiento de imágenes termográficas, se los considerara de la siguiente manera, riesgo tolerable el cual es considerado normal, riesgo importante considerado como leve, riesgo crítico considerado como grave, y riesgo muy crítico considerado como muy grave.

Tabla 1-7 Normativa Internacional [27]

Valores de Diferencia de T° en referencia a T° de componente similar bajo igual condición de carga	Valores de Diferencia de T° en referencia a T° normal (ambiente)	Plan acción	Descripción y Nivel de riesgo	Nivel de Criticidad
1 °C – 3 °C	1 °C – 10 °C	Iniciar plan de mantención y verificación	Posible deficiencia o defecto. Riesgo Tolerable	A
4 °C – 15 °C	11 °C – 20 °C	Reparación necesaria dentro de plazos acordes	Probable deficiencia o defecto. Riesgo Importante	B
-----	21 °C – 40 °C	Monitorear hasta que se realicen las medidas correctivas	Deficiencia o defecto mayor. Riesgo Crítico	C
> 15 °C	> 40 °C	Reparación inmediata Peligro constante	Deficiencia o defecto mayor. Riesgo Crítico	D

1.17 Visión Artificial

La visión artificial o visión por computadora se define como el proceso para obtener e interpretar información de imágenes o videos y luego comprenderlas, es la transformación de un fotograma en una decisión o nueva representación con el fin de satisfacer necesidades del consumidor [27].

La visión artificial es una tecnología fundamental en la automatización permite acelerar la producción y optimizar la fabricación, en un futuro la IA continuara mejorando en la solución de problemas mientras que los seres humanos permanecerán sin cambios [28].

1.18 Procesamiento de imágenes

El procesamiento de imágenes es importante en la visión por computadora tiene como objetivo la descripción y reconocimiento del contenido de una imagen digital, procesarla hasta crear una versión modificada de las imágenes a través de filtros, segmentar las imagenes con el fin de mejorar la imagen para alguna aplicación en particular, o extraer algún tipo de información útil de ella [29].

1.19 Interfaz gráfica de usuario

La interfaz gráfica de usuario es un método para facilitar la interacción de usuario con el ordenador a través de la utilización de componentes como botones, paneles, cajas de texto, etc. Proporcionando un diseño adaptado para los usuarios haciéndolo fácil de usar y aprender [30].

1.20 Normas de interfaz gráfica de usuario

Aplicando la Norma “Ergonomía del software para interfaces de usuario multimedia” es la NTE INEN-ISO 14915-1 [31], la misma que se basa en la norma internacional ISO 14915-1:2002 establece los principios de diseño en cada una de las interfaces de usuario multimedia y proporcionan una estructura en la que se incorporan medios estáticos, tales como textos, gráficos o imágenes, dinámicos, es decir audio, video animación. Los cuales son aspectos importantes al realizar una interfaz amigable, es decir de fácil uso para el usuario [30].

1.21 Lenguaje de programación Python aplicado en Visión Artificial

Python es un lenguaje de programación de alto nivel, orientado a objetos, es un lenguaje fácil e intuitivo, de código abierto. La velocidad de Python se ha extendido por todo el mundo es el resultado continuo de miles de programadores, es fácil de obtener, instalar y tiene muchas llamas al sistema y bibliotecas. Además, se puede utilizar como lenguaje de extensión para aplicaciones que requieren una interfaz programable. [32]

Una vez que se tiene claro que es el lenguaje de programación Python, hay que mencionar que una de librerías más importante de visión por computador es OpenCV.

La librería de OpenCV proporciona varios paquetes de alto nivel con el fin de desarrollar aplicaciones de visión los cuales se pueden agrupar en librerías de C/C++

proporcionando un marco de trabajo ideal en el desarrollo de la labor investigadora de cualquier grupo de visión [33].

1.22 Color RDB

El uso del color en el procesamiento de imágenes esta principalmente motivado por los colores, como RGB y CMYK. Los valores de RGB se encuentran a lo largo de tres ejes, basado en los colores primarios rojo, verde y azul que forman una luz blanca. El objetivo de un modelo de color es facilitar la especificación de colores de una forma normalizada [34].

1.23 Color HSV

El espacio de color HSV (Hue, Saturation, Value / Matiz, Saturación, Brillo), posee 3 componentes, similar al espacio de color RGB. Los valores que pueden tomar cada uno de los canales de HSV en OpenCV son H: 0 a 179 S: 0 a 255 V: 0 a 255. Los cuales son necesarios para la detección de colores.

1.24 Trabajos Previos

En este mismo contexto, Alfredo Miguel Pianeta Escudero [35] aplicó un modelo adaptativo de inteligencia artificial para la detección selectiva de fallas de alta impedancia, en líneas de transmisión de dos terminales de doble circuito; para lo cual, utilizó redes neuronales para la determinación de la región ideal de actuación de un relé de distancia. Esta implementación la región ideal de operación de un relé de distancia con redes neuronales, se fundamentó en el resultado de varias simulaciones.

Otra investigadora, Laura Patricia Bautista Fernández [36] utilizó redes neuronales para identificar 11 tipos de fallas en líneas de transmisión de alta tensión; durante esta

investigación, se creó una interfaz gráfica, que facilitó el uso de una herramienta de apoyo intuitiva para operarios de líneas de transmisión, utilizando el software MATLAB.

Eduardo Villanueva Domínguez [37], realizó un análisis modal partiendo de los perfiles dimensionados en el caso estático para determinar los modos de vibración de la torre, como parte del análisis estructural de una torre de alta tensión. Villanueva, simuló la acción sísmica en la torre mediante análisis modal - espectral, optimizando su masa, de forma que se favorezcan el comportamiento modal y la aceleración sísmica básica.

Sergio Cordón Luis [38], fue quién implementó el reconocimiento de torres mediante algoritmos de visión por computador e inteligencia artificial. Durante esta implementación, se desarrollaron algoritmos de visión por computador e inteligencia artificial para clasificar la posición de las torres de alta tensión en videos reales, los cuales pueden ser implementados en los UAVs. Con este método, se reducirían los impactos ambientales generados por el uso de los helicópteros para estos fines, y, además, se conseguiría disminuir los accidentes en los trabajos de inspección de torres.

Por otro lado, fue Luis Ernesto Velásquez Escobar [39] quien diagnosticó y evaluó las líneas de distribución de energía eléctrica por medio de termografía en las distintas localidades de la República. En su trabajo se determinaron las causas de origen eléctrico y mecánico que producen puntos calientes en la línea de distribución de energía eléctrica, de esta manera, conociendo los orígenes de las fallas, se pueden detectar los puntos que presentan altas temperaturas.

Otros investigadores como Lidia Yaneth Neita Duarte & Elkin Omar Peña Rodríguez [40], implementaron los principios básicos de la termografía infrarroja y su utilización como técnica para mantenimiento predictivo. En su investigación, documentaron con ese

sistema el procedimiento y las normas aplicadas para la detección de fallas, las mismas que pueden predecir mediante la técnica de termografía infrarroja.

Y finalmente, fue Morris William Diaz Saravia [41] quien estableció un sistema de detección de fallas por calentamiento en la infraestructura eléctrica y de telecomunicaciones, para lo que utilizó un vehículo aéreo no tripulado integrado con una cámara termográfica. Para este trabajo se desarrolló un UAV que integró una cámara termográfica de alta resolución, con estabilización con giroscopio, y, además, se construyó el sistema UAV para la detección de puntos calientes en infraestructuras eléctricas y telecomunicaciones.

Como se evidencia existen investigaciones en la inspección de líneas de alta tensión, sin embargo, no hay alguna en la se proponga el desarrollo de una interfaz gráfica que permita al usuario identificar el criterio de evaluación de riesgo de fallo por calentamiento desde una imagen termográfica, por lo tanto, se puede deducir la validación del presente trabajo de investigación.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se describe el proceso de programación y obtención de la interfaz gráfica para la detección de riesgo de fallo por calentamiento de imágenes termográficas en líneas de alta tensión, misma que está basada en el lenguaje Python debido a que es un lenguaje de programación de alto nivel el cual facilita el aprendizaje al igual que sus librerías de visión por computador [42].

2.1 Análisis de requerimientos

Los requerimientos para la programación y obtención de la interfaz de acuerdo con los objetivos planteados es que debe ser un software gratuito, por lo que se desarrolló con software libre.

A continuación, se detallan los requerimientos para el desarrollo de la interfaz:

- Instalación Python.
- Instalación de QT Designer.
- Instalación de librerías adicionales de Python.
- Imágenes termográficas

2.2 Adquisición de imágenes superficiales del terreno con UAV

La adquisición de imágenes termográficas se realizó con el Dron DJI Matrix 300 RTK (ver capítulo 1 epígrafe 1.3) con cámara Zenmuse H20T (ver capítulo 1 tabla 1.3) y con la cámara de piso FLIR T660 (ver capítulo 1 tabla 1.4) en líneas aéreas de alta tensión.

2.3 Diagrama de flujo de la interfaz

A continuación, se presenta el diagrama de flujo de la interfaz el cual describe el proceso de ejecución y funcionamiento del sistema realizado en la herramienta de diagramación en la web Lucidchart [44]

