

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:  
INGENIEROS ELECTRÓNICOS**

**TEMA:  
DIAGNÓSTICO TERMOGRÁFICO DE TRANSFORMADORES  
ELÉCTRICOS SUSPENDIDOS EN POSTES UTILIZANDO UNA  
AERONAVE NO TRIPULADA**

**AUTORES:  
GABRIEL EDUARDO MOLINA BARRIGA  
MARCO ALEJANDRO RAMOS VILLACIS**

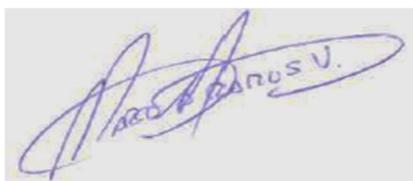
**TUTOR:  
WILLIAM MANUEL MONTALVO LÓPEZ**

**Quito, enero 2018**

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Nosotros, Marco Alejandro Ramos Villacis, con documento de identificación N°172100920-5 y Gabriel Eduardo Molina Barriga con documento de identificación N°171888722-5, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: **DIAGNÓSTICO TERMOGRÁFICO DE TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS SUSPENDIDOS EN POSTES UTILIZANDO UNA AERONAVE NO TRIPULADA**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Electrónicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer, plenamente, los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Marco Alejandro Ramos Villacis  
C.I. 1721009205



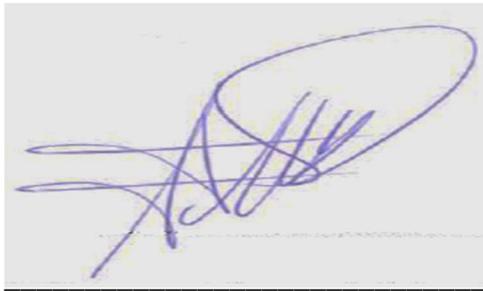
Gabriel Eduardo Molina Barriga  
C.I. 1718887225

Quito, enero del 2018

## **DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR**

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo de Titulación, **DIAGNÓSTICO TERMOGRÁFICO DE TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS SUSPENDIDOS EN POSTES UTILIZANDO UNA AERONAVE NO TRIPULADA**, realizado por Marco Alejandro Ramos Villacis y Gabriel Eduardo Molina Barriga, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como Trabajo Final de Titulación.

Quito, enero del 2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'W. Montalvo López', written over a light blue grid background.

Ing. William Manuel Montalvo López

CI: 1712789989

## DEDICATORIA

A mi padre Marco Ramos que con su apoyo y consejos me permitió culminar con éxito este trabajo académico; a mi Madre Susana Villacis que con sus cuidados y fuerza me alentaron a seguir siempre para adelante; a mis hermanos, Diego, Erick y Carolina que son un pilar fundamental en mi vida; a Katherine Calvopiña que con su ayuda, paciencia, amor y comprensión permitieron alcanzar mis metas y seguir adelante siempre.

Marco

Dedico este trabajo a Dios por haberme permitido tener la salud y las ganas de seguir adelante pese a todas las adversidades y lograr una meta más en mi vida estudiantil.

A mis padres, Mónica Barriga y Eduardo Molina por ser mis amigos, las personas que siempre tuvieron palabras de aliento, enseñándome que todo esfuerzo tiene su recompensa y que jamás me dé por vencido, demostrando que mientras más grande sea el obstáculo más grande es la victoria; pero, sobre todo, por ser quienes estuvieron en todo momento luchando para que logre esta meta.

A mis tres hermanos, Gabriela, Michael y Jeremmy quienes, sin duda alguna, fueron una motivación constante para poder cumplir con esta meta.

A mi segunda madre, Silvia Barriga, quien me extendió su mano cuando lo necesite con la única condición de verme convertido en un profesional.

Gabriel

## **AGRADECIMIENTO**

Damos gracias a Dios porque nos ha concedido la sabiduría, la valentía y la fuerza necesaria para desarrollar este Trabajo de Titulación.

Agradecemos de manera especial a nuestro tutor, Ingeniero William Montalvo por su acertada orientación durante este proceso y, de manera general, a todos los docentes de la Carrera de Ingeniería Electrónica porque siempre estuvieron presentes, satisfaciendo nuestra sed de conocimiento.

Marco y Gabriel

## INDICE DE CONTENIDOS

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	i
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR.....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT .....	xii
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPITULO 1 .....	3
MARCO REFERENCIAL.....	3
1.1 Transformadores de distribución.....	3
1.1.1 Tipos de mantenimientos industriales.....	4
1.2 Drone (UAV´s).....	5
1.2.1 Clasificación de los UAV.....	6
1.2.2 Aplicaciones UAV .....	6
1.3 Cámara térmica Seek Thermal Compact XR.....	7
1.4 Procesamiento digital de imágenes .....	8
1.5 Team Viewer .....	8
1.5.1 QuickSupport para mobiles.....	9
CAPITULO 2.....	11
IMPLEMENTACIÓN Y DESARROLLO .....	11
2.1 Implementación de hardware .....	11
2.1.1 Adaptación de sistema de visión térmica en Dron.....	11
2.2 Proceso automatizado para la localización de defectos.....	12
2.2.1 Adquisición de imagen.....	13
2.2.2 Lectura de imagen térmica.....	13
2.2.3 Pre-procesado de la imagen .....	16

2.2.4 Algoritmo de segmentación.....	18
2.2.5 Algoritmo de obtención del defecto .....	19
2.3 Acerca de imágenes térmicas .....	23
2.4 Interfaz gráfica de usuario (GUI) .....	23
2.4.1 Barra de Menú.....	24
2.4.2 Menú Archivo .....	24
2.4.3 Menú Visualizar:.....	25
2.4.4 Menú parámetros.....	26
2.4.5 Menú Ayuda.....	27
2.4.6 Barra de herramientas. ....	27
2.4.7 Área de visualización .....	27
2.4.8 Botones de pre-procesamiento .....	27
2.4.9 Botones para la localización de defectos .....	28
2.4.10 Botones del menú archivo .....	28
2.4.11 Selección de mapas de colores.....	28
2.4.12 Botón deshacer último .....	29
2.4.13 Tiempo de procesamiento.....	29
2.4.14 Medidas de temperaturas para el diagnostico .....	29
2.4.15 Tabla de información para el diagnostico.....	29
2.4.16 Visualizador de partes del transformador .....	30
CAPITULO 3 .....	31
PRUEBAS Y RESULTADOS .....	31
3.1 Comparación de algoritmos .....	31
3.2 Diagnostico Térmico .....	33
3.3 Localización del defecto.....	37
3.4 Pruebas de algoritmos con diferentes mapas de colores .....	38
3.5 Prueba en diferentes transformadores eléctricos de distribución.....	41

3.6 Prueba 1:.....	43
3.7 Prueba 2:.....	44
3.8 Prueba 3:.....	46
3.9 Prueba 4:.....	47
3.10 Prueba 5:.....	48
CONCLUSIONES .....	50
RECOMENDACIONES .....	52
LISTA DE REFERENCIA .....	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Transformador eléctrico de distribución suspendido en poste .....	3
Figura 1.2. Dron DJI Phantom 3 Advanced.....	5
Figura 1.3 Clasificación de UAV.....	6
Figura 1.4. Cámara térmica Seek .....	8
Figura 1.5 Aplicación QuickSupport para conexión remota a dispositivo móvil.....	9
Figura 2.1 Soporte para la sujeción del teléfono inteligente Android y cámara térmica elaborado en FREECAD. ....	11
Figura 2.2 Colocación de soporte impreso en 3D para sujeción del sistema de visión térmica.....	12
Figura 2.3 Proceso para localización de defectos .....	12
Figura 2.4 Adquisición de imagen .....	13
Figura 2.5 Propiedades de las imágenes térmicas a procesar.....	14
Figura 2.6 (a) Imagen térmica original (b) Imagen térmica recortada.....	15
Figura 2.7 Mapas de colores de Matlab® .....	16
Figura 2.8 (a) Imagen térmica recortada. (b) Ensanchamiento de histograma. (c) Contraste térmico de imagen. (d) Filtrado de imagen térmica.....	17
Figura 2.9 Diagrama de algoritmo Acumulativo .....	20
Figura 2.10 Diagrama de algoritmo del gradiente. ....	21
Figura 2.11 Diagrama de algoritmo morfológico .....	22
Figura 2.12 Diagrama general del desarrollo del programa.....	23
Figura 2.13 Interfaz gráfica de usuario. A) Barra de menús. B) Barra de Herramientas. C) Áreas de visualización. D) Botones de preprocesamiento. E) Botones de localización del defecto. F) Botones del menú Archivo. G) Mapas de colores. H) Botón Deshacer Último. I) Tiempo de procesamiento. J) Medida de temperaturas para clasificación. K) Tabla de clasificación. L) Visualización de partes de un transformador. ....	24
Figura 2.14 Menú Archivo de la interfaz gráfica. ....	25
Figura 2.15 Menú visualizar de la interfaz gráfica. ....	26

Figura 2.16 Menú parámetros de la interfaz gráfica. ....	26
Figura 2.17 Menú ayuda de la interfaz gráfica. ....	27
Figura 2.18 Referencia para plan de acción en los transformadores.....	30
Figura 3.1 Comparación de algoritmos utilizados en las imágenes térmicas. ....	32
Figura 3.2 Ingreso de variables para el diagnóstico termográfico .....	33
Figura 3.3 Escala de temperatura proporcionada por la cámara seek termal.....	34
Figura 3.4 Temperatura en el defecto encontrado.....	35
Figura 3.5 Clasificación del defecto según la variación de temperatura.....	36
Figura 3.6 Visualización de partes de un transformador (a) interna y (b) externa.....	37
Figura 3.7 Recorrido de transformadores eléctricos de distribución para pruebas sectores: (a)Quitumbe (b)Beaterio .....	42
Figura 3.8 Prueba 1 .....	43
Continuación Figura 3.8 Prueba 1.....	44
Figura 3.9 Prueba 2 .....	44
Continuación Figura 3.9 Prueba 2.....	45
Figura 3.10 Prueba 3 .....	46
Figura 3.11 Prueba 4. ....	47
Figura 3.11 Continuación Prueba 4.....	48
Figura 3.12 Prueba 5 .....	48
Figura 3.12 Continuación Prueba5.....	49

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Aplicaciones UAV dependiendo de su función .....	7
Tabla 3.1 Especificaciones de las imágenes térmicas tomadas con diferentes mapas de colores utilizando los algoritmos desarrollados. ....	31
Tabla 3.2 Valores obtenidos de los diferentes algoritmos utilizados en distintos mapas de colores .....	38
Tabla 3.3 Cálculo de media de cada algoritmo utilizando distintos mapas de colores .....	41

## RESUMEN

En la actualidad, el mantenimiento predictivo de transformadores eléctricos de distribución es realizado por pocas empresas en el país, de forma manual, con personal técnico capacitado para este trabajo; sin embargo, este procedimiento implica varios riesgos como son quemaduras, caídas de grandes alturas y, en algunos casos, hasta la muerte.

Por tal motivo es necesario implementar la tecnología de los Drones y la termografía como una buena alternativa para satisfacer las necesidades ante este problema.

A continuación, se presenta una breve descripción de los capítulos desarrollados para el proyecto:

En el Capítulo I, se muestra información detallada de los elementos utilizados en el proyecto descrito, presentando conceptos teóricos basados en diferentes documentos científicos.

En el Capítulo II, se presenta la implementación del proyecto desde la parte del hardware, evidenciando el montaje de la cámara térmica en la aeronave no tripulada hasta la parte del software detallando los algoritmos utilizados en el procesamiento digital de imágenes para el desarrollo del programa de diagnóstico termográfico para transformadores eléctricos

En el Capítulo III, se realizan las pruebas y resultados del programa mediante la toma de fotografías térmicas a diferentes transformadores de distribución en el sur de Quito analizados mediante el programa desarrollado en Matlab®.

En el Capítulo IV, se indican recomendaciones y conclusiones del proyecto tanto en la parte del hardware y del software basados en los resultados de las pruebas realizadas y del análisis correspondiente.

**Palabras claves:** diagnóstico, termográfico, transformadores, postes, aeronave

## ABSTRACT

At present the predictive maintenance of electrical distribution transformers is carried out by small companies in the country, manually with trained technical personnel for this work, however, this procedure involves several risks such as burns, falls of great heights and in some cases to death.

For this reason, Drones technology and thermography must be implemented as a good alternative to satisfy the need for this problem.

Next, a brief description of the capped for the project is presented.

In Chapter I, detailed information of the elements used in the described project is presented, presented theoretical concepts;

In Chapter II, the implementation of the project is presented from the hardware showing the assembly of the thermal camera in the unmanned aircraft to the software part, the algorithms used in the digital processing of images for the development of the thermographic diagnostic program for electric transformers

In Chapter III, the tests and results of the program were taken by taking thermal photographs of different distribution transformers in the south of Quito analyzed by the program developed in Matlab®.

In Chapter IV, the recommendations and conclusions of the project are found both in the hardware and software part in the results of the tests and the corresponding analysis.

**Keywords:** diagnostic, thermographic, transformers, poles, aircraft

## INTRODUCCIÓN

El proyecto realizado tiene como finalidad realizar el proceso de diagnóstico para el mantenimiento predictivo de transformadores de distribución que hoy en día se realiza de manera manual lo que implica riesgos inminentes de accidentes por la naturaleza del trabajo como son caídas de grandes alturas y accidentes eléctricos. Este es un problema social por las lesiones que se pueden producir en los trabajadores; y además causa pérdidas económicas para las empresas que se dedican al mantenimiento predictivo de los transformadores.

El objetivo principal de este proyecto es realizar el diagnóstico termográfico de transformadores eléctricos suspendidos en postes utilizando aeronaves no tripuladas con la ayuda del procesamiento digital de imágenes proporcionados por el software Matlab®.

Entre los objetivos específicos está la investigación sobre el uso de la termografía aplicada a transformadores eléctricos para el conocimiento previo del proyecto; un segundo objetivo planteado es el uso de una aeronave no tripulada con la adaptación de una cámara térmica para la obtención de una fotografía térmica de un transformador eléctrico de distribución; como tercer objetivo, se encuentra la realización del programa mediante el software Matlab®, el cual permite efectuar el diagnóstico termográfico de transformadores eléctricos suspendidos en postes utilizando una aeronave no tripulada; y, por último, relacionar el objetivo con los pruebas y resultados del proyecto, mediante una comparación de temperaturas dadas por el programa con una tabla de normas certificadas de temperatura.

El problema principal al realizar el diagnóstico de manera manual implica un proceso con mayores recursos a diferencia de realizarlo mediante el proceso de diagnóstico termográfico de transformadores eléctricos suspendidos en postes utilizando una aeronave no tripulada, lo cual permite realizar el proceso sin que implique riesgo humano al no tener contacto directo con el transformador y a la vez realizar un diagnóstico eficaz, es decir correcto y a tiempo de los problemas que podrían causar una deficiencia en los transformadores de distribución por el calentamiento ya sea de un elemento eléctrico o de un cable, que puede causar pérdida total del transformador.

Para diagnosticar termográficamente los transformadores eléctricos suspendidos en postes utilizando una aeronave no tripulada, se dirigirá la misma a la altura a la que se

encuentre el transformador de distribución para que mediante la cámara termográfica se obtenga la imagen térmica, la misma que se procesa mediante un programa basado en Matlab, el cual permite realizar el diagnóstico del transformador de distribución mediante un rango de temperatura.

El trabajo de un transformador genera calor, sin embargo, si este llega a alcanzar temperaturas muy altas puede causar daños en sus componentes internos o externos.