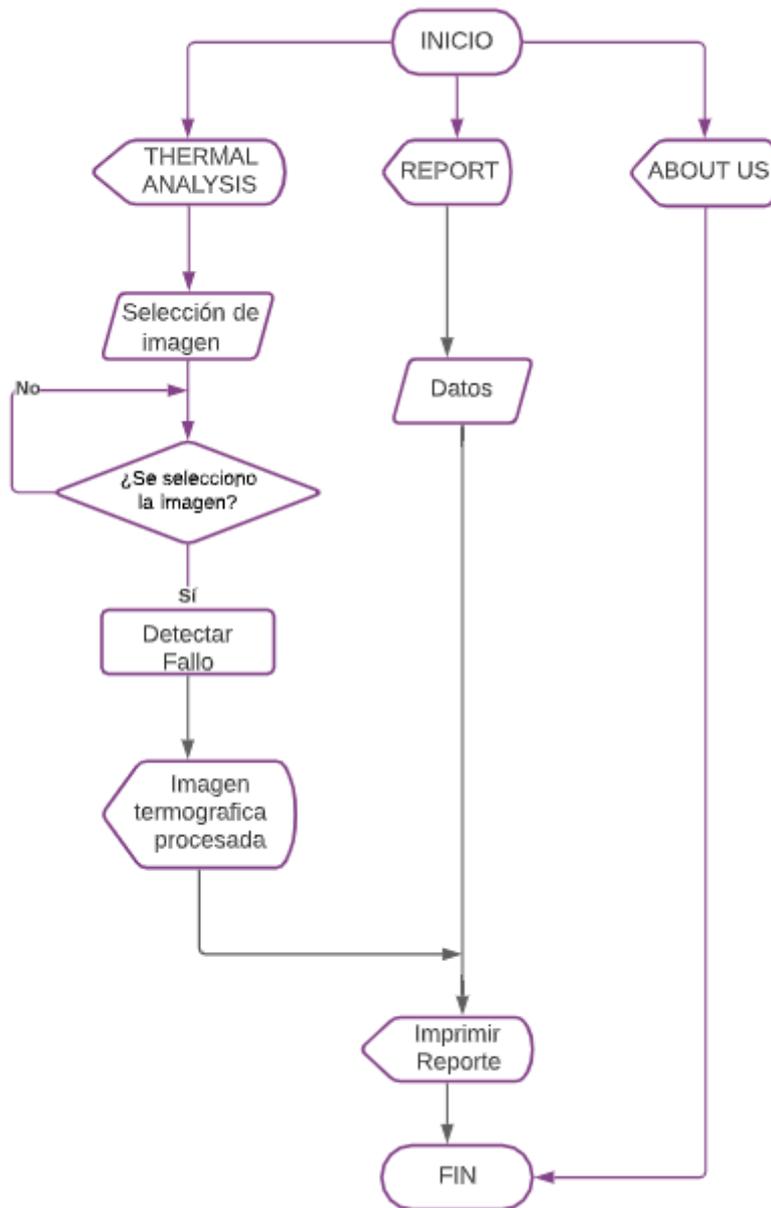


Fig. 2-1 Diagrama de Flujo de la interfaz

2.4 Python

El lenguaje de programación utilizado es Python, en su página oficial se puede descargar e instalar la versión y el sistema operativo que se necesite.

Para el desarrollo de este sistema se instaló la versión de Python 3.8.12 como se puede observar en la siguiente imagen Fig.2-2. Versión Python [43].

```
(Procesamiento Termico) C:\Users\Gabriela Moya>python
Python 3.8.12 | packaged by conda-forge | (default, Oct 12 2021, 21:22:46) [MSC v.1916 64 bit (AMD64)] on win32
Type "help", "copyright", "credits" or "license" for more information.
>>>
```

Fig. 2-2 Versión Python [43].

2.5 Anaconda Navigator

Anaconda es una distribución de código abierto en la cual se encuentra disponible diferentes aplicaciones, librerías y conceptos diseñados para el desarrollo de la ciencia de datos.

De igual manera ingresar a la página oficial de Anaconda, descargar e instalar para el sistema operativo que sea necesario.

En el cual se crea un ambiente para proceder a realizar la programación, en este caso se lo nombro procesamiento térmico, una vez creado el ambiente se podrá instalar las librerías y aplicaciones que sean necesarias [44].

En la siguiente imagen podemos visualizar la interfaz de Anaconda Navigator en la cual se puede buscar librerías (ver recuadro rojo de la Fig.2-3) e instalarlas. En este caso se encuentran instalados 237 librerías (ver recuadro azul de la fig.2-3)

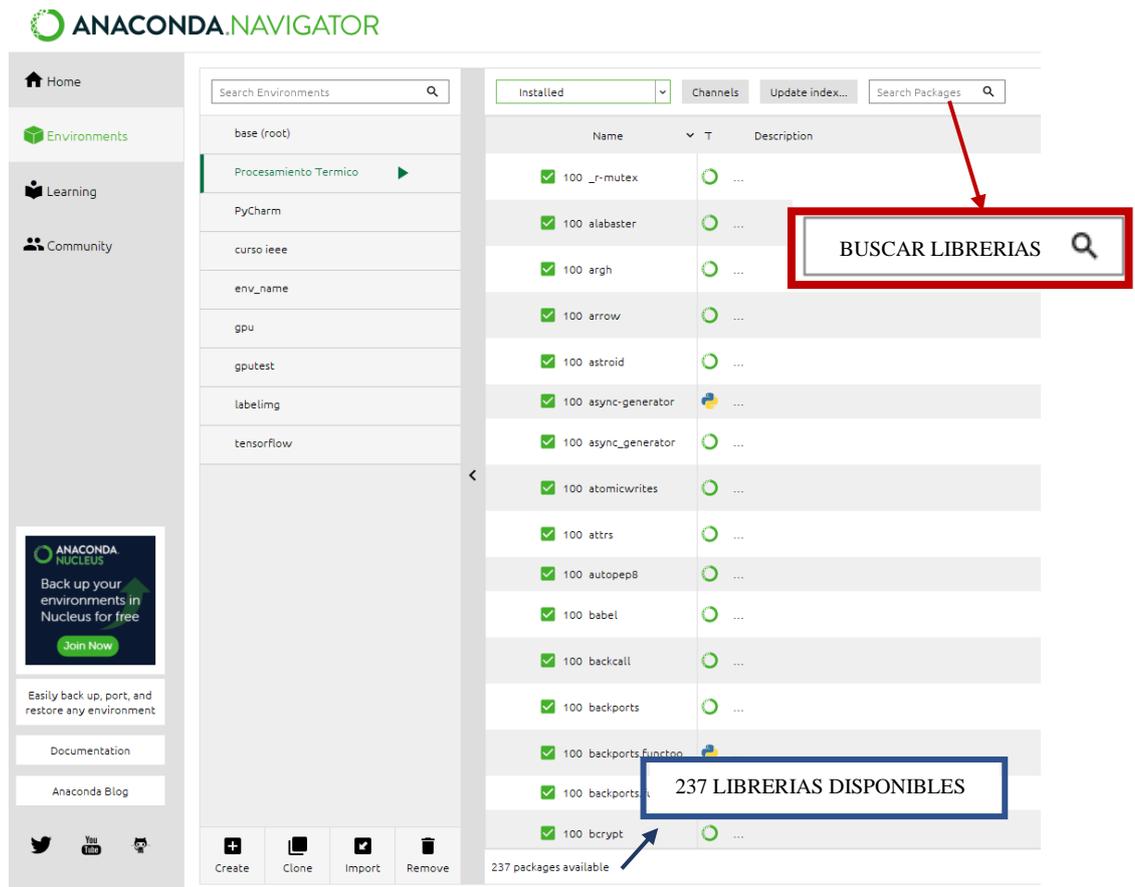


Fig. 2-3 Interfaz Anaconda Navigator [43].

2.6 Spyder

Spyder es un entorno científico gratuito y de código abierto escrito en Python y para Python.

Para instalar Spyder en Anaconda nos dirigimos a Home (ver recuadro azul de la fig.2-4) buscamos el icono de Spyder y seleccionamos instalar (ver recuadro rojo de la fig.2-4), en este caso se instaló la versión Spyder 5.2.1. [45]

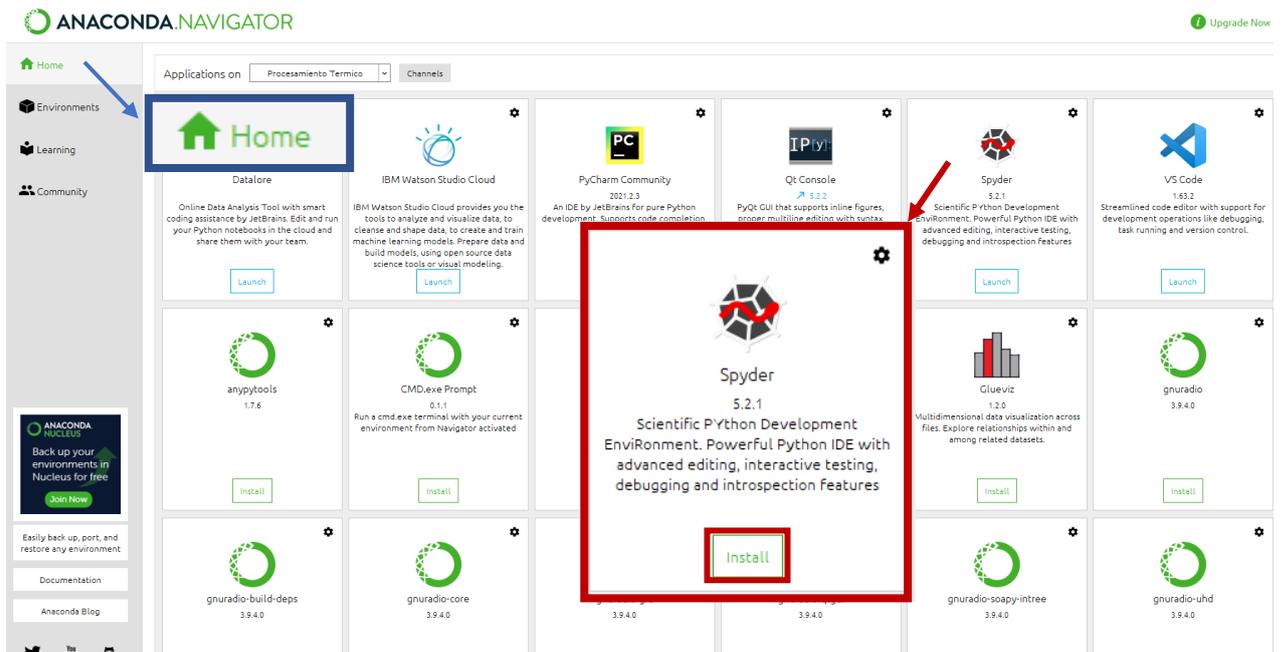


Fig. 2-4 Instalación de Spyder [45]. a) Botón Home b) Botón instalar spyder.

2.7 Librerías

Con el fin de desarrollar el sistema se debe instalar los siguientes módulos para la programación y desarrollo de la interfaz.

2.7.1 Numpy

Numpy es una biblioteca para el lenguaje de programación que tiene como objetivo permitir la creación de vectores y matrices [46].

Para la instalación se debe buscar la librería en Anaconda e instalar en el entorno deseado (ver epígrafe 2.2.) o se puede digital la línea de comando en el cmd:

```
pip install numpy
```

2.7.2 Open CV

Open CV proporciona una biblioteca, herramientas y hardware de visión por computadora optimizados en tiempo real [47].

Para la instalación se debe buscar la librería en Anaconda e instalar en el entorno deseado (ver epígrafe 2.2.) o se debe escribir en el terminal:

```
pip install opencv-python
```

2.7.3 PyQt5 Designer

Pyqt es una biblioteca gráfica de QT para el lenguaje de programación Python. Nos permite desarrollar aplicaciones en un entorno gráfico agradable.

Qt Designer permite obtener una vista previa de los GUI usando diferentes estilos y resoluciones, conectar señales crear menús y barras de herramientas [48].

Para su instalación se debe escribir en el terminal:

```
pip install pyqt5==5.12.3 --user
```

2.8 Interfaz de usuario

La interfaz de usuario debe ser intuitiva y fácil de usar para lo cual se implementó con ayuda del flujograma realizado cumpliendo con los requisitos del sistema.

2.9 QT Designer

Una vez instalada la versión más reciente de PyQt 5, y el editor gráfico Qt Designer.

Para abrirlo se debe escribir en el terminal:

```
designer
```

Se abre el programa, cada vez que ponemos en marcha el programa nos pide que queremos crear, seleccionamos “Widget” la cual representara la raíz del programa gráfico.

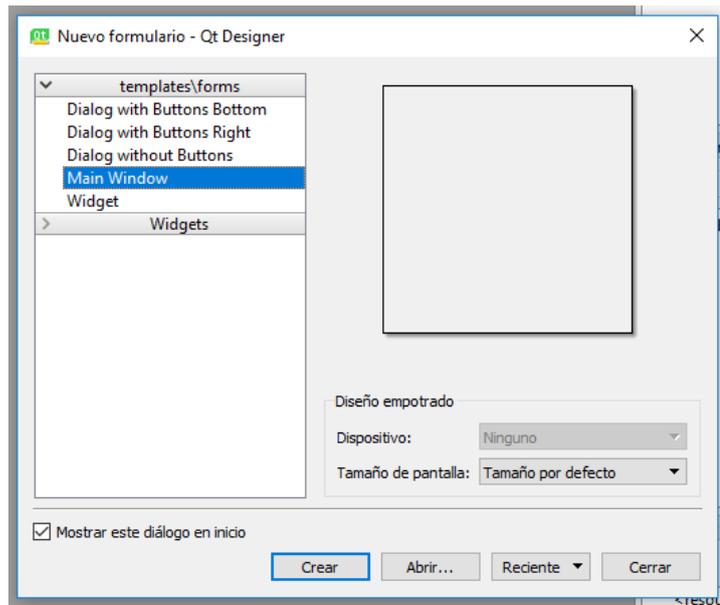


Fig. 2-5 Nuevo Formulario en QT Designer.

Al presionar crear, la interfaz se divide en cuatro áreas que se muestran a continuación:

Área de control, área de edición, área de proyecto, área de propiedades.

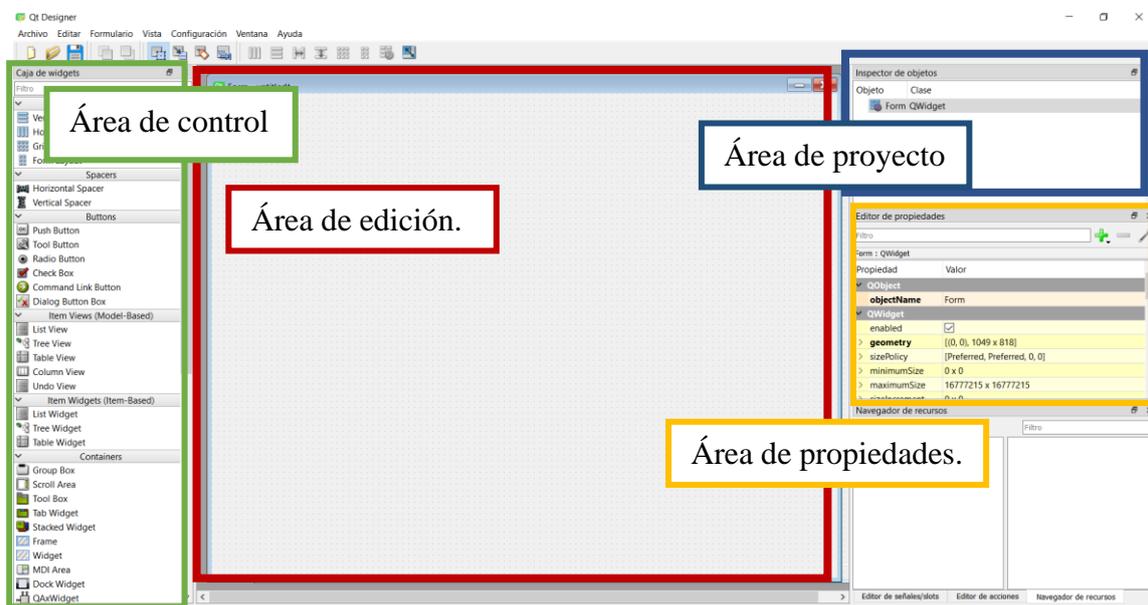


Fig. 2-6 Nuevo Formulario en QT Designer.

En el área de control comenzamos a diseñar según el flujograma (ver Fig.2.1) seleccionar “Tab Widget” y arrastrarlo hasta el área de edición, como se muestra a continuación.

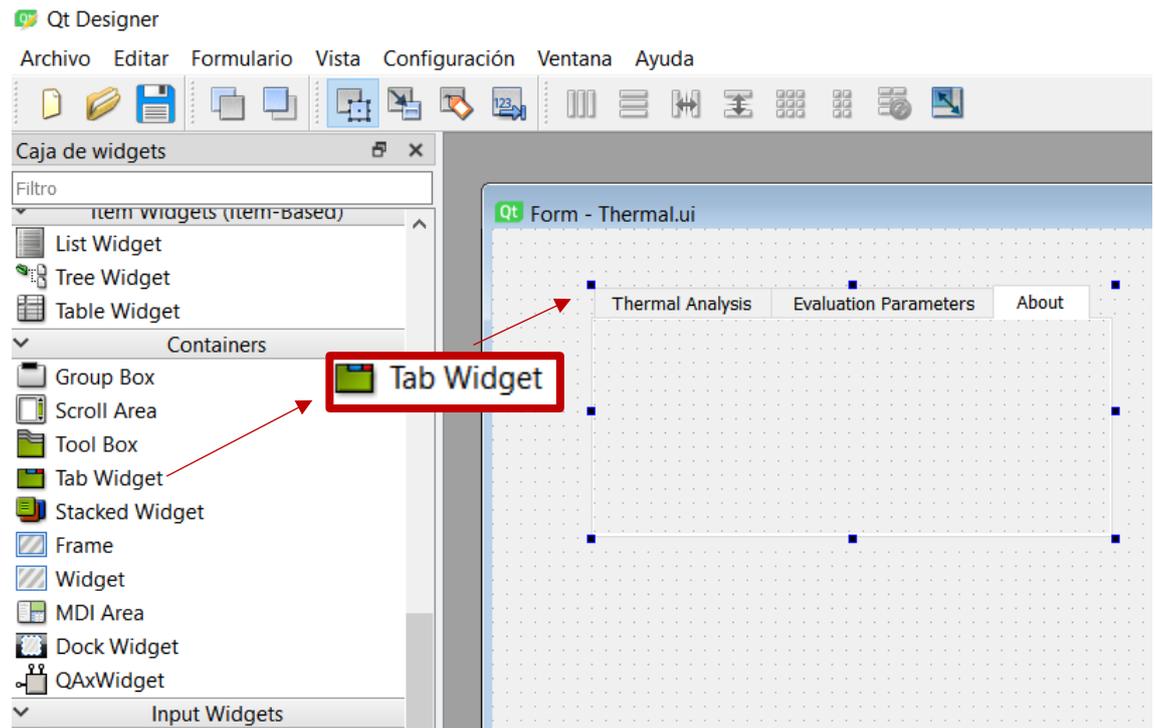


Fig. 2-7 Nuevo Formulario en QT Designer.

A continuación, en el área de propiedades se debe editar el nombre en current TabText como se muestra a en la figura 2.8, en este caso se colocó los nombres de las 3 pestañas Thermal Análisis, Evaluación Parameters, About.

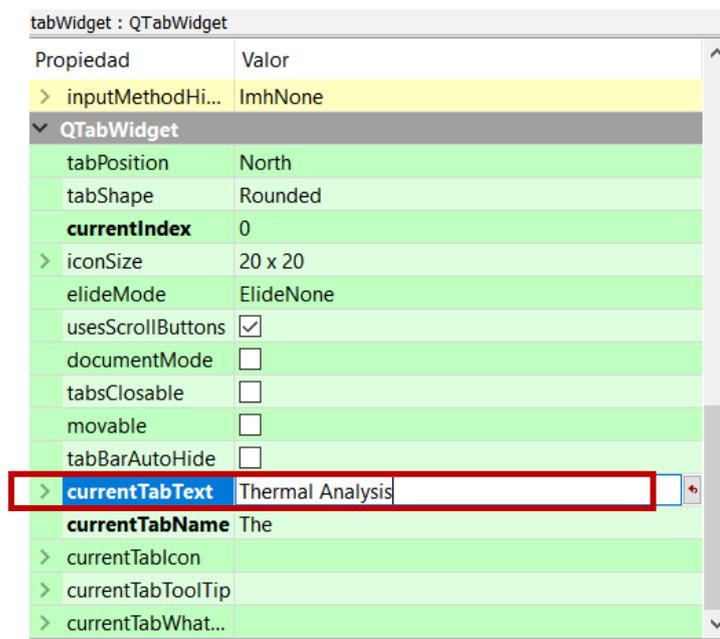


Fig. 2-8 Editar texto en área de propiedades.

En el diseño de la primera pestaña Thermal Analysis se insertará una imagen para ello se selecciona label (ver recuadro rojo fig. 2.9) y se arrastra hasta el área de diseño, y dentro del área de propiedades escogemos pixmap en el cual se escoge la imagen, para mantener su escala se debe dar un visto en scaledConts (ver recuadro azul Fig.2-10.)

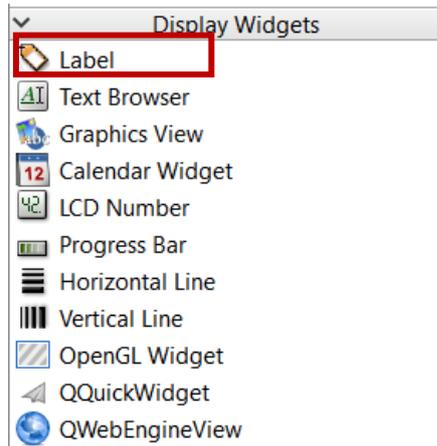


Fig. 2-9 Selección de Label.



Fig. 2-10 Insertar una imagen y ajustar su escala.

Otra de las funciones que nos brinda QT Designer es insertar botones para ello en el área de control se encuentran todos los botones disponibles como se muestra en la Fig. 2-11 Insertar Botones.



Fig. 2-11 Insertar Botones.