El análisis termográfico realizado por el programa ejecuta una lectura de la imagen obtenida del transformador de distribución el cual detecta y diagnostica desperfectos en los transformadores, ayudando a evitar futuros daños graves.

Las industrias ecuatorianas al realizar únicamente mantenimientos correctivos de manera manual de los transformadores de distribución presentan costos elevados debido a que diagnosticar el posible daño conlleva tiempo, por el cual el equipo estaría interrumpido hasta su mantenimiento correctivo, al realizar un diagnóstico predictivo en donde el personal técnico no interrumpa el equipo y tampoco entre en contacto con él, se puede mejorar la eficiencia y la productividad de la empresa ahorrando costos y detectando el daño a tiempo para su mantenimiento.

Para efectuar el diagnóstico, se realiza la adquisición de una imagen térmica de un transformador eléctrico de distribución suspendido en un poste, usando una cámara termográfica situada en la parte inferior de la aeronave no tripulada, la cual pasa a ser procesada mediante el programa realizado en Matlab®, para obtener el diagnóstico de los posibles daños que pueda poseer dicho transformador eléctrico de distribución.

El programa que se utiliza para cumplir con el diagnóstico del mantenimiento predictivo del transformador eléctrico lo hace a través de un procesamiento digital de imágenes desarrollado mediante algoritmos, el cual permite obtener la ubicación del posible fallo del transformador eléctrico.

# CAPITULO 1

## MARCO REFERENCIAL

En el presente capítulo se darán a conocer las características y conceptos tanto de equipos y programas utilizados para el diagnóstico termográfico de transformadores eléctricos suspendidos en postes.

### 1.1 Transformadores de distribución

En (Pérez, 2001) menciona que los transformadores eléctricos son dispositivos que por inducción electromagnética trasladan energía eléctrica a uno o más circuitos con la misma frecuencia, prácticamente aumentando o disminuyendo la tensión y corriente eléctrica.

Un transformador recibe una cierta cantidad de energía eléctrica con la cual consigue reponer tensiones superiores, a este transformador se lo nombra elevador, de la misma manera un transformador puede entregar una tensión menor, a este se lo nombra un transformador reductor.



Figura 1.1 Transformador eléctrico de distribución suspendido en poste  
Elaborado por: Marco Ramos y Gabriel Molina

### **1.1.1 Tipos de mantenimientos industriales**

Existen diferentes tipos de mantenimientos industriales que se pueden aplicar en las máquinas dependiendo del caso que exista. A continuación, se presentan los tipos de mantenimientos industriales que existen: (Vilardell, 2013)

#### **a) Mantenimiento correctivo**

En (Vilardell, 2013) señala que este tipo de mantenimiento es el más antiguo por lo que simplemente trata de esperar el daño y corregirlo cuando la avería ya está ocasionada. Este tipo de mantenimiento posee un inconveniente por lo que al no poder predecir cuándo existirá una falla puede causar daños graves, en función del momento que se produzca el fallo. Por este motivo se intenta evitar el uso de este sistema salvo en casos de acontecimientos impredecibles o donde no represente un sobre coste en la empresa.

Este mantenimiento no se lo planifica por lo que en cualquier instante puede producirse una falla en la máquina. Este mantenimiento es aplicado cuando la máquina no representa un costo elevado de repuestos o no forma parte de una pérdida alta de producción. (León, 1998)

#### **b) Mantenimiento preventivo**

En (Vilardell, 2013) menciona que si se conoce el desgaste aproximado de una máquina se puede evitar las averías reemplazando los elementos que sufren mayor desgaste, impidiendo que la máquina llegue al final de su vida útil.

En este tipo de mantenimiento se puede planificar con tiempo para encontrar los recursos necesarios como es el personal y los elementos para que de esta manera la producción de la empresa no se detenga por mucho tiempo. Los trabajos preventivos se realizan de manera periódica.

#### **c) Mantenimiento predictivo**

En (Vilardell, 2013) indica que se puede predecir una avería, esto se lo puede realizar con mediciones de algunos parámetros que varían antes de que se produzca la falla, en

este caso se puede predecir la avería con una planificación a tiempo y sin reemplazar piezas en buen estado, puesto que se habrá asegurado el desgaste total de la pieza.

#### **d) Mantenimiento productivo total (TPM)**

En (Vilardell, 2013) indica que en este tipo de mantenimiento se basa en la implicación de todo el personal en mantenimiento, por lo que cada encargado de una máquina debe realizar la limpieza, mantenimiento y reparaciones más sencillas para el funcionamiento correcto de la máquina.

### **1.2 Drone (UAV's)**

Un vehículo aéreo no tripulado es una aeronave sin piloto a bordo que puede ser controlado de forma remota o volar de forma automática mediante planes de vuelo pre-programados o sistemas más complejos de automatización dinámica. Los UAV's (Unmanned Aerial Vehicle) se han utilizado mayoritariamente con fines militares. Sin embargo, su enorme potencial ha conducido a ser explotados en un amplio rango de aplicaciones civiles. (Acosta, 2011).

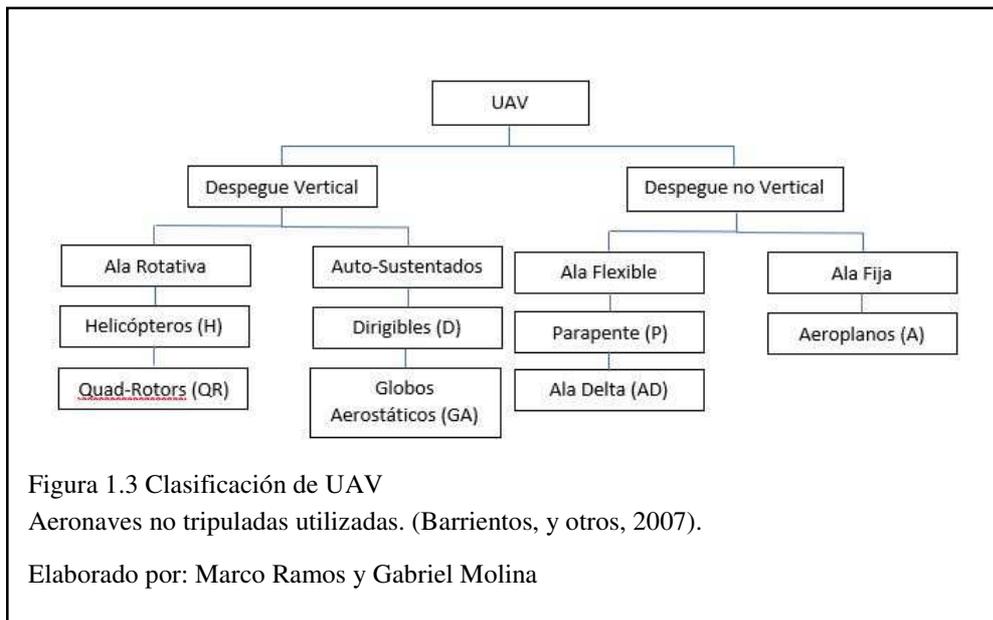
Existe un sin límite de aplicaciones para los UAV, en la actualidad. Un Dron puede servir para tomar las mejores fotografías desde el aire hasta poder combatir incendios entre otras cosas. (Manual de usuario dji phantom en **Anexo 3**).



Figura 1.2. Dron DJI Phantom 3 Advanced  
Elaborado por: Marco Ramos y Gabriel Molina

### 1.2.1 Clasificación de los UAV

Al momento de realizar una clasificación de los UAV es viable atender a los diferentes criterios. Tal vez el más simple sea el que se basa en el tipo de aeronave del UAV (Figura 1.2). De acuerdo a este pueden diferenciar a aquellas de despegue vertical de las que no lo son, estando dentro de las primeras las de ala rotativa o hélice (helicópteros y quad-rotors entre otros), los de ala flexible (parapentes, ala delta) y los auto-sustentados (dirigibles y globos). Dentro de los de despegue no vertical, se encuentran los de ala fija (aeroplanos). (Barrientos, y otros, 2007).



### 1.2.2 Aplicaciones UAV

El desarrollo de los UAV surge en el ámbito militar dando progreso a los diferentes ámbitos como es en lo civil, esto amplió el interés, la investigación y el desarrollo de estos sistemas, a la vez que han originado nuevos requisitos en su operatividad, y generando un mayor espectro de sistemas.

**Tabla 1.1. Aplicaciones UAV dependiendo de su función**

Aplicaciones UAV	
Comercial	Gubernamental
Transporte	Seguridad y Defensa
Inspecciones de obras Civiles	Gestion de Riesgos
Agricultura	Manejo Forestal
Arquitectura	Manejo de Reservas Arqueológicas
Cartografía	

Elaborado por: Marco Ramos y Gabriel Molina

En la Tabla 1.1. se muestra algunas aplicaciones que hoy en día se ocupan los Drones, pero en la actualidad se ha seguido investigando y viendo las necesidades civiles que podrían seguir resolviendo los Drones.

### **1.3 Cámara térmica Seek Thermal Compact XR**

En (Thermal, 2017) define su cámara térmica como la más pequeña y potente del mundo, su diseño es altamente portátil que cabe en el bolsillo y su uso es sumamente fácil solo es necesario conectarla y usarla. En su manual técnico la cámara térmica posee un gran alcance gracias a la ayuda de la resolución de su sensor térmico de 206x156 y su rango de medición de temperatura es de -40 a 626 grados Fahrenheit. El campo de visión del lente es de 20 grados lo que permite detectar firmas de calor de hasta 1.800 pies de distancia, una de las mejores ventajas del uso de la Seek Thermal es su uso plug and play lo que no es necesario cargarla o conectar a una fuente de voltaje externa por lo que su diseño está hecho para funcionar a baja potencia. (Thermal, 2017) El manual técnico se encuentra en el **Anexo 1**.



Figura 1.4. Cámara térmica Seek  
Elaborado por: Marco Ramos y Gabriel Molina

#### **1.4 Procesamiento digital de imágenes**

En (Umbaugh, 2016) Explica que la información visual, transmitida en forma de imágenes digitales, se ha convertido en un importante método de comunicación para el siglo XXI. El procesamiento de imágenes, también conocido como *imagen de ordenador*, puede definirse como la adquisición y procesamiento de información visual por computadora que permita mejorar la imagen según la aplicación que se requiera necesaria. La importancia del procesamiento digital de imágenes se deriva del hecho de que nuestro sentido primario es nuestro sentido visual. El sistema de visión permite recopilar información sin necesidad de interacción física; lo permite analizar todo tipo de información directamente desde imágenes o video.

#### **1.5 Team Viewer**

En (TeamViewer, 2017) se centra en tecnologías basadas en la nube para facilitar el soporte técnico en línea y colaborar en tiempo real desde cualquier parte del mundo. Soporte en remoto, acceso remoto y colaboración en línea no son simples términos que están de moda. Representan el concepto de ayudar a la gente, integrar mejor la tecnología en nuestra vida diaria y concebir ideas nuevas. (TeamViewer, 2017).

### 1.5.1 QuickSupport para mobiles

QuickSupport permite controlar remotamente el dispositivo móvil desde una PC dándole soporte a diferentes lugares del mundo a continuación mostramos algunas características que nos proporciona: (TeamViewer, 2017).

- Conéctese a dispositivos móviles desde cualquier ordenador Windows, macOS, Linux o incluso otros.
- Compruebe el estado del dispositivo, instale aplicaciones y defina la configuración push-pull adecuada.
- Controle de forma remota dispositivos Universal Windows Platform y Android (incluso de forma no presencial).
- Ofrezca soporte a dispositivos iOS mediante configuración push/pull, uso compartido de archivos y uso compartido de pantalla con el SDK móvil para aplicaciones específicas.



- **Paso 1:** Descargar la aplicación QuickSupport en iTunes o PlayStore dependiendo la plataforma que se use una vez descargada se instala en el dispositivo móvil que se requiere asistencia remota.
- **Paso 2:** Abrir la aplicación QuickSupport y colocar el ID que proporciona dicha aplicación en el ordenador abriendo el programa de TeamViewer y dar clic en conectar con asociado.

- **Paso 3:** Seleccionar la pestaña *control remoto* en el ordenador y empezamos con la asistencia remota del dispositivo móvil.

## CAPITULO 2

### IMPLEMENTACIÓN Y DESARROLLO

En el presente capítulo se detallará el proceso de implementación del hardware y el desarrollo del programa realizado en GUI (Graphical user interface) de Matlab® para el diagnóstico termográfico de transformadores eléctricos suspendidos en postes utilizando una aeronave no tripulada.

#### 2.1 Implementación de hardware

En la implementación del hardware se trabajó con una aeronave no tripulada modelo dji phantom 3 advanced (ver Figura 1.2), la cual permite soportar el peso del sistema de visión térmica que está compuesta por un teléfono inteligente Android (Huawei P10 Lite) y una cámara termográfica de marca SEEK THERMAL (ver compatibilidad de cámara. **Anexo 2**), la carga útil que soportara el dron es de 160 gr (peso del teléfono más cámara térmica), Este valor se tomó en cuenta para la adquisición adecuada del Dronee para que pueda soportar una carga útil de este valor o más.

##### 2.1.1 Adaptación de sistema de visión térmica en Dron

Para la adaptación del sistema de visión térmica se realizó un prototipo de sujeción, el cual permite mantener estable la visión térmica con el Dron, el prototipo se desarrolló en el software libre FreeCAD (ver Figura 2.1) para luego ser plasmado mediante una impresora 3D.

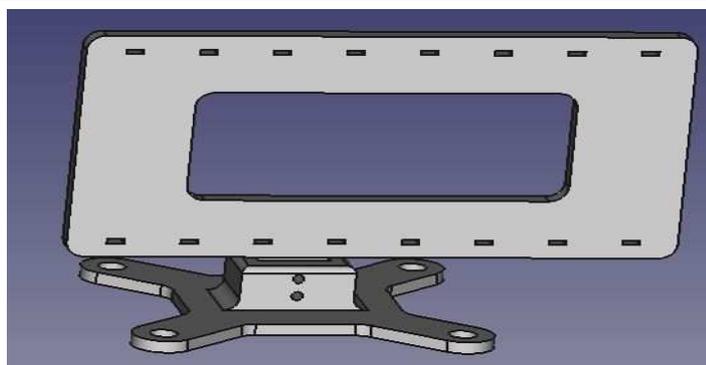


Figura 2.1 Soporte para la sujeción del teléfono inteligente Android y cámara térmica elaborado en FREECAD.

Elaborado por: Marco Ramos y Gabriel Molina

Una vez plasmada el modelo elaborado en FREECAD en una impresora 3d se procedió con la colocación del soporte al Dron para adaptar el sistema de visión térmica como se muestra en la Figura 2.2.



Figura 2.2 Colocación de soporte impreso en 3D para sujeción del sistema de visión térmica  
Elaborado por: Marco Ramos y Gabriel Molina

## 2.2 Proceso automatizado para la localización de defectos

El proceso de automatizado para la detección de defectos se muestra en la Figura 2.3.