En este caso se seleccionó el Push Button para colocar el botón de finalizar de la pantalla para configurar su conexión se debe dirigir al botón de editar señales (ver recuadro rojo de la figura 2-12) en el cual se coloca en pushButton clicked y en From (QWidget) dando así una salida en el momento que se seleccione el botón Finalizar.

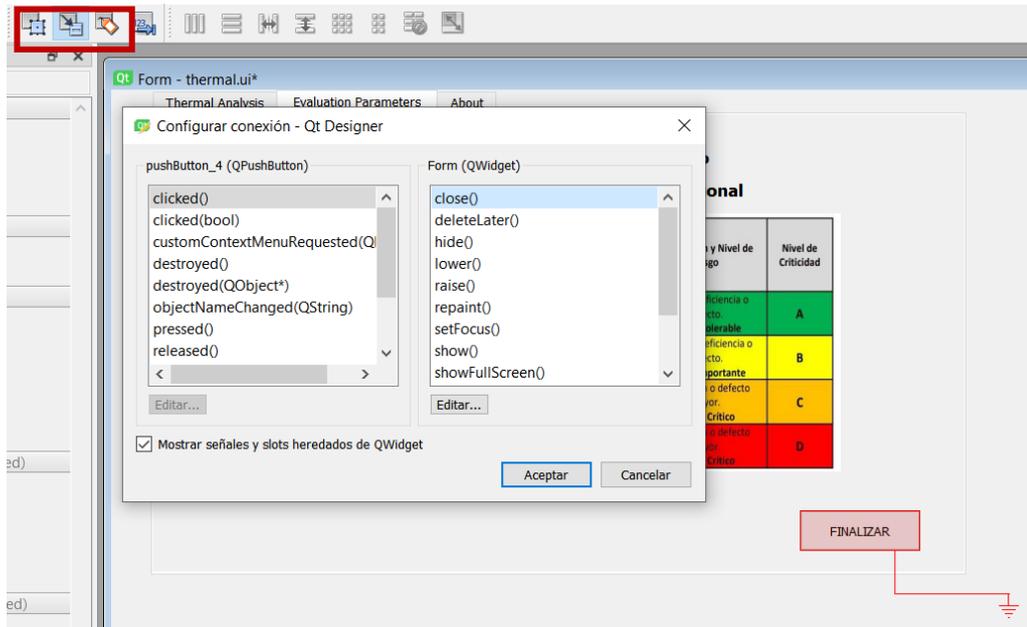


Fig. 2-12 Configuración de conexión de botones.

En la interfaz las imágenes aparecerán con un borde para lo cual insertamos un label vacío se debe dar clic derecho y elegir la opción cambiar hoja de estilo (ver recuadros rojo Fig. 2-13) en la cual escribimos lo siguiente:

```
border: 1px solid blue
```

En el cual se puede cambiar el color de borde, para la imagen procesada se colocó un bordo rojo para lo cual se escribió lo siguiente:

```
border: 1px solid red
```

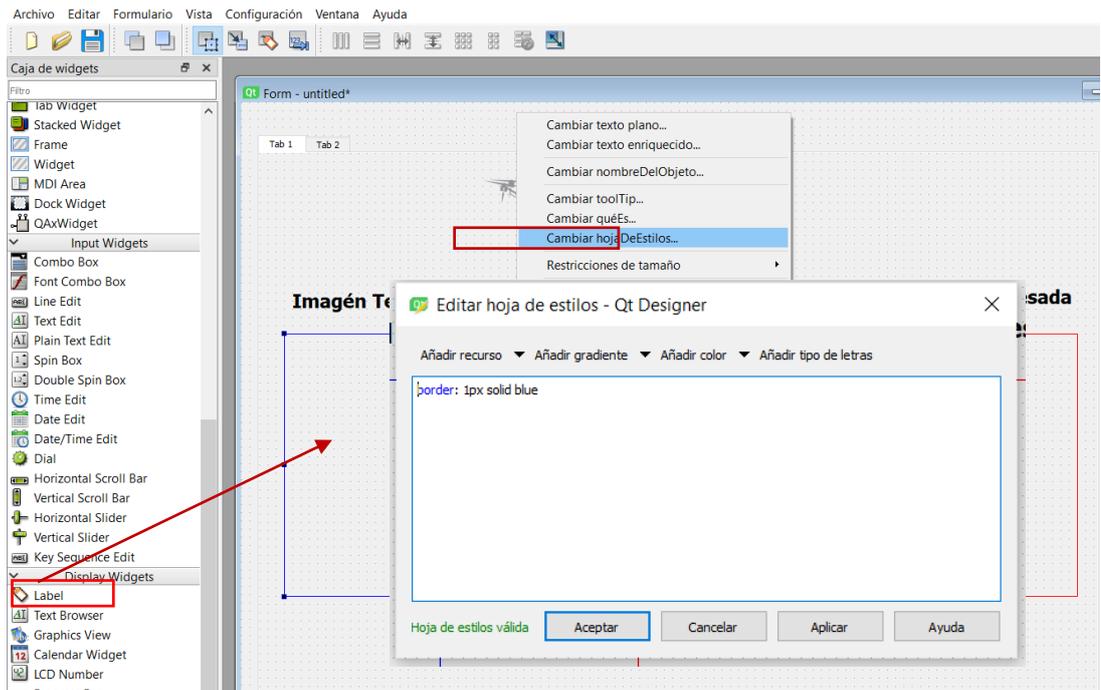


Fig. 2-13 Borde en label.

En el caso del diseño de los botones, de igual manera se debe dar clic derecho y elegir la opción de cambiar hoja de datos y colocar lo siguiente:

```
border-radius: 15px;
background-color: rgb (0,255,127);
```

En este caso colocamos el botón abrir imagen de color verde con un borde circular, como se muestra en la imagen 2-14. Borde botones.

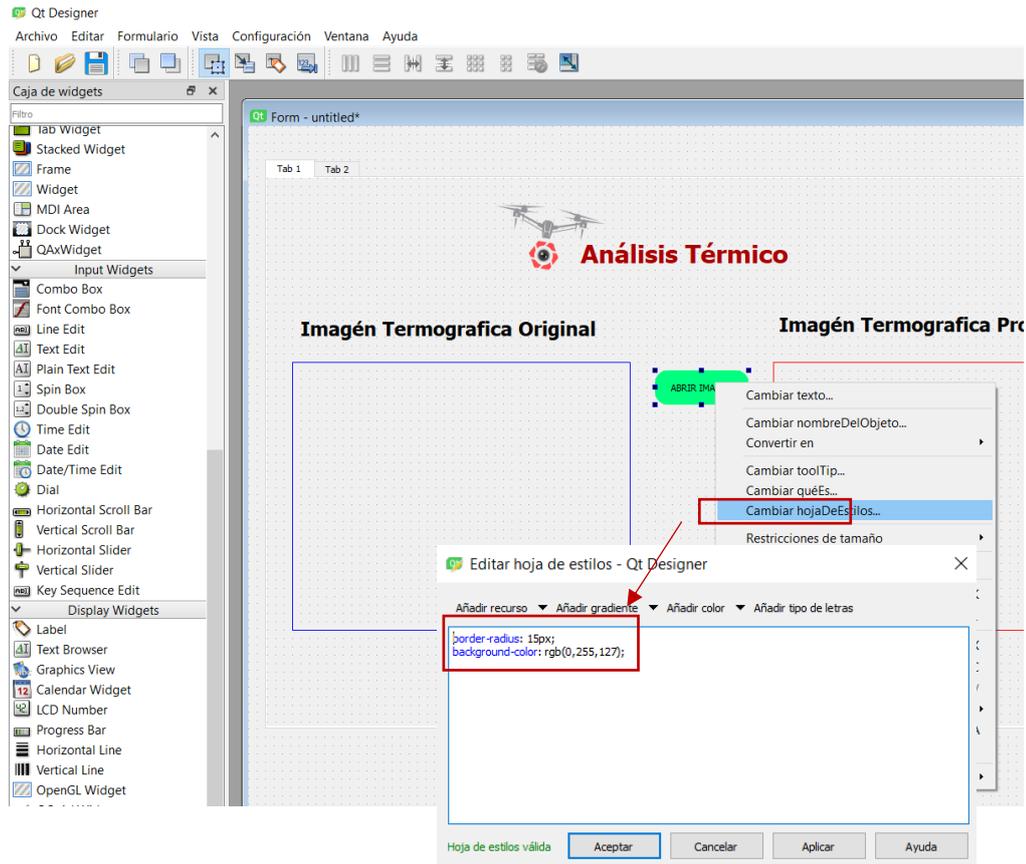


Fig. 2-14 Borde botones.

2.10 Exportando ventana .ui a .py

Al concluir con el diseño de la interfaz se debe guardar en un archivo .UI para luego pasarlo a Python en el cual podemos trabajar con el código, se recomienda guardar el archivo en una ubicación de fácil acceso para la consola, a continuación, en la Fig. 2-15. Guardar archivo se muestra la ubicación del archivo .UI

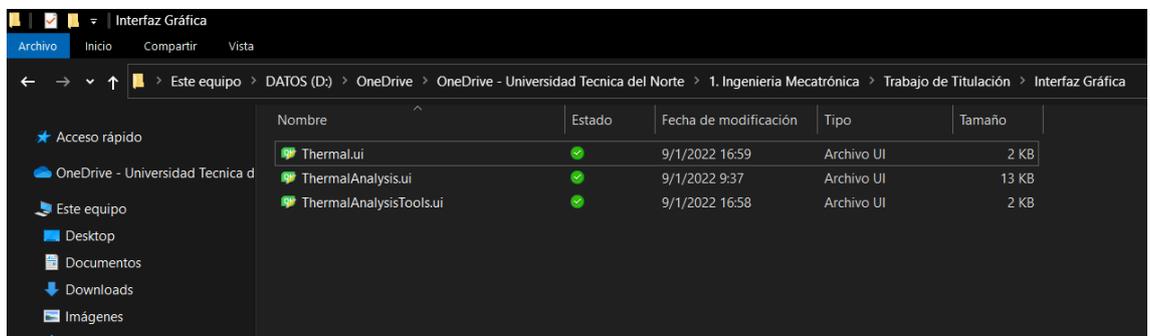


Fig. 2-15 Guardar archivo .UI

Una vez guardado el archivo .ui vamos a convertirlo a .py para lo cual nos colocamos en la ubicación del archivo y ejecutamos el símbolo del sistema CMD (ver recuadro rojo de la Fig.2-17.)