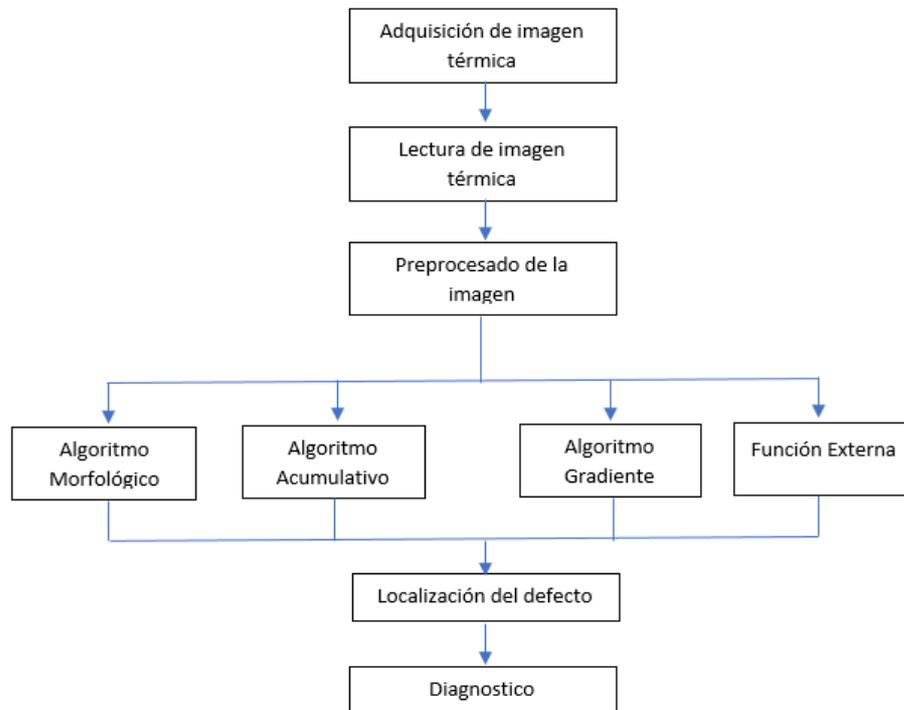
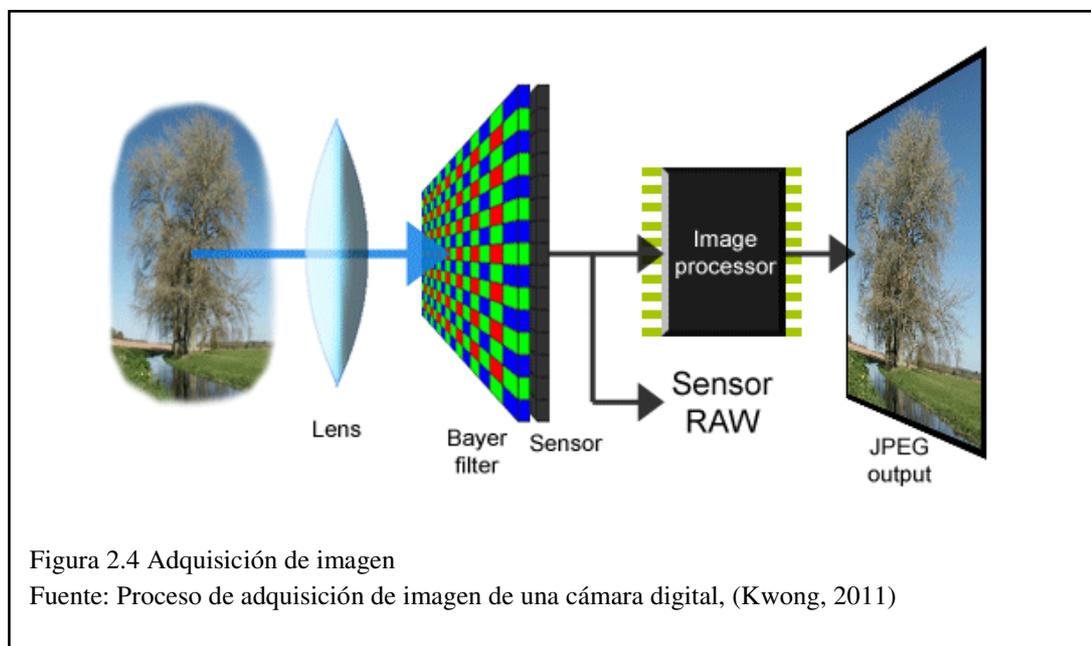


Figura 2.3 Proceso para localización de defectos  
Elaborado por: Marco Ramos y Gabriel Molina

### 2.2.1 Adquisición de imagen

Para la adquisición de la imagen se utilizó la cámara térmica SEEK colocada en la parte inferior del Drone. Para realizar la captura desde tierra se requiere de la aplicación disponible en la tienda play store llamada Quick Support la que permite que el celular Android sea controlado desde una PC (Personal Computer) en tierra en tiempo real por el software Team Viewer®; para ello se requiere de una red que nos permita realizar la comunicación entre el teléfono inteligente Android y la PC, la conexión realizada entre ambos dispositivos es punto a punto para obtener mejores resultados en la parte de transmisión de la imagen. El proceso para la adquisición de imágenes mediante la cámara se muestra en la Figura 2.4.



### 2.2.2 Lectura de imagen térmica

Las imágenes térmicas son obtenidas mediante la cámara térmica SEEK en tiempo real con la ayuda del software Team Viewer®, las imágenes proporcionadas por la cámara se encuentran en formato JPG (Joint Photographic Experts Group), el mismo que permite realizar el procesamiento de imagen adecuado para la elaboración del proyecto.

Mediante el software Matlab® se pueden obtener características, detalles e información adicional (ver Figura 2.5) de la imagen proporcionada, como por ejemplo

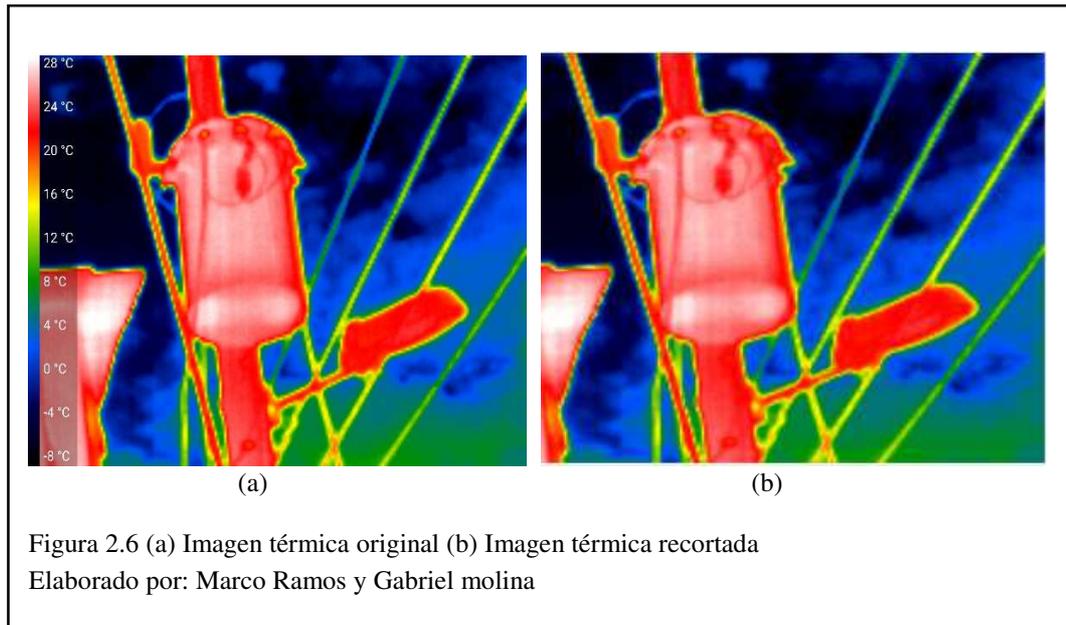
tamaño de la imagen, fecha y hora en que fue tomada la imagen, modelo de la cámara entre otras características.

```
and Window
MATLAB? See resources for Getting Started.

Filename: 'C:\Users\pocho\Desktop\Trabajo Adriana\Imágenes Térmicas\img_thermal_1499874819525.jpg'
FileModDate: '12-Jul-2017 10:53:39'
FileSize: 303105
Format: 'jpg'
FormatVersion: ''
Width: 1280
Height: 960
BitDepth: 24
ColorType: 'truecolor'
FormatSignature: ''
NumberOfSamples: 3
CodingMethod: 'Huffman'
CodingProcess: 'Sequential'
Comment: {}
Make: 'Seek Thermal, Inc.'
Model: 'CompactXR'
Orientation: 1
DateTime: '07/12/2017 10:53 AM'
DigitalCamera: [1x1 struct]
```

Figura 2.5 Propiedades de las imágenes térmicas a procesar  
Elaborado por: Marco Ramos y Gabriel Molina

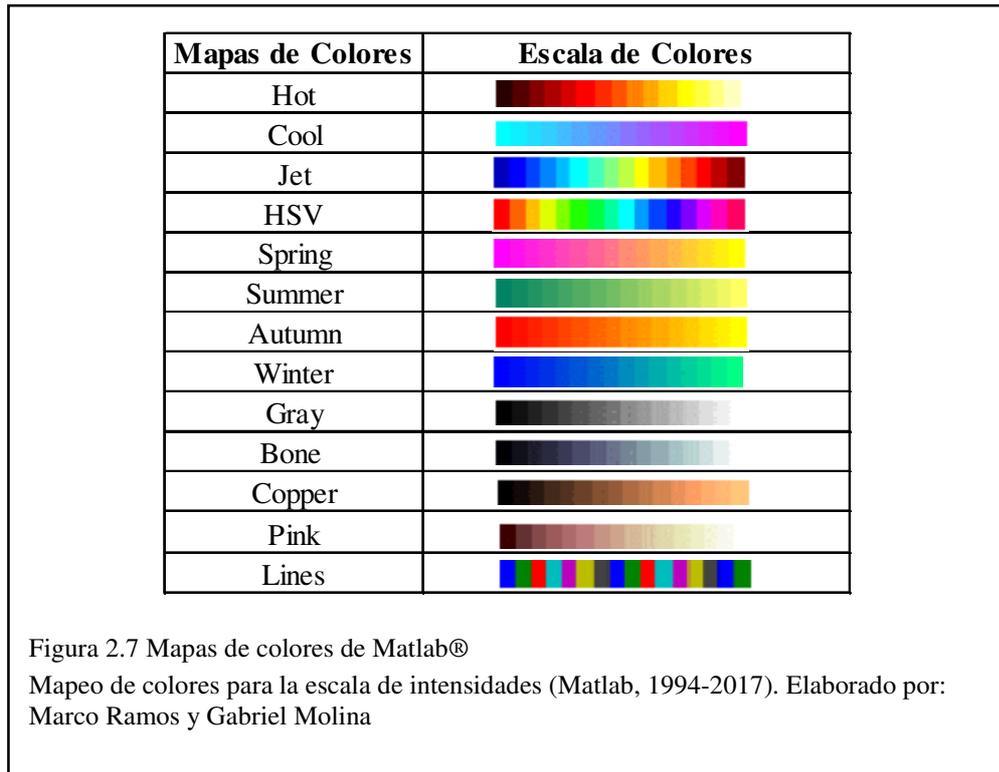
La imagen térmica está codificada a 24 bits distribuidos en 8 bits por cada canal de la imagen (256 niveles) en cada uno de sus tres colores primarios rojo, verde y azul (“RGB” siglas en inglés de los colores primarios), las dimensiones o resolución de la imagen son de 1280 x 960 píxeles como se indica en la Figura 2.6 (a), en la parte izquierda de la imagen original se encuentra un visualizador de temperatura dotado por el fabricante. Esta barra de temperatura no será necesaria en el análisis de la imagen por lo que es anulado lo que se causa que se reduzca las dimensiones de la imagen original a 1140 x 960 píxeles (ver Figura 2.6 (b)).



Para las imágenes se trabajó con los mapas de colores que contienen 13 opciones a elegir, estas corresponden a los mapas de colores que contiene el ambiente de desarrollo Matlab®, tales como son: hot, cool, jet, hsv, spring, summer, autumn, winter, gray, bone, copper, pink y lines (ver Figura 2.7). Los cuales mostrarán el recuadro de visualización “Imagen Actual” con sus diferentes tonalidades dependiendo del mapa de color seleccionado.

En el proyecto se trabajó con intensidades de colores más no con valores de temperatura por lo que el mapeo de colores fue utilizado para determinar un nivel de intensidad alto para la obtención del defecto, las intensidades de colores toman valores entre 0 a 255 niveles de intensidades.

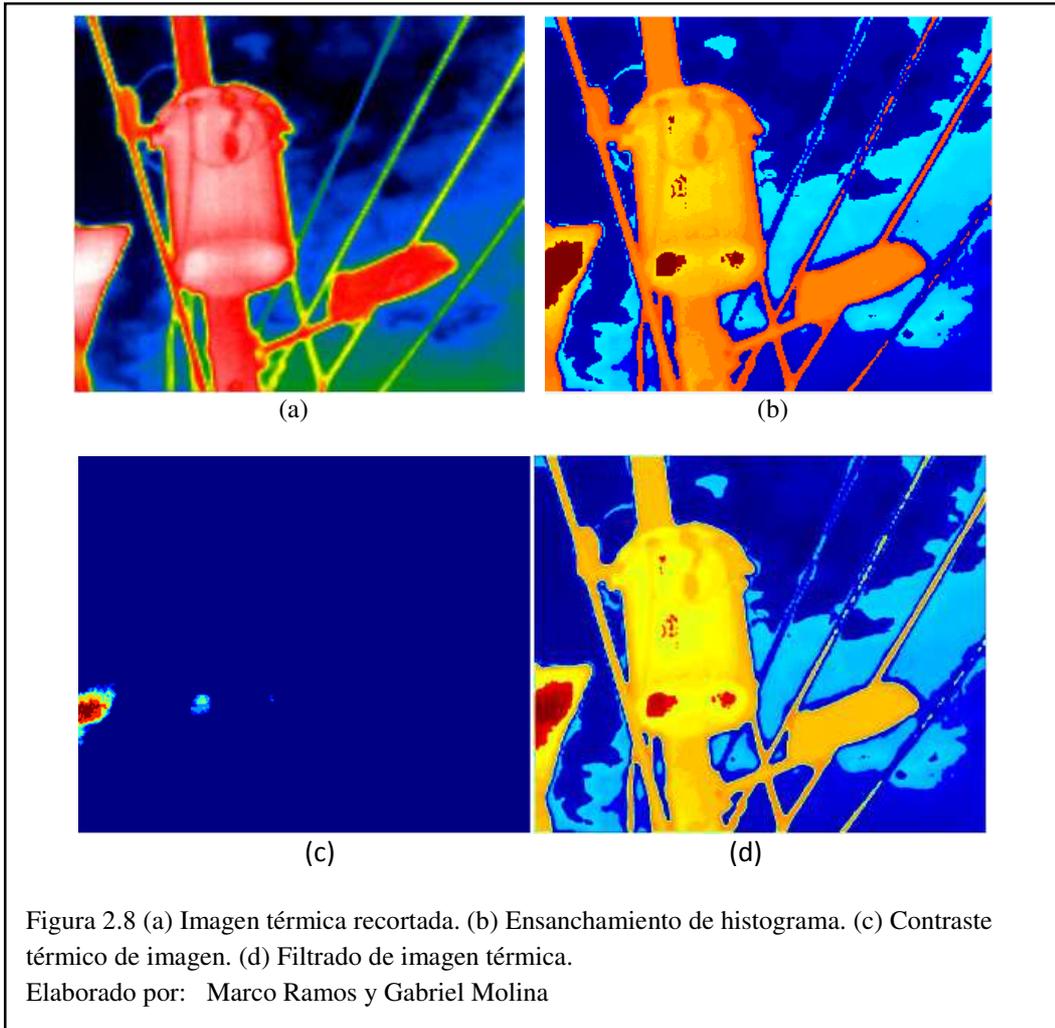
El trabajo de intensidades nos permite tener valores en un determinado rango de niveles en las imágenes, por lo que se vio necesario trabajar con intensidades que con temperatura.



### 2.2.3 Pre-procesado de la imagen

Esta fase se encarga de mejorar o realzar las propiedades de la imagen para facilitar el procesamiento digital de imágenes. Este proceso es opcional, pero dependiendo de la imagen adquirida permitiría realizar una mejor segmentación, extracción de las características y por último una mejor interpretación automática de las imágenes.

Para el pre-procesamiento de la imagen se realizó la captura de los tres canales RGB, por lo que Matlab trabaja en un solo canal. Hay que tomar en cuenta que el trabajo realizado en las imágenes no es en temperaturas si no en intensidades. En la fase de segmentado se fragmenta la imagen o se encuentra el punto para identificar las zonas calientes de la imagen de temperatura por lo que el pre-procesado de la imagen ni la segmentación alteran la temperatura.



### a) Ensanchamiento de histograma a un rango específico

En el ensanchamiento del histograma se puede mejorar la visualización del contraste de la imagen para un alto resultado en el momento de la segmentación, este proceso permite también visualizar de una mejor manera el contraste térmico de la imagen, los rangos tomados en cuenta en la interfaz gráfica varían de 0-255 lo que da un contraste de 0% a 100%. Como indica la Figura 2.8. (b).

### b) Filtrado de imagen térmica

Las imágenes térmicas son degradadas debido a diferentes aspectos como lo son las distorsiones radiométricas que son las variaciones en la intensidad del pixel, estos fallos pueden ser ocasionados por fallas del sensor o el ruido en el sistema, los cambios estacionales, la iluminación del sol entre otras distorsiones radiométricas, otra

degradación de la imagen es causada por la distorsión geométrica (eficacia geométrica del lente) y por el ruido en las imágenes que son causadas por emisiones parasitas, para lograr resaltar o suprimir estos defectos y mejorar la imagen la interfaz gráfica cuenta con un rango o nivel de suavizado según se requiera, la cual aplica un filtro promedio de ventana 5 x 5 por cada uno de los pixeles vecinos este filtro se puede aplicar varias veces (valor configurable) hasta obtener un mejor suavizado de la imagen como se muestra en la Figura 2.8. (d).

### c) Detección de defectos en la imagen (Contraste térmico)

Para la detección o visualización de los defectos que se producen en la imagen se usa el contraste térmico mostrado en la Figura 2.8. (c), el mismo que se utiliza además para mejorar la eficacia de la imagen y poder observar el grosor y profundidad que muestra el defecto en dicha imagen, el contraste térmico nos indica el aumento de temperatura con respecto a una zona de referencia.

$$C^a = \Delta T = T_{def} - T_{no-def} \quad \text{Ecuación}$$

2.1

La variación de temperatura está definida por la diferencia entre una región no defectuosa  $T_{no-def}$  y una región defectuosa  $T_{def}$ . (BENÍTEZ RESTREPO, y otros, 2007).

Este proceso fue implementado en la interfaz gráfica para conocer las zonas con mayor aumento en temperatura, pero hay que tomar en cuenta que el trabajo realizado con las imágenes es en intensidades que referencian a temperaturas.

#### 2.2.4 Algoritmo de segmentación

Esta fase consiste en dividir la imagen térmica en sus características espaciales lo que permite asociar cada pixel a un objeto específico de la imagen para extraer el objeto de interés.

El algoritmo localiza el defecto dentro de la imagen para que a continuación detecte la zona completa del defecto a través del punto más caliente o en este caso como se trabaja con intensidades encuentre el punto con mayor intensidad.

Una vez detectado el punto caliente se genera la zona del defecto, trabajando con algoritmos para detectar la zona umbral mediante la distribución de probabilidad de brillo, un algoritmo para generar un máximo gradiente para hallar los bordes del defecto y un algoritmo para fijar la zona con un procedimiento de reconstrucción establecido en morfología matemática para la escala de gris mediante el umbral.

### 2.2.5 Algoritmo de obtención del defecto

Los tres algoritmos utilizarán un paso previo para la aproximación de la localización de los defectos. Lo cual les permite localizar semillas y regiones estimadas de los defectos (ver Figuras. 2.9, 2.10 y 2.11). Estas regiones están alrededor de los puntos más calientes de la imagen, es decir, los valores de intensidad máximos. Las regiones tienen un tamaño MND (mínima distancia vecina). Es posible indicar la cantidad de regiones y el tamaño de las mismas para extraer los puntos calientes de cada región (semillas). Al iniciar el programa las regiones tienen un tamaño MND de 100 píxeles y el número de semillas máximo es 1. Esto será modificado empíricamente por el usuario dependiendo de las condiciones de la imagen. Es posible modificarlos en el menú “Parámetros” opción “Semillas”.

Las semillas son extraídas de la siguiente manera: Primero se ordenan de mayor a menor todos los valores de intensidad de los píxeles conservando la información referente a su posición. Esto se logra gracias al comando *sortrows* de Matlab que es utilizado sobre la versión vectorial de la imagen y una etiqueta de posición. De tal manera que se cumpla lo siguiente:

$$g(r) \geq g(r + 1) \quad \& \quad \text{para valores iguales de } g(r): k(r) \geq k(r + 1)$$

Ecuación 2.2

Donde  $g(r)$  representa el valor de intensidad del píxel y  $k(r)$  es la etiqueta de posición. (Elizondo, 2002)

Posteriormente, se encuentra una estimación del valor mínimo de intensidad que puede ser considerado un defecto. Esto se logra gracias a los operadores estadísticos de media ( $\mu$ ) y desviación estándar ( $\sigma$ ) como se muestra a continuación: (Malpica, Santos, Pérez, García, & Desco, 2002)

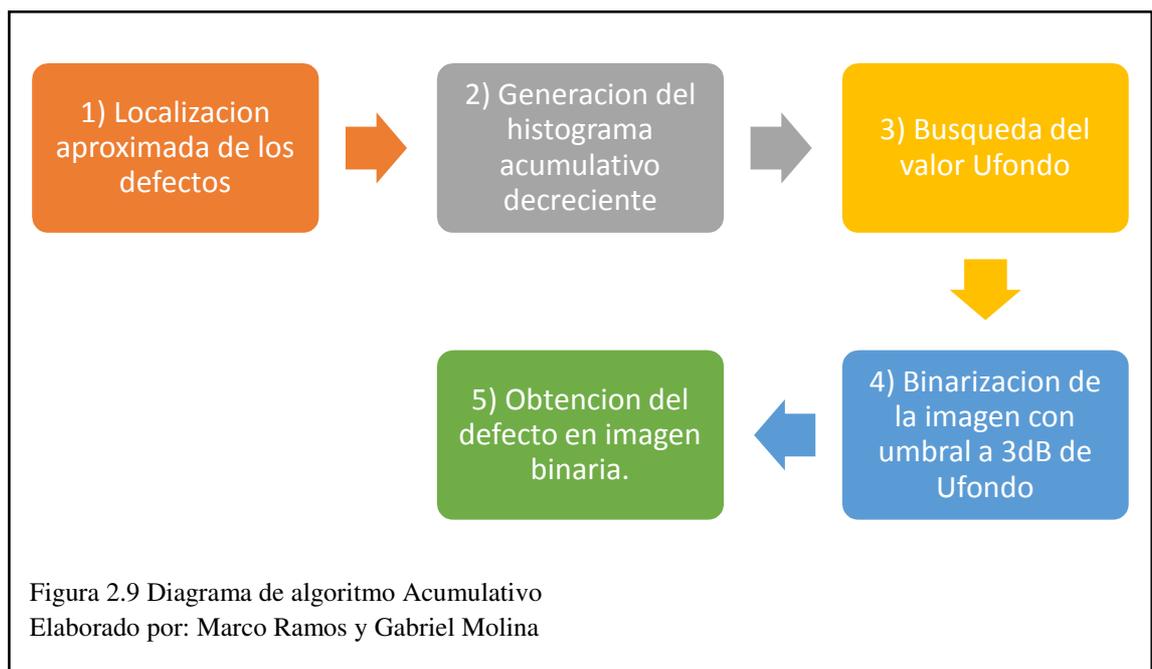
$$V_{min} = \mu(g(r)) + \sigma(g(r)) \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Para finalizar el proceso, de manera iterativa se crean etiquetas para cada pixel empezando por con mayor valor de intensidad. Las etiquetas son seleccionadas utilizando la función de discriminación:

$$D = \text{distanciaEuclidiana}(k(r), k(r')) > MND \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Si D es positivo se etiqueta el pixel como la siguiente semilla de lo contrario esta pertenece a la región anterior. Esto se genera hasta que se cumple alguna de las siguientes condiciones: todos los pixeles han sido etiquetados, la semilla sobrepasa el valor mínimo o el número definido de semillas han sido encontradas. (Elizondo, 2002)

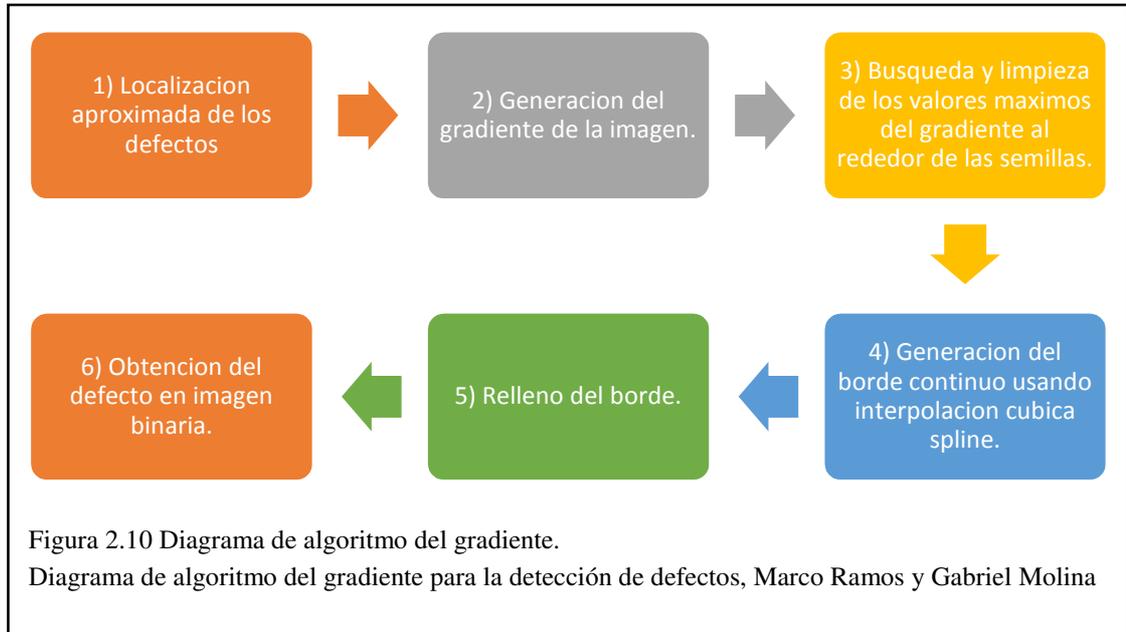
#### a) Algoritmo Acumulativo



Este algoritmo separa los defectos del resto de la imagen al utilizar un umbral. Este umbral es seleccionado a partir de conteo (histograma) acumulativo decreciente de la cantidad de pixeles con valores de intensidad igual y/o menores al valor de intensidad de las semillas. Cuando un cambio repentino en este histograma acumulativo decreciente se presenta indica que la intensidad perteneciente al fondo de la imagen ha sido alcanzada; a este valor se le conoce como Ufondo. Para encontrar Ufondo se

calculan los ángulos generados entre los puntos adyacentes del histograma y aquel con el valor máximo es seleccionado. El valor encontrado es disminuido en 3dB y este valor es el umbral a utilizar para la binarización de la imagen.

### b) Algoritmo del gradiente



Los algoritmos de gradiente y morfológico encuentran el borde del defecto al encontrar los valores máximos del gradiente alrededor de las semillas en todas direcciones y se extraen dichos puntos. El gradiente ( $G$ ) de una imagen se define como:

$$G(A, B) = D(A, B) - E(A, B) \quad \text{Ecuación 2.5}$$

Donde  $B$  es el elemento estructural,  $A$  la imagen sobre la cual se aplica el gradiente,  $D$  es la operación morfológica dilatación y  $E$  la operación morfológica de erosión.

Para encontrar el punto máximo en cada dirección se utilizan las siguientes ecuaciones:

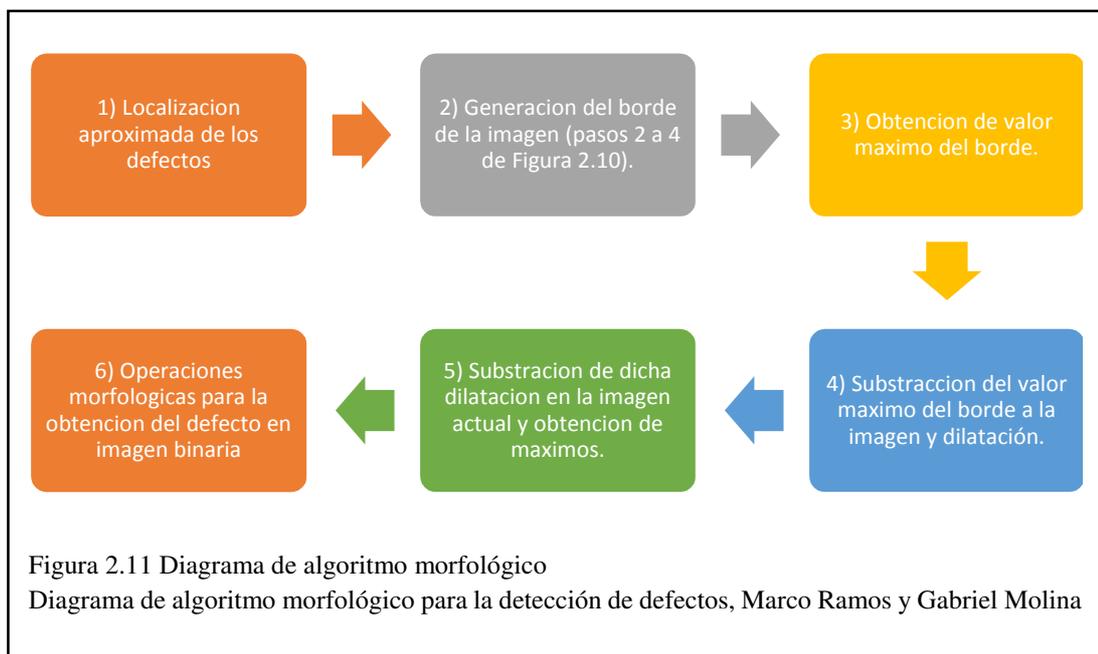
$$px = i_d + (j_d - py) \tan \theta \begin{cases} 315^\circ < \theta < 45^\circ \\ 135^\circ \leq \theta < 225^\circ \end{cases} \quad \& \quad \begin{cases} 45^\circ \leq \theta < 135^\circ \\ 225^\circ \leq \theta \leq 315^\circ \end{cases} \quad \text{Ecuación 2.6}$$

Para cada ángulo  $\theta$ ,  $py$  (ó  $px'$  en la segunda ecuación) es incrementado en '1' en cada iteración partiendo del defecto hasta el borde (o del borde hasta el defecto). Luego, en una búsqueda hecha sobre todos los valores encontrados a lo largo de  $D$ , se determina

el máximo gradiente. Este punto es almacenado en un vector que contiene todas las coordenadas del borde del defecto.