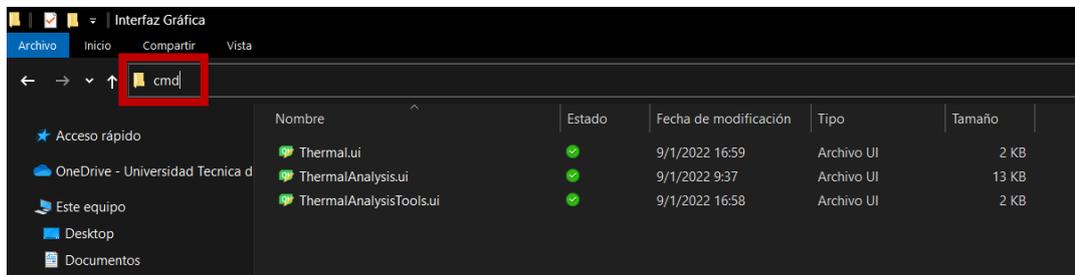


Fig. 2-16 Ejecutar CMD en la ubicación del archivo .ui

En el CMD digite la siguiente línea de comando la cual permite convertir un archivo .ui a .py

```
pyuic5 -x NombreArchivo.ui -o NombreArchivo.py
```

donde:

- pyuic5: versión Pyqt, el número cambiara según la versión instalada.
- NombreArchivo.ui: Nombre del archivo creado en QT Designer.
- NombreArchivo.py: Nombre del archivo que se creara una vez convertido.

A continuación, se mostrará el archivo .py listo para continuar con la programación.

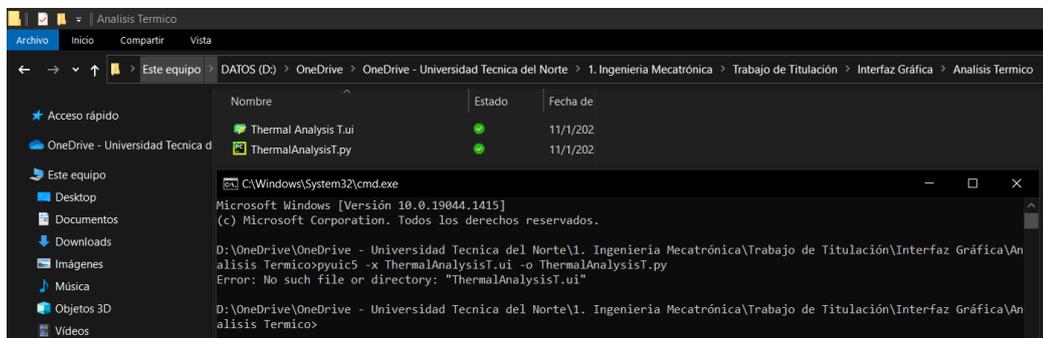


Fig. 2-17 Convertir archivo .ui a .py

Al abrir el archivo .py y ejecutarlo se visualizará la interfaz.

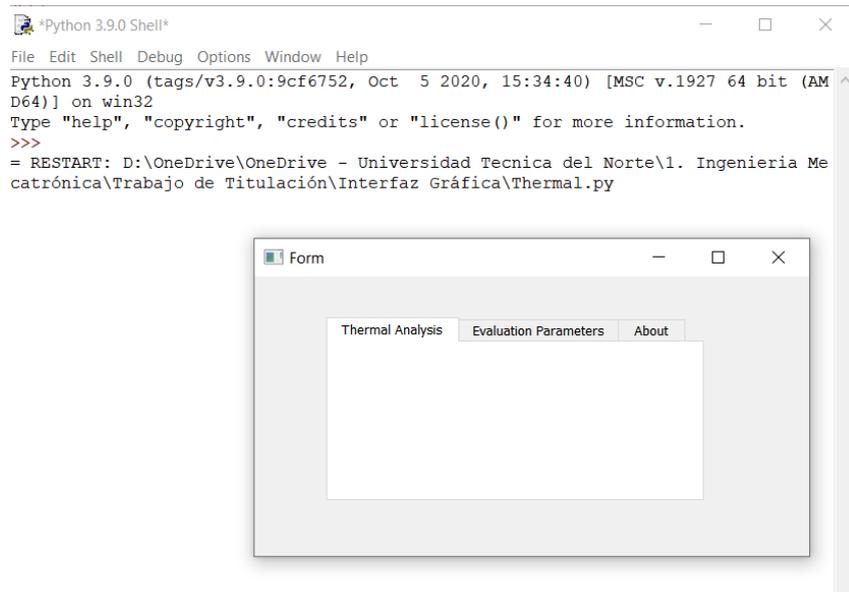


Fig. 2-18 Interfaz

5.1.1. Examinando y comprendiendo el código.

Todo modulo o código Python tiene atributos los cuales en este caso fueron dados por QT Designer, en el área de propiedades es posible editar cada uno de ellos con el fin de facilitar la programación al encontrar fácilmente los botones en el archivo .py.

En los recuadros azules de la fig. 2 -19 se muestra en donde se debe editar el nombre original.

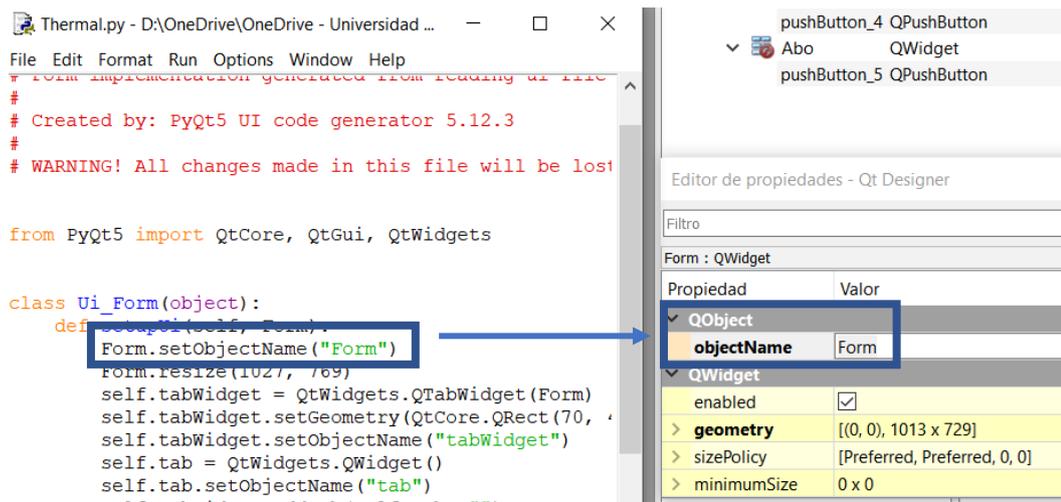


Fig. 2-19 Edición de botones.

Una vez concluido la edición de botones se procede a realizar la programación en el archivo .py para identificar criterios de evaluación de riesgos de fallos por calentamiento en líneas aéreas de alta tensión.

CAPÍTULO III

3. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan las pruebas y análisis con el fin de verificar el correcto funcionamiento de la interfaz gráfica, así como su correcta programación.

3.1 Resultados

Una vez concluido con el desarrollo de la interfaz gráfica de usuario, se logró identificar criterios de evaluación de riesgo de fallos por calentamiento.

3.1.1 Descripción general de la GUI

Se ha desarrollado una interfaz gráfica para la adquisición y procesamiento desde una imagen con cámara termográfica, en el presente trabajo se utilizó imágenes de un Dron con cámara termográfica la cual permite identificar criterios de evaluación de riesgos de fallos por calentamiento en las líneas aéreas de alta tensión.

Una imagen termográfica permite identificar puntos calientes, la detección de puntos calientes en líneas aéreas de alta tensión permiten evaluar el riesgo de fallo eléctrico con el fin de realizar mantenimientos preventivos y correctivos con mayor eficacia.

3.1.2 Diseño de la interfaz gráfica de usuario

En el desarrollo de la interfaz gráfica de usuario se utilizó el previamente mencionado en el epígrafe 2.9. en el cual se desarrolló 3 pestañas de la interfaz considerando una correcta ejecución y ergonomía para el usuario.

A continuación, se muestra la interfaz desarrollada en QT designer y su programación en Python.

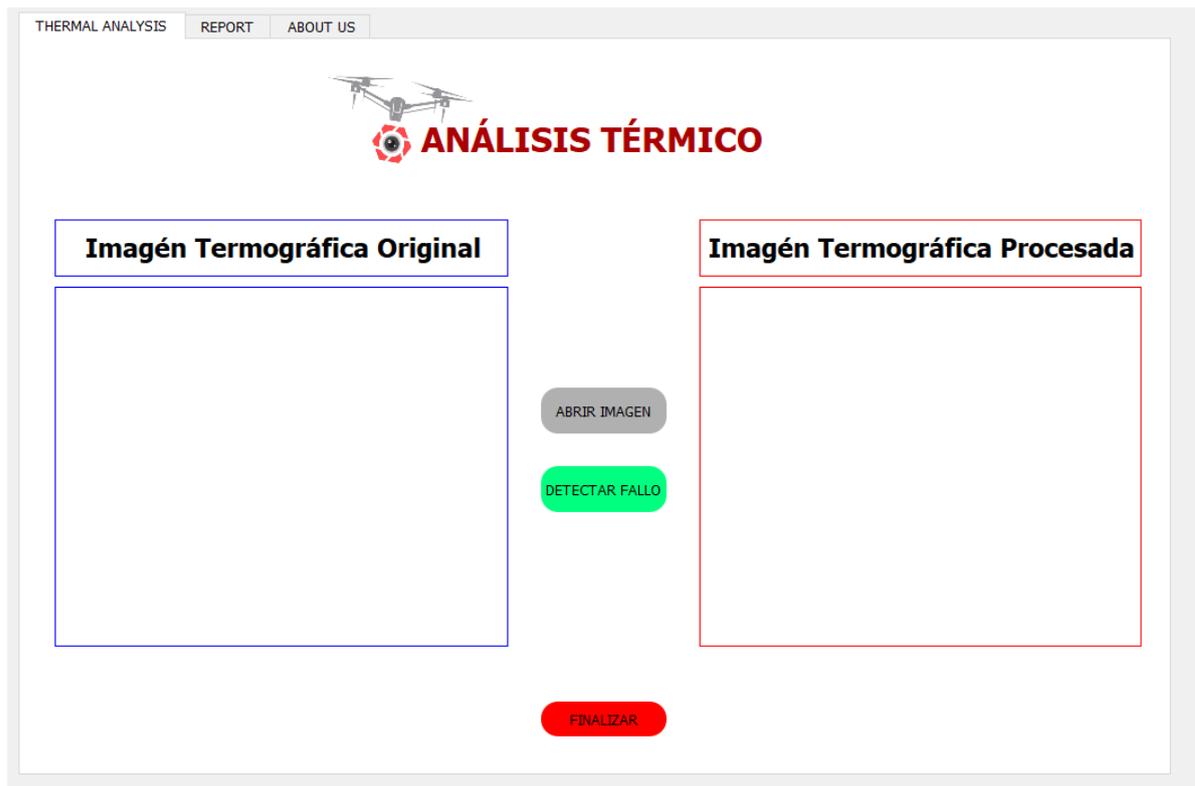


Fig. 3-1 Diseño pestaña Thermal Analysis.