Posteriormente se genera la continuidad de este borde utilizando el método de interpolación cúbica *spline* que ya se encuentra implementada en Matlab en una función con nombre homólogo. Para finalizar el proceso se rellena ese borde con operaciones morfológicas para generar la imagen binaria y con esto la obtención del defecto.

### c) Algoritmo morfológico

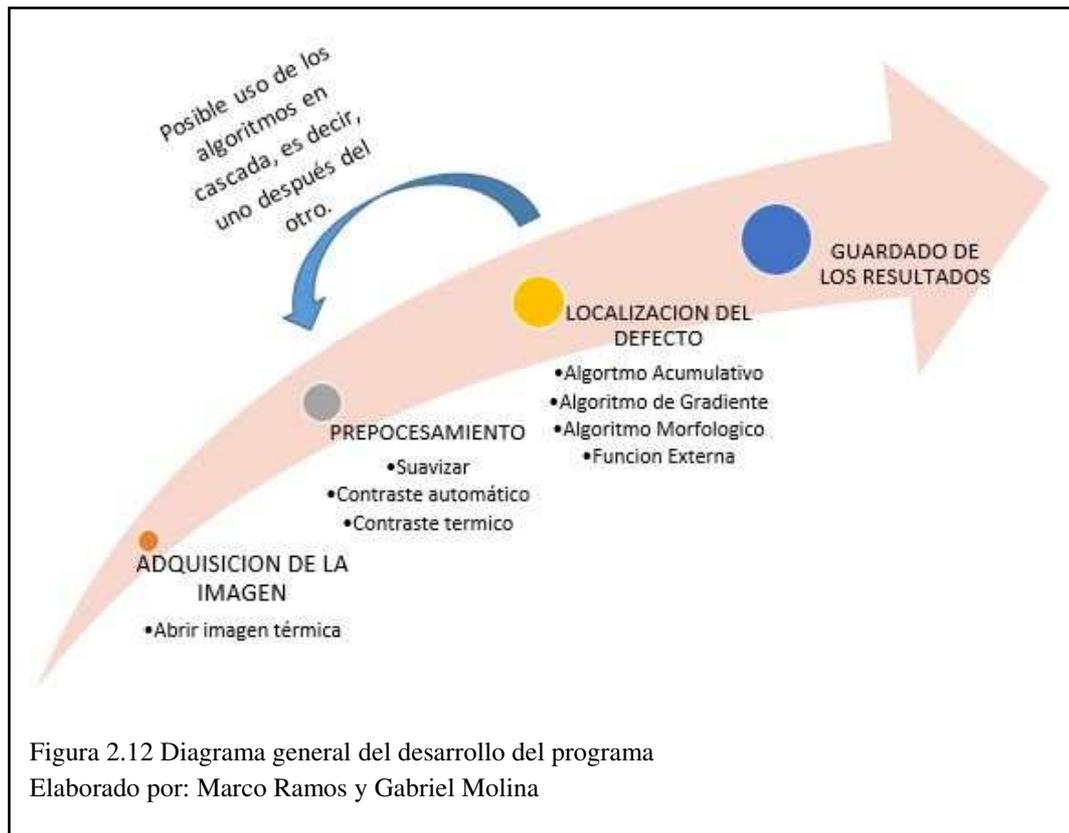


De forma análoga al algoritmo gradiente, este genera el borde de la misma forma (ver pasos 2 a 4 de la Figura. 2.10). A continuación, se utiliza el valor máximo de intensidad en el borde, conocido como “h”, para sustraerlo de la imagen en intensidades actual. Posteriormente esta nueva imagen se dilata morfológicamente y se sustrae de la imagen en intensidades actual. Se localizan los máximos de esta nueva imagen con una ventana de histéresis de tamaño 10 y se aplican operaciones morfológicas de cerradura y apertura para la obtención del defecto.

### 2.3 Acerca de imágenes térmicas

El programa ayuda en el procesamiento de imágenes térmicas para la extracción de defectos en zonas cálidas utilizando al menos tres diferentes algoritmos y da la posibilidad de acceder a un cuarto que es personalizable como una función externa.

Su diagrama general se muestra a continuación, aquí se muestra el flujo lógico del programa:



### 2.4 Interfaz gráfica de usuario (GUI)

Todo el proceso mostrado en el diagrama general se encuentra distribuido en una interfaz gráfica para la comodidad del usuario. Está, aparte de mostrar botones para cada una de las etapas mostradas con anterioridad, nos da la posibilidad de visualizar de inmediato sus resultados en diferentes mapas de colores y; nos proporciona información extra como la temperatura de cada pixel y el tiempo de procesamiento de cada etapa. Igualmente nos permite modificar los parámetros del pre procesamiento y de los algoritmos.

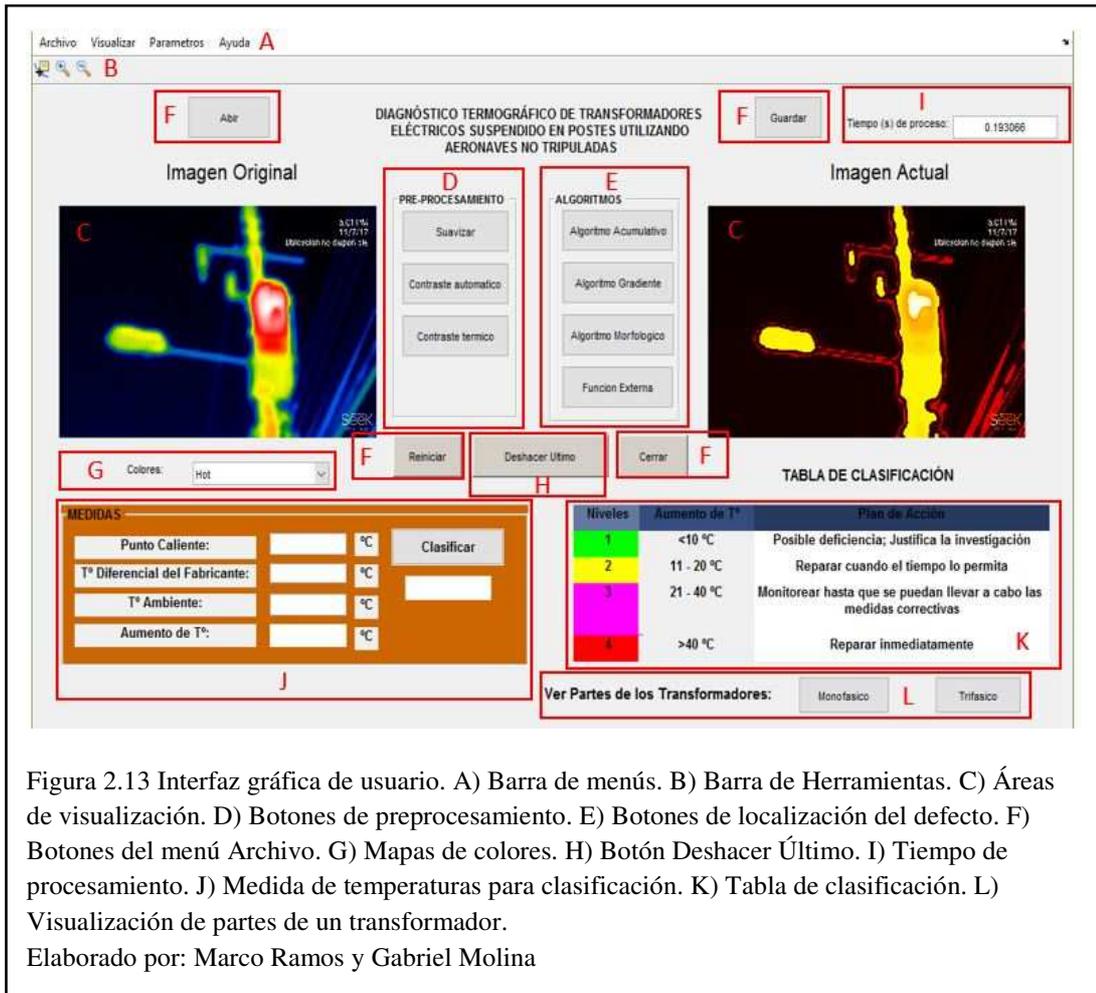


Figura 2.13 Interfaz gráfica de usuario. A) Barra de menús. B) Barra de Herramientas. C) Áreas de visualización. D) Botones de preprocesamiento. E) Botones de localización del defecto. F) Botones del menú Archivo. G) Mapas de colores. H) Botón Deshacer Último. I) Tiempo de procesamiento. J) Medida de temperaturas para clasificación. K) Tabla de clasificación. L) Visualización de partes de un transformador. Elaborado por: Marco Ramos y Gabriel Molina

### 2.4.1 Barra de Menú

Cuenta con los menús: Archivo, Visualizar, Parámetros y Acerca de. Todas las opciones de estos menús son accesibles a través de meta comandos únicos para agilizar la tarea del usuario.

### 2.4.2 Menú Archivo

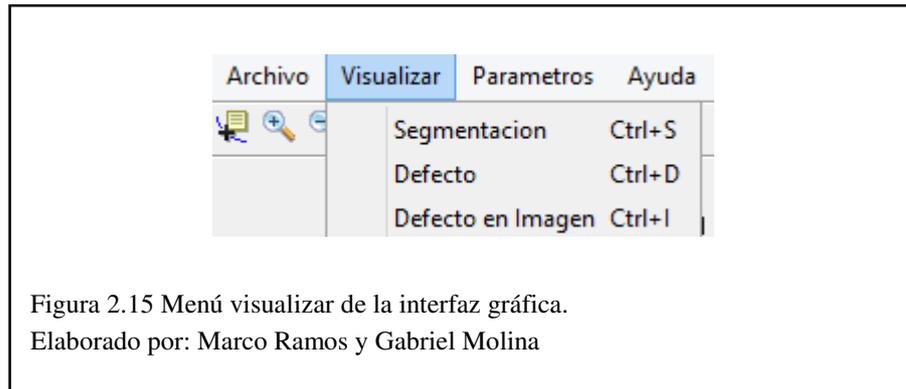
La opción de “Abrir” del menú “Archivo” (ver figura 2.13) nos llevará al explorador para seleccionar el archivo. Posteriormente, se recortará la parte lateral izquierda de la imagen correspondiente a la escala térmica y se generará el mapa de intensidades utilizando dicha escala. Los resultados se mostrarán en las áreas de visualización. Esto se refiere a la etapa de “Adquisición de la Imagen” del diagrama general (ver Figura. 2.12).



Si ya existe una imagen cargada podemos reiniciar todo el procesamiento que se ha realizado en ella utilizando la opción “Reiniciar” del menú “Archivo”; esto no es reversible por lo que el programa preguntará por la confirmación de esta acción. Igualmente se puede guardar la nueva imagen generada o cerrar el programa. La opción “Guardar” mostrará una ventana emergente para escribir el nombre del archivo y generar una o tres imágenes según sea el caso. Si es seleccionado después de abrir la imagen, reiniciar la imagen o realizar algún pre-procesamiento, solo guardará la imagen con el mapa de intensidades ya que el defecto no está disponible aún. Si se guarda el resultado después de seleccionar algún método de localización de defectos, se guardará el mapa de intensidades del defecto, el defecto en una imagen binaria y el defecto sobre la imagen original. Esto completaría la etapa final del diagrama general (ver Figura. 2.12).

### 2.4.3 Menú Visualizar:

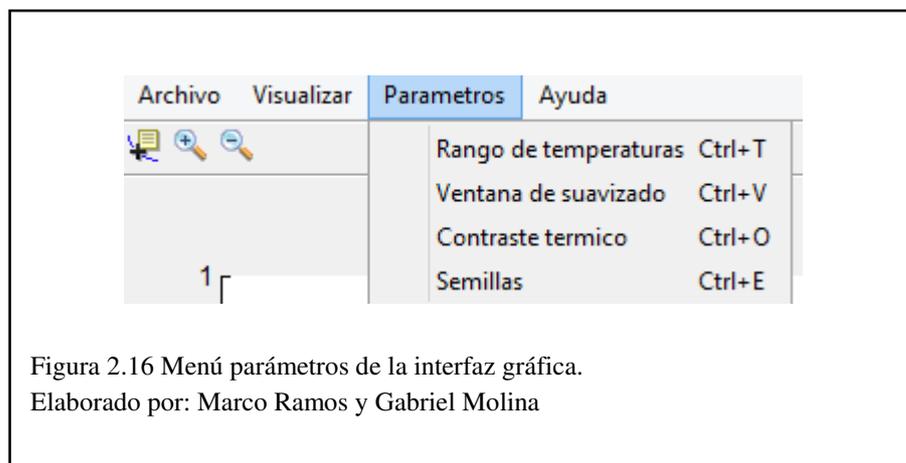
En él se puede cambiar entre las formas de visualizar la imagen actual. La opción “Defecto” muestra el mapa de intensidades y es la opción seleccionada desde el inicio. Cabe mencionar que la opción “Segmentación” y “Defecto en Imagen” solo estarán disponibles después de utilizar algún método de localización de defectos, de lo contrario el programa mostrará una ventana indicando que no es posible realizar dicha acción.



#### 2.4.4 Menú parámetros

En él se pueden modificar los parámetros utilizado para el pre-procesamiento o los algoritmos de localización de defectos. Estos una vez seleccionados mostrarán una ventana con los valores actuales y darán la opción de modificarlos. Si se elige modificarlos una ventana nos lo permitirá y se confirmará el éxito o fracaso de la operación.

La opción *Rango de temperaturas* es la excepción a lo dicho anteriormente, ya que esta muestra un mapeo de las intensidades de la imagen original a temperaturas. Para ello se basa en los valores iniciales y finales introducidos en la ventana emergente. También incluye instrucciones sobre cómo leer dicho valor sobre la nueva ventana.



## 2.4.5 Menú Ayuda

Muestra la información del programa (ver figura 2.17).

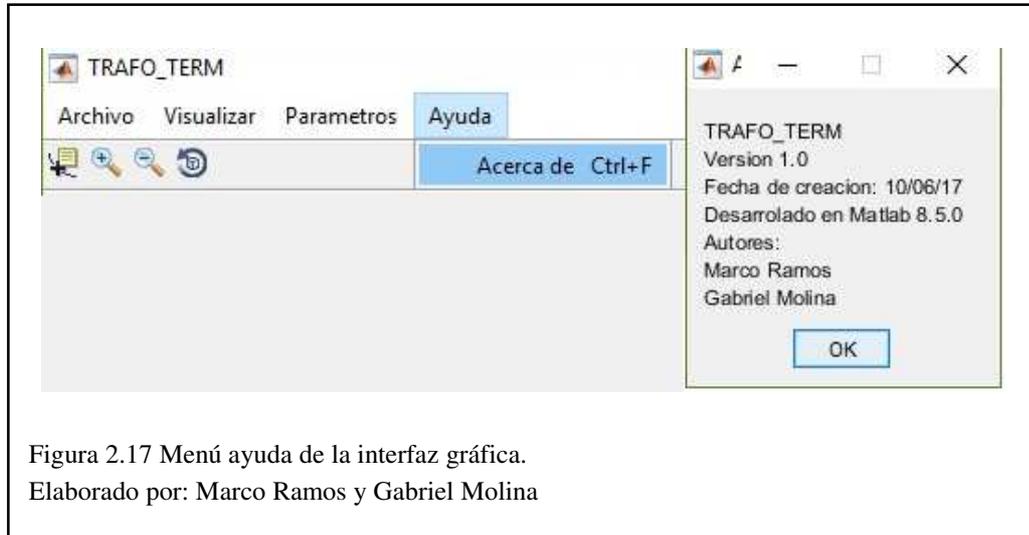


Figura 2.17 Menú ayuda de la interfaz gráfica.  
Elaborado por: Marco Ramos y Gabriel Molina

## 2.4.6 Barra de herramientas.

En esta sección tendremos tres iconos. De izquierda a derecha: data cursor, zoom in y zoom out. Estos funcionan para ambas ventanas de visualización y pueden ser utilizados a partir de que una imagen fue abierta y hasta que el programa se cierra.