En la figura 3.1 se muestra la interfaz gráfica de usuario ubicada en la pestaña de Thermal Analysis, la cual será utilizada para realizar la detección de fallo, siguiendo un criterio de evaluación mencionado en epígrafe 1. 16.

La interfaz cuenta con un botón ABRIR IMAGEN, el cual permite al usuario subir la imagen termográfica con el fin de realizar el procesamiento, con el botón funcional DETECTAR FALLO el cual permite evaluar riesgo de fallo según normativa, Finalmente cuenta con un botón FINALIZAR el cual permite salir de la interfaz.

THERMAL ANALYSIS REPORT ABOUT US

REPORTE TERMOGRÁFICO

Complete los siguientes datos

NOMBRE DE LA EMPRESA : **FECHA DE INSPECCIÓN:**

LINEA:

TORRE N°:

COMENTARIO:

IMPRIMIR REPORTE

Fig. 3-2 Reporte Termográfico.

En la pestaña Figura 3-2.se muestra la interfaz de usuario en la pestaña de REPORT, en la cual se puede desarrollar un reporte termográfico, para lo cual el usuario podrá ingresar el nombre de la empresa, fecha de inspección, línea, numero de torre y un comentario, lo que permitirá al usuario obtener un pdf con los resultados de su inspección en el que incluye la imagen procesada con el criterio de evaluación, permitiendo realizar una inspección con mejores tiempos y a su vez obtener soluciones inmediatas de ser necesarias.



Fig. 3-3 Contacto para el usuario.

Finalmente, en la figura 3-3. Se muestra la pestaña de ABOUT US la cual permite al usuario tener la información de contacto con el autor de la interfaz gráfica, y muestran las imágenes donde se realizó el presente trabajo con dos tipos de cámaras termográficas, una de piso y la cámara del del Dron.

3.2 Pruebas y Análisis de resultados.

Una vez concluido el desarrollo y programación de la interfaz gráfica, se comprobó el correcto funcionamiento de la interfaz como se indica a continuación.

En la Fig. 3-4. se muestra la imagen termográfica adquirida desde un Dron DJI Matrix 300 con la cámara Zenmuse H20T con la que se realizaran las pruebas con el fin de identificar riesgo de fallo, se ingresa la imagen a la interfaz gráfica como se ve en la Fig. 3-5. Obteniendo como resultado la imagen 3-6. en la cual se identifica puntos calientes en las líneas aéreas de alta tensión, y con un criterio de evaluación de Muy Crítico en la cual los valores de diferencia de temperatura entre componente similares bajo la misma

condición de carga son mayores a 20° C con un plan de acción de reparación inmediata por un peligro constante.



Fig. 3-4 Termograma 1.

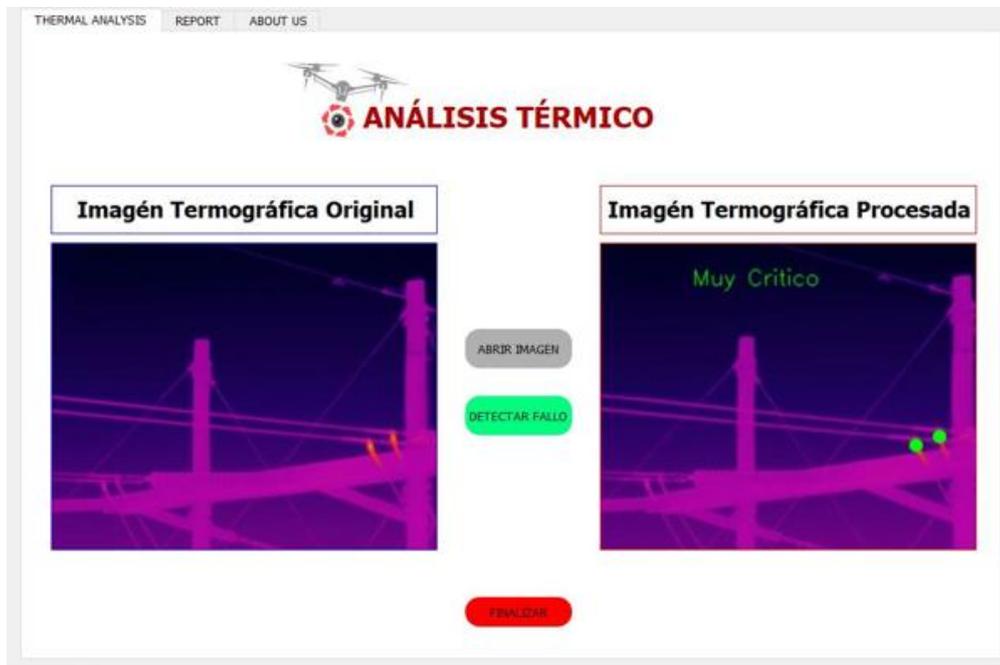


Fig. 3-5 Análisis Térmico 1.



Fig. 3-6 Termograma Procesado 1.

En la siguiente imagen Fig.3-7. se muestra un diferente tipo de paleta termográfica en la que de igual manera se desea identificar riesgo de fallo por calentamiento para lo cual se ingresa la imagen en la interfaz gráfica como se muestra en la Fig. 3-8. Y se obtiene como resultado la imagen de la Fig. 3-9.

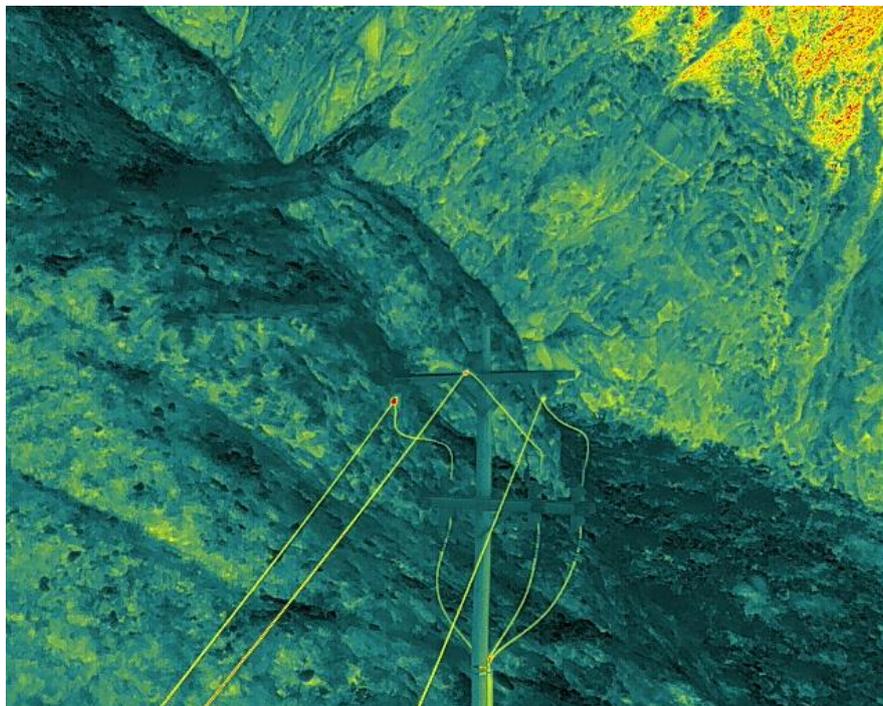


Fig. 3-7 Termograma 2.

 **ANÁLISIS TÉRMICO**

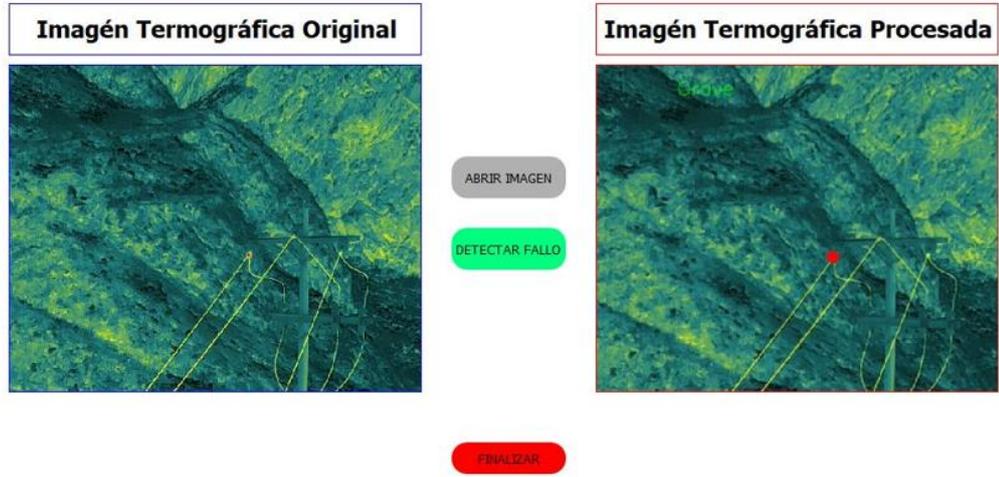


Fig. 3-8 Análisis Térmico 2

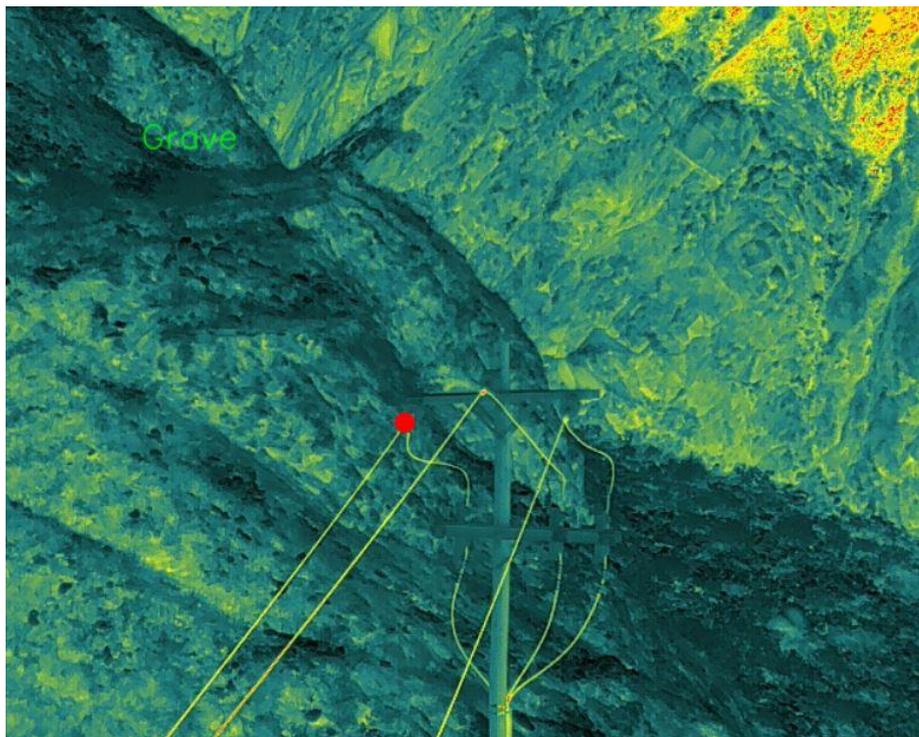


Fig. 3-9 Termograma Procesado 2

En la Fig. 3-9. Se identifican puntos calientes con un riesgo de evaluación de Grave en la cual los valores de diferencia de temperatura en referencia a componentes similares bajo la misma condición de carga son de 10° C a 20°C con un plan de acción de monitorear hasta que se realicen las medidas correctivas.