## 2.4.7 Área de visualización

Son dos, una nombrada “Imagen Original” y la otra “Imagen Actual”. Se utilizan una vez que cualquier imagen sea abierta y la ventana derecha se actualizará para mostrar el último procesamiento realizado.

## 2.4.8 Botones de pre-procesamiento

Son tres: suavizar, contraste automático y contraste térmico. Estos generan mapas de intensidades, pero no generan defectos.

### a) Suavizar

Este botón utiliza un filtro promedio para suavizar la imagen original. El tamaño de la ventana del filtro es de 5x5 al inicio del programa y este valor puede ser modificado en el menú “Parámetros” en la opción “Ventana de suavizado”, debe tener un valor mayor o igual a dos. Para imágenes y defectos de mayor calidad y/o tamaño se

recomiendan ventanas de mayor valor. Esta utiliza la función *imfilter* interna de Matlab para su realización y la ventana se crea como la matriz identidad entre el cuadrado del tamaño de la ventana.

#### **b) Contraste térmico**

Los valores iniciales son  $T_{def} = 200$  y  $T_{no\_def} = 25$  para la utilización de la Ec 2.1. Estos valores pueden ser alterados en la opción “Contraste térmico” del menú “Parámetros” los valores tomados son de 0 a 255 y el valor del pixel del defecto siempre debe ser mayor.

#### **c) Contraste automático**

Este botón ajusta los valores de intensidades para que estos abarquen la mayoría del espacio disponible, es decir, valores desde 0 hasta 255. Lo anterior se logra utilizando la función “*imadjust*” interna de Matlab.

### **2.4.9 Botones para la localización de defectos**

Estos generan un defecto en una imagen binaria, así como un mapa de intensidades. Utilizando esta información es posible proyectar el defecto sobre la imagen original. Los botones de arriba abajo son los siguientes: algoritmo acumulativo, algoritmo gradiente, algoritmo morfológico y función externa.

### **2.4.10 Botones del menú archivo**

Estos corresponden a las acciones encontradas también en el menú archivo (ver sección “Menú archivo”) pero dispuestos para su ágil uso en la interfaz.

### **2.4.11 Selección de mapas de colores**

El menú desplegable de mapas de colores contiene 13 opciones a elegir, estos son: hot, cool, jet, hsv, spring, summer, autumn, winter, gray, bone, copper, pink y lines. Los cuales mostrarán el recuadro de visualización “Imagen Actual” con sus diferentes tonalidades dependiendo del mapa de color seleccionado.

#### **2.4.12 Botón deshacer último**

Controla el flujo de trabajo al dar la opción de regresar a un estado previo del procesamiento de la imagen, una ventana emergente nos indicará que este proceso es irreversible y nos preguntará si aun así queremos continuar.

#### **2.4.13 Tiempo de procesamiento**

En este recuadro se mostrará el tiempo de procesamiento de la última acción realizada ya sea para adquirir la imagen, pre-procesarla o localizar los defectos en la misma. Se recomienda no realizar ninguna acción en el programa mientras la casilla de tiempo de procesamiento muestre la etiqueta: “Procesando...”.

#### **2.4.14 Medidas de temperaturas para el diagnostico**

Permite el ingreso manual de la temperatura obtenida por el defecto o punto caliente mostrado en el menú de visualización de igual forma se ingresa el valor de la temperatura ambiente y la temperatura de defecto del fabricante, esta temperatura es proporcionada por el fabricante de cada transformador eléctrico de distribución.

El cálculo de la variación de temperatura está dado por la siguiente ecuación: (EC&M, 1999)

$$\Delta T = T_{PC} - T_{Diferencial} - T_{Ambiente} \quad \text{Ecuación 2.7}$$

#### **2.4.15 Tabla de información para el diagnostico**

Esta tabla proporcionada por indica los rangos de temperaturas a nivel electrónico lo cual nos permite tomar un plan de acciones para el mantenimiento predictivo del transformador eléctrico de distribución.

<b>Thermographic Survey Suggested Action Bases on Temperature Rise</b>		
Temperatura difference ( $\Delta T$ ) based on comparisons between	Temperature difference ( $\Delta T$ ) based upon comparisons between component and ambient air temperatures	Recommended Action
1°C - 3°C	1°C - 10°C	Posible deficiency; warrants investigation
4°C - 15°C	11°C - 20°C	indicates probable deficiency; repair as time permits
	21°C - 40°C	Monitor until corrective measures can be accomplished
>15°C	> 40°C	Major discrepancy; repair immediately

Figura 2.18 Referencia para plan de acción en los transformadores  
Fuente: Encuesta termográfica de acciones sugeridas basadas en aumento de temperaturas, (Genutis, 2006-2007). Elaborado por: Marco Ramos y Gabriel Molina

#### 2.4.16 Visualizador de partes del transformador

Permite observar las partes de un transformador monofásico para localizar físicamente la falla en el transformador eléctrico de distribución.

## CAPITULO 3

### PRUEBAS Y RESULTADOS

En el presente capítulo se detalla las pruebas y resultados mediante una comparación de los diferentes algoritmos utilizados en el programa elaborado en la plataforma de Matlab®, para el diagnóstico termográfico de transformadores eléctricos mediante una aeronave no tripulada.

Los transformadores eléctricos de distribución tomados para la realización de las pruebas están ubicados en el sector Sur de la ciudad Quito para mayor accesibilidad.

#### 3.1 Comparación de algoritmos

Los algoritmos de segmentación comparados son: morfológico, acumulativo, gradiente y función externa.

Para la comparación de cada algoritmo se toma en cuenta el tiempo del proceso, el mapa de colores que se use y los parámetros de mínima distancia vecina y la cantidad de defectos como se muestra en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1 Especificaciones de las imágenes térmicas tomadas con diferentes mapas de colores utilizando los algoritmos desarrollados.**

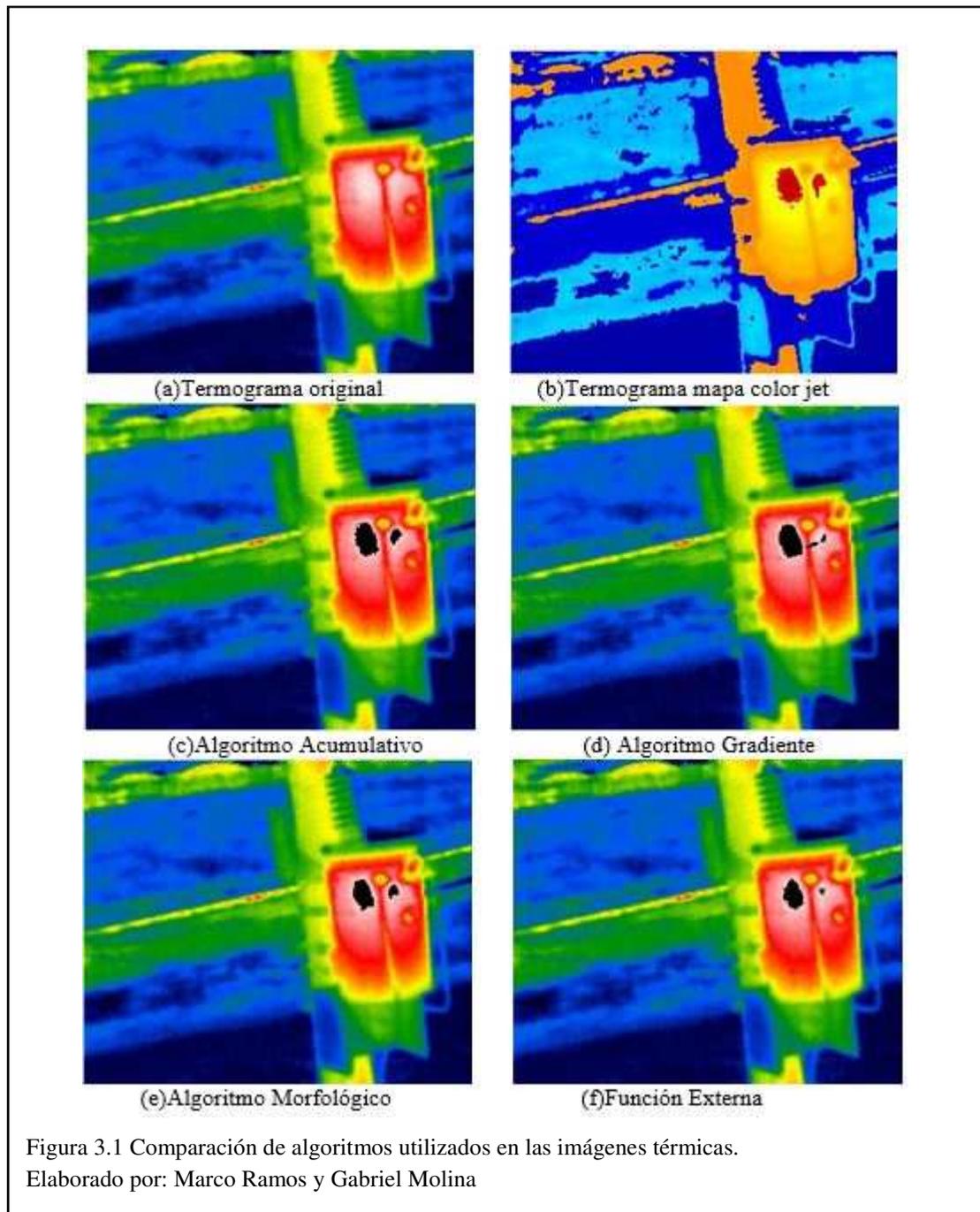
TERMOGRAMA 1				
Algoritmo	Mapas de colores	MND	Max defectos	Tiempos [s]
Acumulativo	 JET	100	2	2,53
Gradiente				2,32
Morfológico				2,35
Función Externa				0,021

TERMOGRAMA 2				
Algoritmo	Mapas de colores	MND	Max defectos	Tiempos [s]
Acumulativo	 BONE	100	2	2,62
Gradiente				1,43
Morfológico				2,48
Función Externa				0,027

Elaborado por: Marco Ramos y Gabriel Molina

En la Tabla 3.1 se observa los valores aplicados a las imágenes térmicas como la mínima distancia vecina (MND) de 100 y un número máximo de defectos de valor 2 de igual forma se trabajó con dos mapas de colores (Jet y Bone), con estos valores se obtuvo el tiempo de procesamiento de la imagen para realizar una comparación entre algoritmos y observar cual es el más eficiente.



En los algoritmos procesados mediante los valores mostrados en la Tabla 3.1 se observó diferentes características en las imágenes como se muestra en la Figura 3.1.

En el algoritmo acumulativo mostrado en la Figura 3.1(c) se observa en la imagen la forma de la segmentación del defecto entrecortado y rústico, de igual manera se nota como este algoritmo puede generar una segmentación para cada defecto presentado en la imagen.

En el algoritmo morfológico presentado en la Figura 3.1(e) se visualiza cómo la forma de la segmentación del defecto es más continuo y suave dando la forma semejante al punto caliente mostrado a simple vista por la imagen térmica original.

En el algoritmo del gradiente mostrado en la Figura 3.1(d) se observa una forma de segmentación más precisa y continua, sin embargo, con este algoritmo puede expandirse más allá del defecto debido a otros puntos calientes separados o por causa del ruido que poseen las imágenes.

En el algoritmo de función externa se ha tomado un umbral superior a 200 para encontrar el defecto en la imagen como se muestra en la Figura 3.1(f). Este algoritmo es el más rápido como se visualiza en el tiempo de procesamiento en la Tabla 3.1 pero eso no quiere decir que sea el más eficiente.

### 3.2 Diagnóstico Térmico

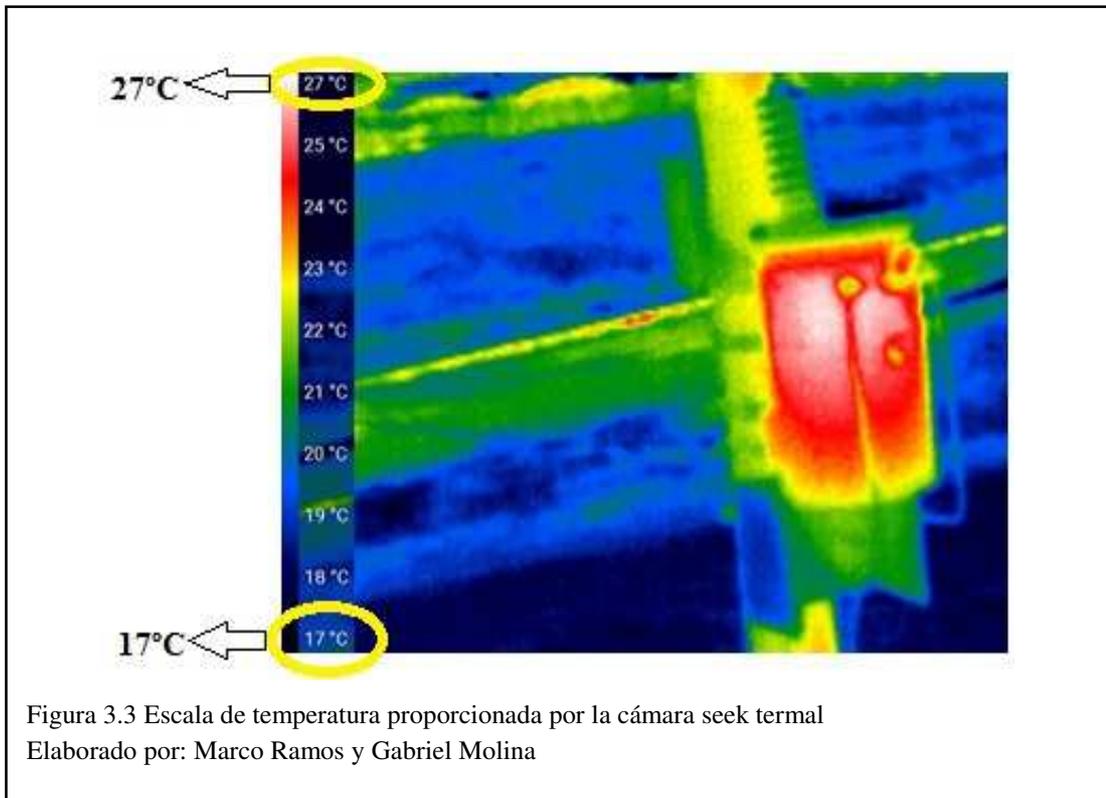
Para el diagnóstico termográfico se ingresa las siguientes variables tomados en cuenta, como se muestra en la Figura 3.2

MEDIDAS			
Punto Caliente:	<input type="text"/>	°C	Clasificar <input type="text"/>
T° Diferencial del Fabricante:	<input type="text"/>	°C	
T° Ambiente:	<input type="text"/>	°C	
Aumento de T°:	<input type="text"/>	°C	

Figura 3.2 Ingreso de variables para el diagnóstico termográfico  
Elaborado por: Marco Ramos y Gabriel Molina

Los valores para ingresar en la Figura 3.2 se obtienen de la imagen térmica original y del programa desarrollado, como por ejemplo el punto caliente se adquiere mediante el programa ingresando en la viñeta de parámetros donde se coloca la escala de

temperatura captada por la cámara térmica en la imagen original, como se indica en la Figura 3.3.



En el lado izquierdo de la Figura 3.3 se observa la escala térmica en la que se encuentra tomada la imagen, con estos valores proporcionados por la imagen térmica se ingresa en el programa y se dirige a la viñeta parámetros y rango de temperaturas para poder visualizar la temperatura en el defecto encontrado por el programa como indica en la Figura 3.4

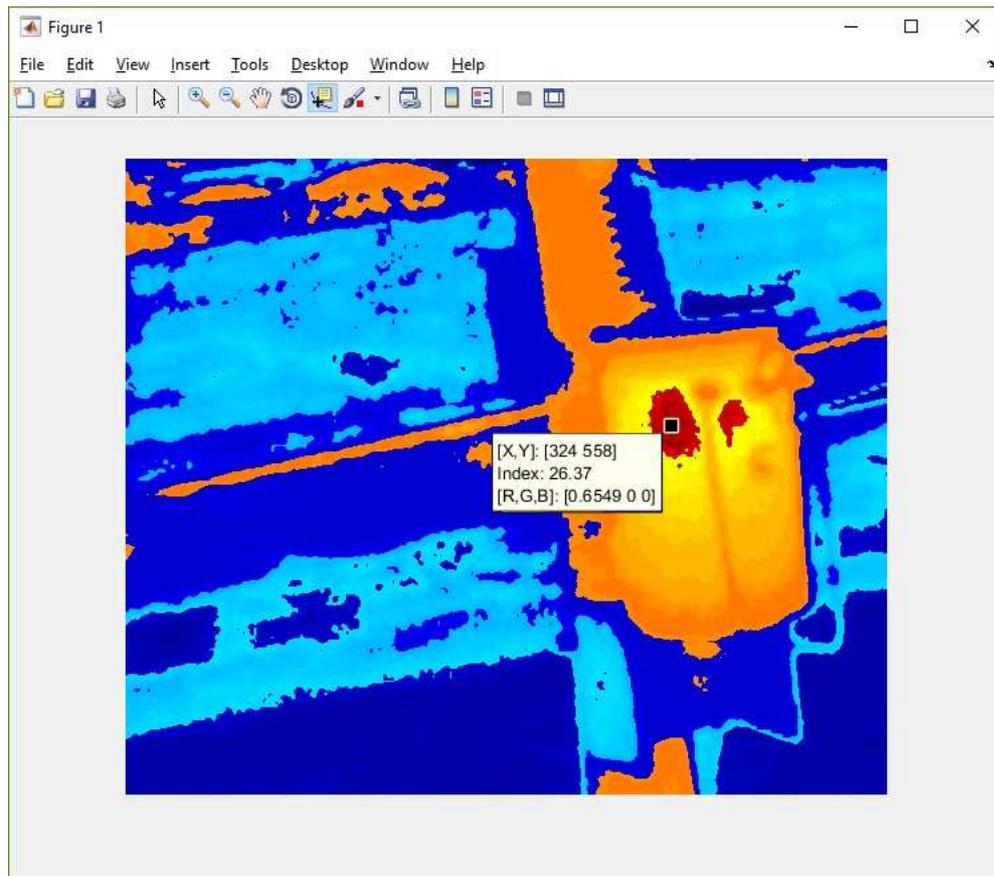
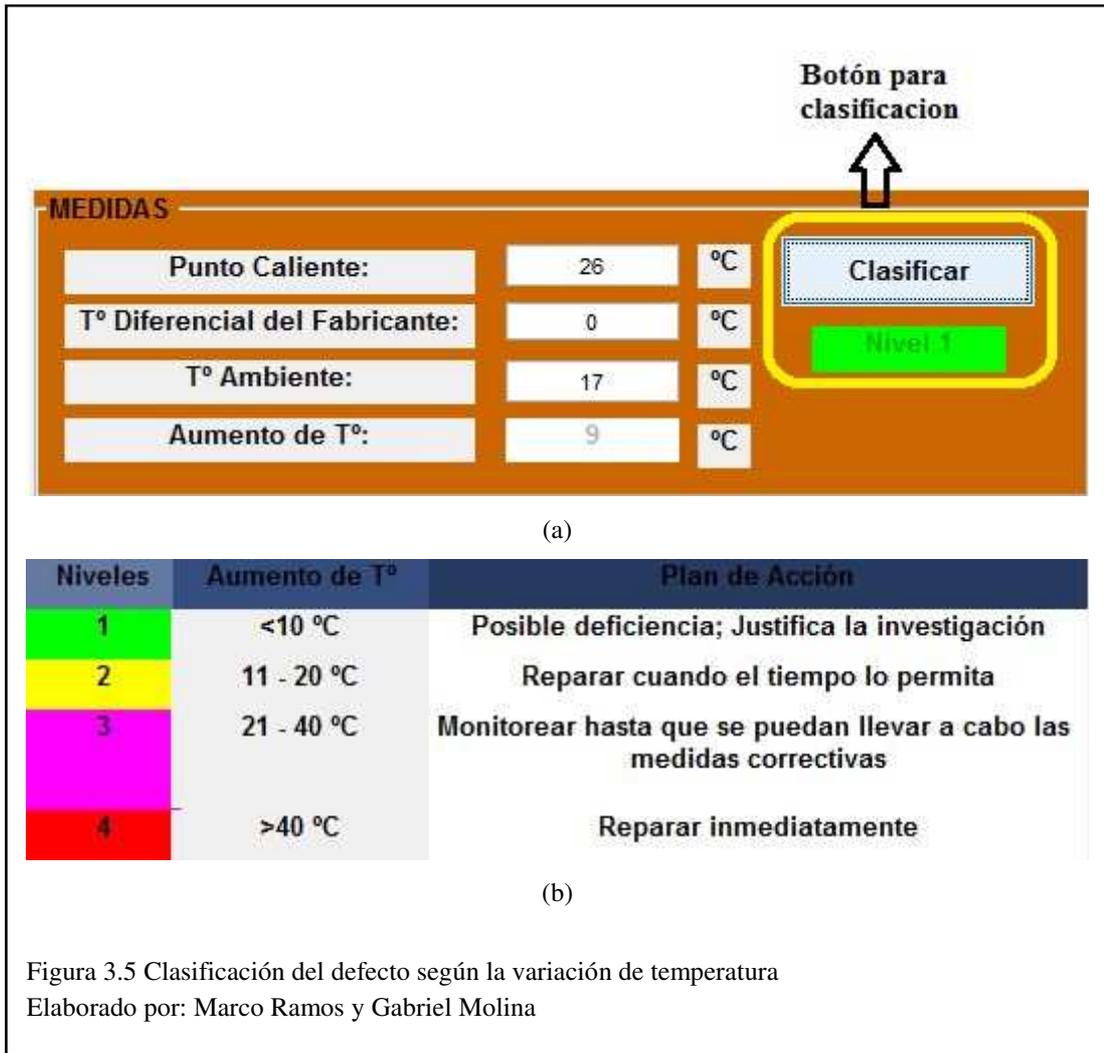


Figura 3.4 Temperatura en el defecto encontrado  
Elaborado por: Marco Ramos y Gabriel Molina

El valor mostrado en la etiqueta *Index* representa el valor del punto caliente que es proporcionado por programa desarrollado.

Una vez obtenidos estos valores, se ingresan en el programa para realizar la clasificación del defecto, según la variación de temperatura que ha sufrido el transformador eléctrico de distribución en la zona de defecto, esto se observa en la Figura 3.5, según la tabla mostrada por el programa. Esto indicará el plan de acción que se debe tomar con el transformador eléctrico.

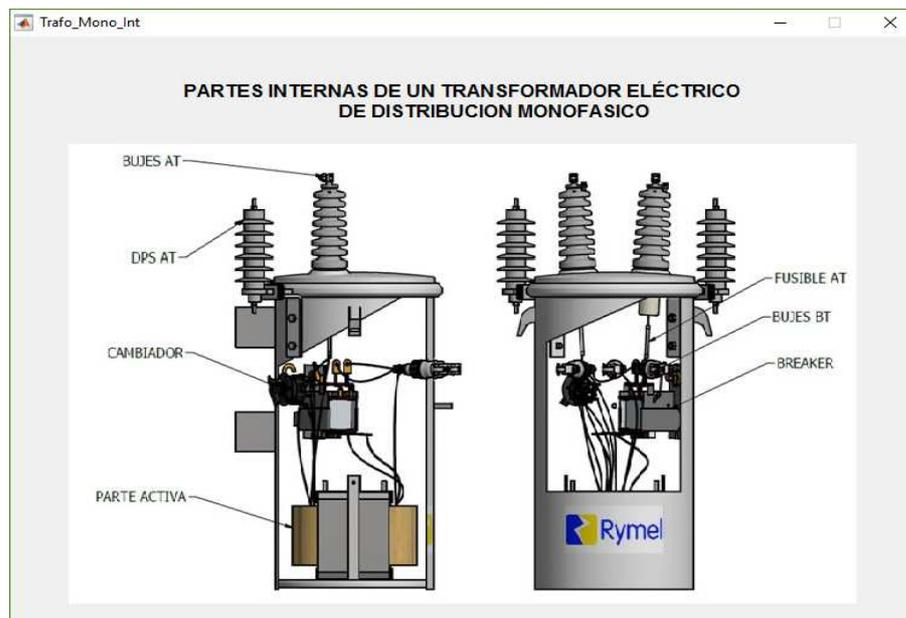


Como se observa en la Figura 3.5 (a) al ingresar los valores correspondientes (referenciado en el capítulo 3 ítem 3.2) en cada casilla y presionar el botón de clasificar, se indica en la parte derecha con diferentes colores la posición en la que se encuentra el posible fallo (Ver Figura 3.5 (b)).

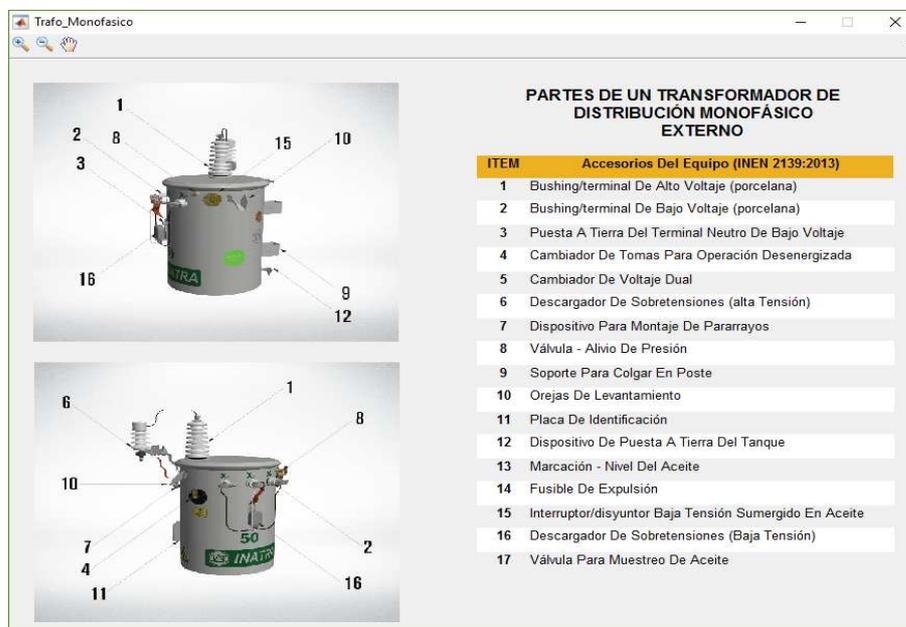
Dependiendo de qué color y nivel sea el fallo se procede con el plan de acción adecuado para el transformador eléctrico como se indica en la Figura 3.5 (b). En el ejemplo mostrado se puede visualizar en la Figura 3.5 (a) el nivel 1 de color verde concluyéndose que el transformador eléctrico se encuentra en un estado de buen funcionamiento.

### 3.3 Localización del defecto

En el caso de poseer un defecto en el transformador eléctrico, se colocó un botón en la parte inferior derecha para visualizar las partes del transformador eléctrico de distribución como se muestra en la Figura 3.6.



(a)



(b)

Figura 3.6 Visualización de partes de un transformador (a) interna y (b) externa  
Elaborado por: Marco Ramos y Gabriel Molina

Con la Figura 3.6 y las imágenes obtenidas del programa con los algoritmos mostrados en la Figura 3.1, se localiza el fallo aproximadamente, en este caso el transformador no presenta ningún tipo de fallo.

Pero asumiendo que podría tener algún defecto se diría que el ejemplo de la Figura 3.1 que el fallo se encuentra en la parte del descargador de bajas tensiones o el interruptor/disyuntor de baja tensión como se muestra en la Figura 3.6.

### 3.4 Pruebas de algoritmos con diferentes mapas de colores

Para estas pruebas se utilizó los diferentes mapas de colores indicados en la Figura 2.7 con los cuales se obtendrá los tiempos de proceso de los diferentes estilos de colores utilizados por el programa desarrollado.

Con estas pruebas también se podrá verificar cuál de los algoritmos usados es más eficiente al momento de encontrar el defecto en la imagen térmica.

**Tabla 3.2 Valores obtenidos de los diferentes algoritmos utilizados en distintos mapas de colores**

<b>Mapa de Color</b>	<b>Hot</b>			
<b>Algoritmo</b>	<b>Mapas de colores</b>	<b>MND</b>	<b>Max defectos</b>	<b>Tiempos [s]</b>
Acumulativo		100	2	2,53
Gradiente				2,93
Morfologico				2,29
Funcion Externa				0,2
<b>Mapa de Color</b>	<b>Cool</b>			
<b>Algoritmo</b>	<b>Mapas de colores</b>	<b>MND</b>	<b>Max defectos</b>	<b>Tiempos [s]</b>
Acumulativo		100	2	2,5
Gradiente				2,22
Morfologico				2,42
Funcion Externa				0,2
<b>Mapa de Color</b>	<b>Jet</b>			
<b>Algoritmo</b>	<b>Mapas de colores</b>	<b>MND</b>	<b>Max defectos</b>	<b>Tiempos [s]</b>
Acumulativo		100	2	2,53
Gradiente				2,32
Morfologico				2,35
Funcion Externa				0,021

<b>Mapa de Color</b>	<b>HSV</b>			
<b>Algoritmo</b>	<b>Mapas de colores</b>	<b>MND</b>	<b>Max defectos</b>	<b>Tiempos [s]</b>
Acumulativo		100	2	sin resultado
Gradiente				sin resultado
Morfologico				sin resultado
Funcion Externa				sin resultado
<b>Mapa de Color</b>	<b>Spring</b>			
<b>Algoritmo</b>	<b>Mapas de colores</b>	<b>MND</b>	<b>Max defectos</b>	<b>Tiempos [s]</b>
Acumulativo		100	2	2,84
Gradiente				2,24
Morfologico				2,31
Funcion Externa				0,021
<b>Mapa de Color</b>	<b>Summer</b>			
<b>Algoritmo</b>	<b>Mapas de colores</b>	<b>MND</b>	<b>Max defectos</b>	<b>Tiempos [s]</b>
Acumulativo		100	2	2,57
Gradiente				2,29
Morfologico				2,33
Funcion Externa				0,19
<b>Mapa de Color</b>	<b>Autumn</b>			
<b>Algoritmo</b>	<b>Mapas de colores</b>	<b>MND</b>	<b>Max defectos</b>	<b>Tiempos [s]</b>
Acumulativo		100	2	2,51
Gradiente				2,25
Morfologico				2,34
Funcion Externa				0,22
<b>Mapa de Color</b>	<b>Winter</b>			
<b>Algoritmo</b>	<b>Mapas de colores</b>	<b>MND</b>	<b>Max defectos</b>	<b>Tiempos [s]</b>
Acumulativo		100	2	2,53
Gradiente				2,28
Morfologico				2,36
Funcion Externa				0,021
<b>Mapa de Color</b>	<b>Gray</b>			
<b>Algoritmo</b>	<b>Mapas de colores</b>	<b>MND</b>	<b>Max defectos</b>	<b>Tiempos [s]</b>
Acumulativo		100	2	2,52
Gradiente				2,25
Morfologico				2,37
Funcion Externa				0,026