A continuación, en la Fig. 3-10. se muestra una imagen termográfica adquirida con el Dron Dji Matrix 300 con la cual se desea identificar riesgos de fallo, de igual manera se ingresa la imagen a la interfaz de usuario como se muestra en la Fig. 3-11.

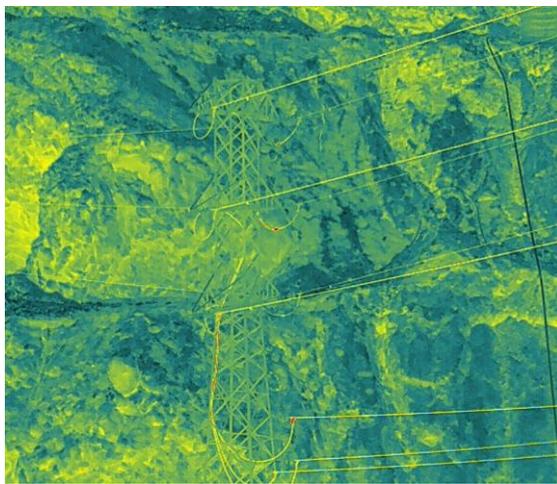


Fig. 3-10 Termograma 3

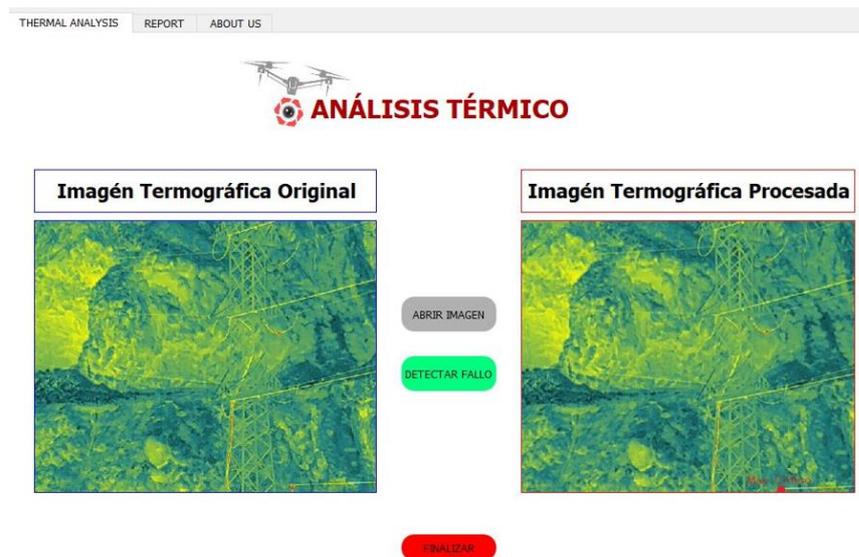


Fig. 3-11 Análisis Termográfico 3.

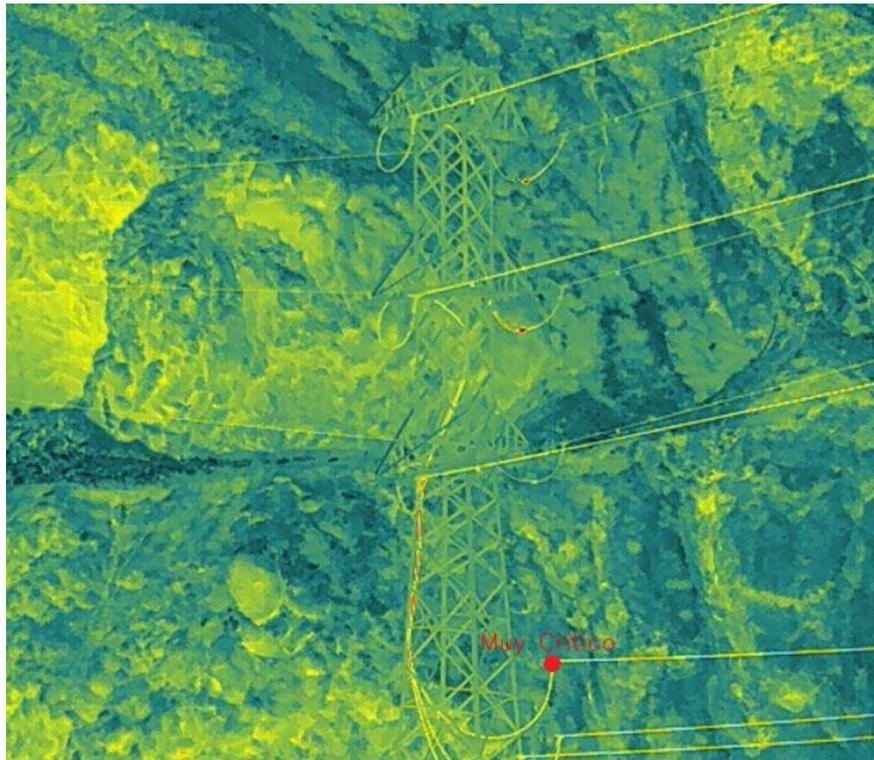


Fig. 3-12 Termograma Procesado 3.

Obteniendo como resultado la imagen Fig. 3-12. En la cual se identifica un riesgo de fallo muy crítico con los valores de diferencia de temperatura en componentes similares bajo la misma condición de carga de mayor a 20°C lo cual se tiene como plan de acción una reparación inmediata por un peligro constante.

A continuación, en la Fig. 3-13. se muestra un análisis termográfico en cual se identificó un riesgo de fallo muy crítico, de igual manera fue realizado siguiendo los pasos descritos anteriormente y obteniendo como plan de acción una reparación inmediata.

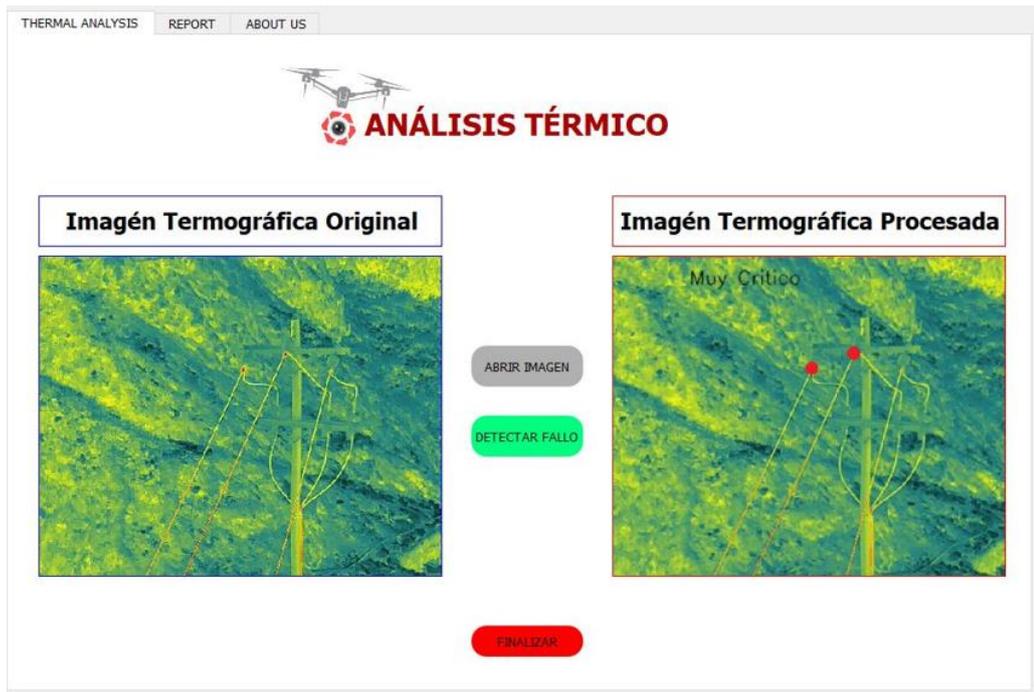


Fig. 3-13 Análisis Termográfico 4.

Finalmente, se realizó una prueba en donde no existen puntos calientes en la imagen termográfica como se muestra en la Fig. 3-14. Obteniendo como resultado un criterio de evaluación de menor a 5°C con una etiqueta de Normal.

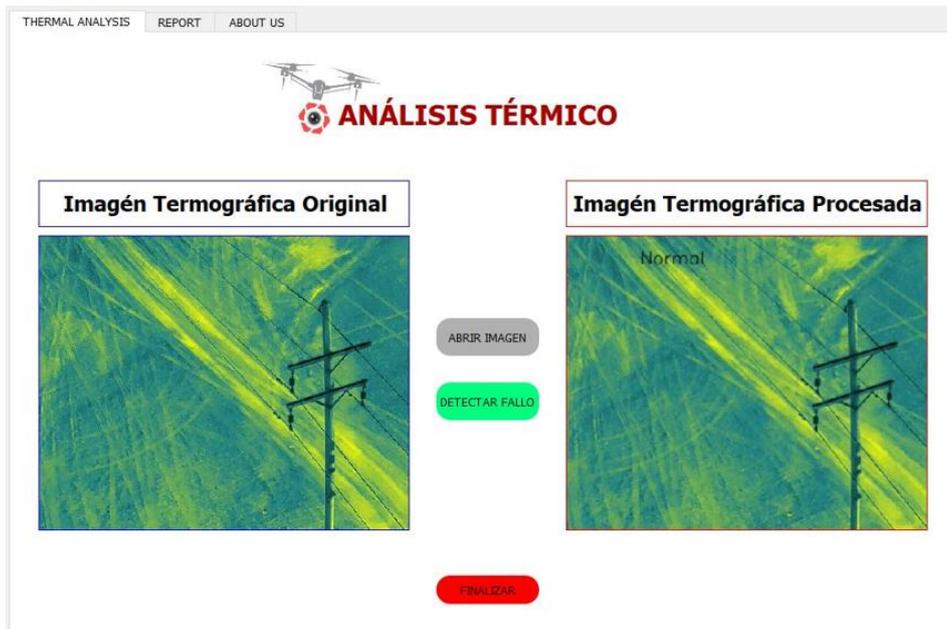


Fig. 3-14 Análisis Termográfico Normal

CAPÍTULO IV

A continuación, se describen las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo de titulación en el que se desarrolló una interfaz gráfica, con el fin de identificar criterios de evaluación de riesgo de fallos por calentamiento en las líneas aéreas de alta tensión.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- La interfaz grafica de usuario desarrollada en el presente trabajo de titulación permite determinar fallos por calentamiento de forma inmediata, a su vez acceder a un reporte termográfico adaptado al usuario con la finalidad de tomar un plan de acción inmediato dependiendo del nivel de evaluación.
- Las pruebas y análisis realizados en la interfaz gráfica permitieron detectar errores y además se identificó la manera adecuada de la toma de imágenes, ya que una toma de imagen ideal debe de evitar fotografías con ruido, es decir, fotografías enfocadas al suelo lo que harán del sistema ser menos eficaz.
- Se determino características y condiciones de trabajo con los cuales se establecieron los requisitos del sistema aplicando la norma NETA (Internacional Electric Testan Asociación), para el desarrollo de los algoritmos permitiendo obtener resultados del procesamiento de las imágenes según normas internacionales.
- Se implemento algoritmos para el procesamiento de imágenes con el fin de determinar fallos según normativa internacional, para lo cual se seleccionó el software, IDE de programación y las librerías necesarias para el procesamiento de imágenes termográficas.

Recomendaciones

- Al realizar la toma de imágenes termográficas en líneas aéreas de alta tensión se recomienda adquirir fotografías sin ruido, es decir enfocadas a los cables aéreos y no hacia el suelo ya que genera otro tipo de temperatura lo que puede hacer menos eficaz el sistema.
- Se recomienda tomar en cuenta al momento de realizar el procesamiento de imágenes que el presente trabajo está realizado bajo una norma internacional, la cual es aplicada en Ecuador sin embargo existen ciertas empresas que tienen un criterio de evaluación.
- En el desarrollo de la interfaz gráfica es importante cumplir con la norma “ergonomía del software para interfaces de usuario multimedia”, debe ser intuitivo y de fácil manejo con un mínimo de texto para que el usuario no se sienta abrumado por la acción, se recomienda comprobar el correcto funcionamiento de cada pantalla y botones con el fin de asegurar su correcto funcionamiento.

REFERENCIAS

- [1] E. V. Alvarado Guichay, Algoritmo neuro-difuso para la detección y clasificación de fallas en líneas de transmisión eléctrica del sistema ecuatoriano usando simulaciones y datos de registradores de fallas, Cuenca: Universidad Cuenca, 2013.
- [2] C. Luis, Reconocimiento de torres de alta tensión mediante algoritmos de visión por computador e inteligencia artificial: LR, SVM, CNN, Madrid: Universidad Madrid, 2019.
- [3] L. Bautista, Identificación en 11 tipos de fallas en líneas de transmisión de alta tensión utilizando redes neuronales, Bucaramanga: Universidad Santo Tomás, 2018.
- [4] J. Pavel, Mantenimiento de sistemas eléctricos de distribución, Guayaquil: Universidad Salesiana sede Guayaquil, 2010.
- [5] V. Domínguez, Análisis estructural de una torre de alta tensión, Madrid: Universidad Carlos III de Madrid, 2014.
- [6] M. Díaz, Prevención de riesgos en trabajos con corriente eléctrica, Seguridad y Salud de trabajo, 2012.
- [7] R. Poyato, Termografía en sistemas de distribución eléctrica, El instalador, 2009.
- [8] L. Neita, Principios básicos de la termografía infrarroja y su utilización como técnica para mantenimiento, Bolivia: Universidad Pontificia Bolivariana, 2011.
- [9] G. Sotelo, Nuevas técnicas de inspección en líneas de transmisión de alta tensión, Perú: T&D Electric 2021, 2021.
- [10] M. S. Requejo, Diseño de estructura soporte de cámara termográfica para optimizar tiempo de inspección, Chiclayo, Perú: Universidad César Vallejo, 2018.
- [11] J. A. Meza, Inspección inteligente de líneas de alta tensión con drones, Costa Rica, 2021.
- [12] DJI, Matrice 300 RTK, 2021.
- [13] S. d. s. mecatrónicos, Adolfo Juan Sánchez, Madrid: Copyright, 2021.
- [14] R. Poyato, Termografía en sistemas de distribución eléctrica, Washington, 2018.
- [15] c. o. d. e. g. y. topografía, «ACRE SURVEYING SOLUTIONS,» [En línea]. Available: <https://grupoacre.es/catalogo-marca/acre-surveying-solutions/>. [Último acceso: 30/03/2022].
- [16] F. Louis, Sistemas electrónicos de comunicaciones, México: Alfaomega, 2023.
- [17] Testo, Termografía práctica, 2008.

- [18] FLIR, Guia de termografía para mantenimiento predictivo, Belgica: FLIR Commercial Systems.
- [19] G. Contreras, Termografia Infrarroja, Peru: T&D Electric, 2021.
- [20] DJI, Zenmuse H20 Series, Shenzhen,China, 2021.
- [21] E. V. Dominguez, Analisis estructural de una torre de alta tensión, Leganés: Universidad Carlos de Madrid, 2014.
- [22] Endesa, Especificaciones tecnicas de aisladores, 2008.
- [23] ARCONEL, El directorio de la agencia de regulacion y control de electricidad, Ecuador: Agencia de Regulacion y Control de Electricidad, 2018.
- [24] M. Semblantes, Diseño de una torre de transmision electrica autosoportada, Ecuador, 2010.
- [25] F. &. Associate, Termografia en lineas de Distribucion, Peru, 2021.
- [26] L. M. Rodriguez, Corrosión atmosférica, Mexico: Programa iberoamericano de ciencia y tecnología , 1999.
- [27] P. Gill, Conducting and IR Thermografic Inspeccion Electrical Powe Systems, 1998.
- [28] B. G, Learning Open Cv, Cambridge, 2008.
- [29] S. Carter, Uso de la inteligencia artificial para aumentar la inteligencia humana, destilar: Yc Research, 2017.
- [30] D. santiago, procesamiento de imagenes con vision artificial para reconocimiento de placas vehiculares, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2016.
- [31] f. ruiz, Diseño de la visualizacion de la informacion como medio para mejorar la gestion del conocimiento, españa: V congreso ISKO.
- [32] I. E. d. Normalización, Ergonomia del software para interfaces de usuario multimedia, Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2014.
- [33] Python institute, Fundamentos de programación en python, 2019.
- [34] A. V, La libreria de vision artificial Open CV, España, 2019.
- [35] M. antonio, Espacion de color RGB, HSI y sus generalizaciones a n dimensiones, Purbla: inaoe, 2009.
- [36] M. A, Modelo adaptativo de inteligencia artificial para deteccion selectiva de fallas de alta imperancia en lineas de transmision, Medellin: Universidad pontificia Boliviana, 2015.

- [37] B. L, Identificación en 11 tipos de fallas en líneas de transmisión de alta tensión utilizando redes neuronales, Bucaramanga: Universidad Santo Tomás, 2018.
- [38] D. D, Análisis estructural de una torre de alta tensión, Madrid, 2014.
- [39] L. S, Reconocimiento de torres de alta tensión mediante algoritmos de visión por computador, Madrid: Universidad de Madrid, 2015.
- [40] E. L, Diagnóstico y evaluación de líneas de distribución de energía eléctrica de distintas localidades del interior de la República por medio de termografía, Guatemala: Universidad de San Carlos, 2008.
- [41] N. L, Principios básicos de la termografía infrarroja y su utilización como técnica para mantenimiento predictivo, Bolivia: Universidad Pontificia Bolivariana, 2011.
- [42] S. M, Sistema y método de detección de fallas por calentamiento en infraestructura eléctrica, El Salvador: Escuela especializada en Ingeniería, 2018.
- [43] C. Pérez, El lenguaje de programación Python, Cuba: Ciencias Holguín, 2014.
- [44] Lucidchart, «Lucidchart,» EMEA, [En línea]. Available: <https://www.lucidchart.com/pages/es>. [Último acceso: 29 03 2022].
- [45] Python, «Python,» [En línea]. Available: <https://www.python.org/>. [Último acceso: 9 1 2022].
- [46] Anaconda, «Anaconda,» [En línea]. Available: <https://www.anaconda.com/>. [Último acceso: 9 1 2022].
- [47] «Spyder,» [En línea]. Available: <https://www.spyder-ide.org/>. [Último acceso: 9 1 2021].
- [48] «Numpy,» [En línea]. Available: <https://numpy.org/>. [Último acceso: 9 1 22].
- [49] «Open CV,» [En línea]. Available: <https://opencv.org/>. [Último acceso: 9 1 22].
- [50] «Qt Designer,» [En línea]. Available: <https://pythones.net/pyqt-instalacion-y-codigo-tutorial/>. [Último acceso: 9 1 2022].
- [51] «Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua Continua,» 05 2020. [En línea]. Available: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2019/Presentacion%20de%20los%20principales%20resultados%20ESPAC%202019.pdf. [Último acceso: 12 01 2020].
- [52] Centro de Formación de infrarrojos, Guía de termografía para mantenimiento predictivo, Copyright Flir Systems AB, 2011.
- [53] FLIR Commercial Systems, Flir T600, Bélgica, 2019.

- [54] R. Alvarez, «Partes de líneas de transmisión y su instalación,» de MONTAJE, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LINEAS DE TRANSMISIÓN, Peru, 2021.
- [55] International electrical testing association inc, Especificaciones de pruebas aceptadas para sistemas y equipos de distribución eléctrica, Asociación de pruebas eléctricas internacional.
- [56] M. G, Procesamiento de imágenes usando Open Cv aplicando raspberry pi para clasificación del cacao, Piura : Universidad de Piura, 2017.