<b>Mapa de Color</b>		Bone			
<b>Algoritmo</b>	<b>Mapas de colores</b>	<b>MND</b>	<b>Max defectos</b>	<b>Tiempos [s]</b>	
Acumulativo		100	2	2,52	
Gradiente				2,24	
Morfologico				2,29	
Funcion Externa				0,021	
<b>Mapa de Color</b>		Copper			
<b>Algoritmo</b>	<b>Mapas de colores</b>	<b>MND</b>	<b>Max defectos</b>	<b>Tiempos [s]</b>	
Acumulativo		100	2	2,58	
Gradiente				2,56	
Morfologico				2,46	
Funcion Externa				0,027	
<b>Mapa de Color</b>		Pink			
<b>Algoritmo</b>	<b>Mapas de colores</b>	<b>MND</b>	<b>Max defectos</b>	<b>Tiempos [s]</b>	
Acumulativo		100	2	2,62	
Gradiente				2,54	
Morfologico				2,52	
Funcion Externa				0,02	
<b>Mapa de Color</b>		Lines			
<b>Algoritmo</b>	<b>Mapas de colores</b>	<b>MND</b>	<b>Max defectos</b>	<b>Tiempos [s]</b>	
Acumulativo		100	2	2,64	
Gradiente				2,51	
Morfologico				2,52	
Funcion Externa				0,023	

Elaborado por: Marco Ramos y Gabriel Molina

**Tabla 3.3 Cálculo de media de cada algoritmo utilizando distintos mapas de colores**

Mapa de colores	Algoritmo			
	Acumulativo	Gradiente	Morfologico	Funcion Externa
1	2,53	2,93	2,29	0,2
2	2,5	2,22	2,42	0,2
3	2,53	2,32	2,35	0,021
4				
5	2,84	2,24	2,31	0,021
6	2,57	2,29	2,33	0,19
7	2,51	2,25	2,34	0,22
8	2,53	2,28	2,36	0,021
9	2,52	2,25	2,37	0,026
10	2,62	1,43	2,48	0,027
11	2,58	2,56	2,46	0,027
12	2,62	2,54	2,52	0,02
13	2,64	2,51	2,52	0,023
<b>Mediana</b>	<b>2,55</b>	<b>2,285</b>	<b>2,365</b>	<b>0,0265</b>

(Datos obtenidos de la Tabla 3.4) Elaborado por: Marco Ramos y Gabriel Molina

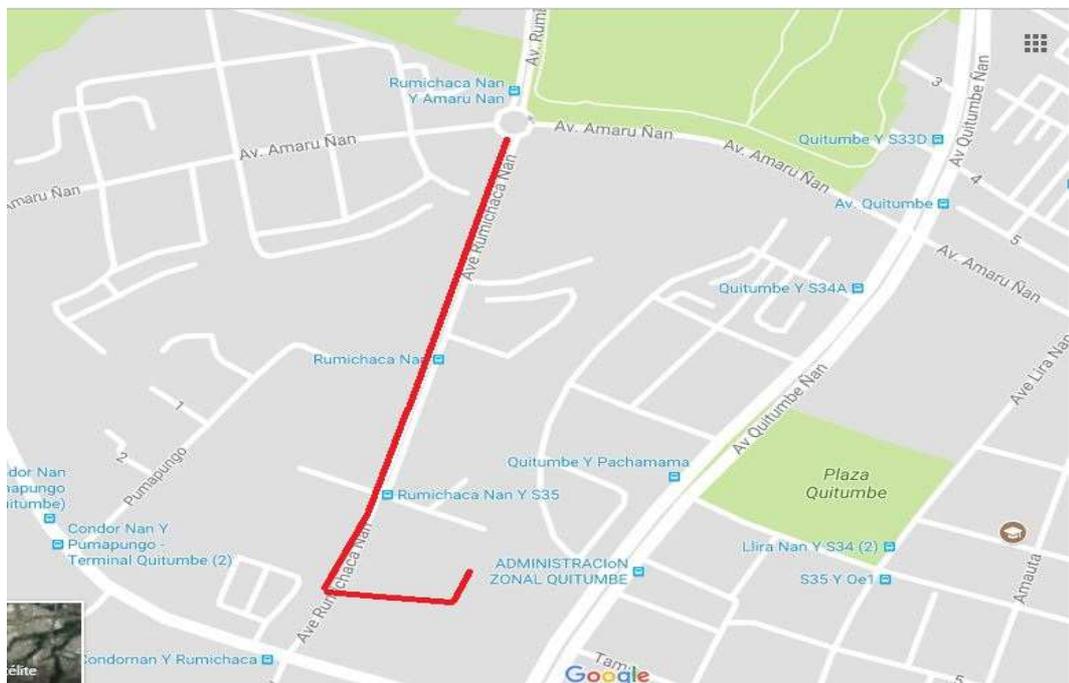
Como se observa a simple vista en la Tabla 3.3 se indica que el algoritmo más rápido para encontrar el defecto es el de la función externa, pero eso no quiere decir que sea el más eficiente por cómo se observó en la Figura 3.1(e), en donde la forma del defecto es mejor al usar el algoritmo morfológico.

### **3.5 Prueba en diferentes transformadores eléctricos de distribución**

Las ubicaciones de los transformadores eléctricos de distribución tomados para las pruebas fueron en el sector de Quitumbe y el Beaterio. (Ver Figura 3.7)



(a)



(b)

Figura 3.7 Recorrido de transformadores eléctricos de distribución para pruebas sectores:

(a)Quitumbe (b)Beaterio

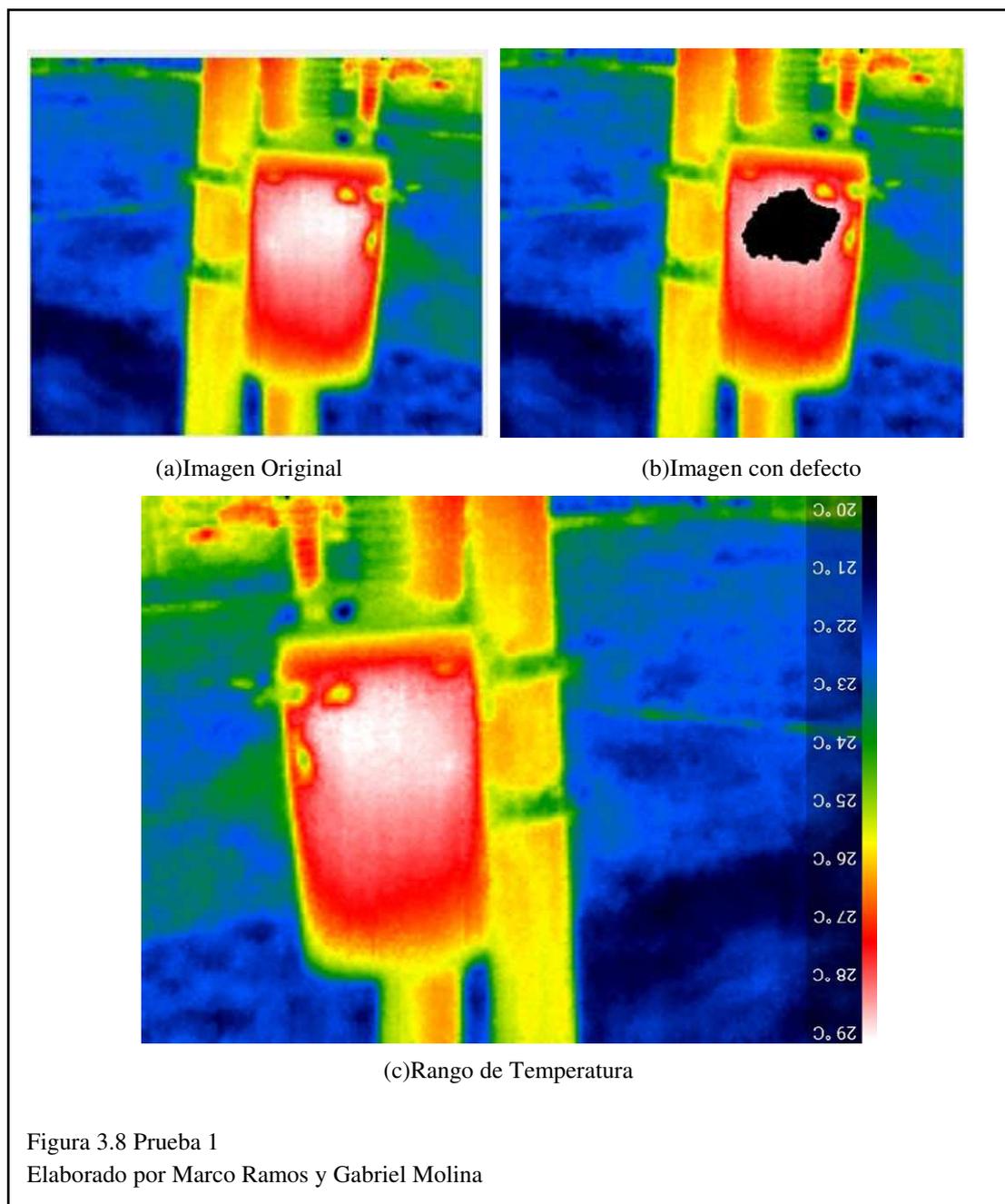
Elaborado por: Marco Ramos y Gabriel Molina

Fuente: (Google Maps)

Para el diagnostico termográfico se ocuparon 10 transformadores eléctricos de los cuales se mostrarán los cinco más interesantes a continuación, los demás serán analizados en el **Anexo 4**.

Todas las pruebas están realizadas con el algoritmo morfológico, por lo que al realizar el análisis de los algoritmos este mostro mejor resultado en la forma del defecto.

### 3.6 Prueba 1:



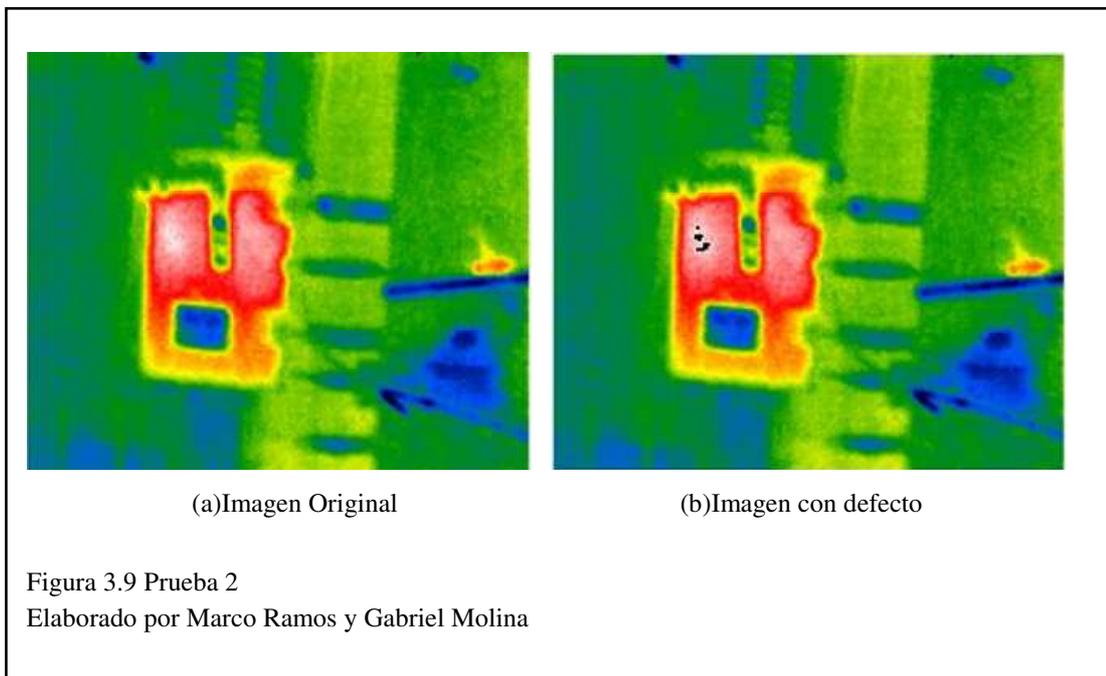
MEDIDAS			
Punto Caliente:	29	°C	<input type="button" value="Clasificar"/> <input type="button" value="Nivel 1"/>
T° Diferencial del Fabricante:	0	°C	
T° Ambiente:	22	°C	
Aumento de T°:	7	°C	

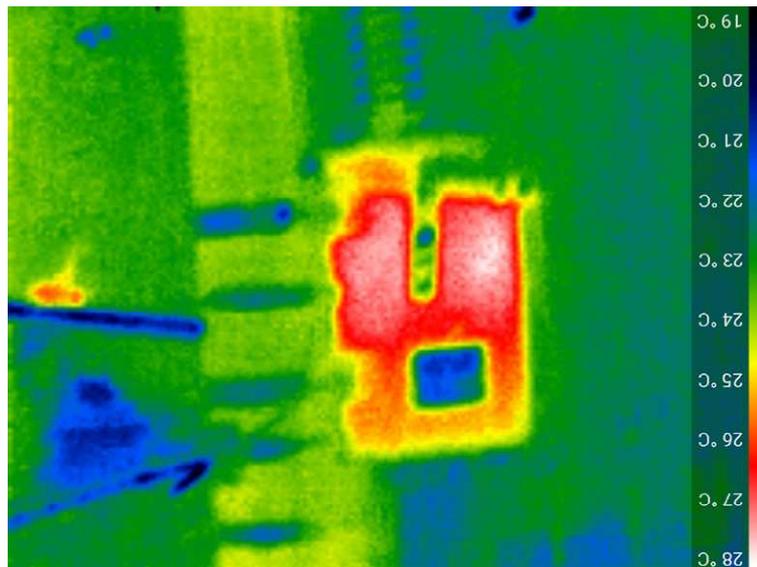
(d)Clasificación del defecto

Continuación Figura 3.8 Prueba 1  
 Elaborado por Marco Ramos y Gabriel Molina

Como se observa en la Figura 3.8 el transformador ubicado en el sector Quitumbe no muestra ningún defecto de alto nivel por lo que se concluye que este transformador eléctrico de distribución se encuentra en buen estado de funcionamiento y no requiere ningún plan de acción por el momento.

### 3.7 Prueba 2:





(c) Rango de Temperatura

MEDIDAS			
Punto Caliente:	27	°C	<input type="button" value="Clasificar"/> <input type="button" value="Nivel 1"/>
T° Diferencial del Fabricante:	0	°C	
T° Ambiente:	21	°C	
Aumento de T°:	6	°C	

(d) Clasificación del defecto

Continuación Figura 3.9 Prueba 2  
 Elaborado por: Marco Ramos y Gabriel Molina

Como se observa en la Figura 3.9 el transformador eléctrico de distribución ubicado en el sector Quitumbe indica unos pequeños puntos calientes en la imagen, basados en los valores y el aumento de temperatura en este punto del defecto se clasifico como nivel 1 esto quiere decir que el transformador se encuentra en buen estado.

### 3.8 Prueba 3:

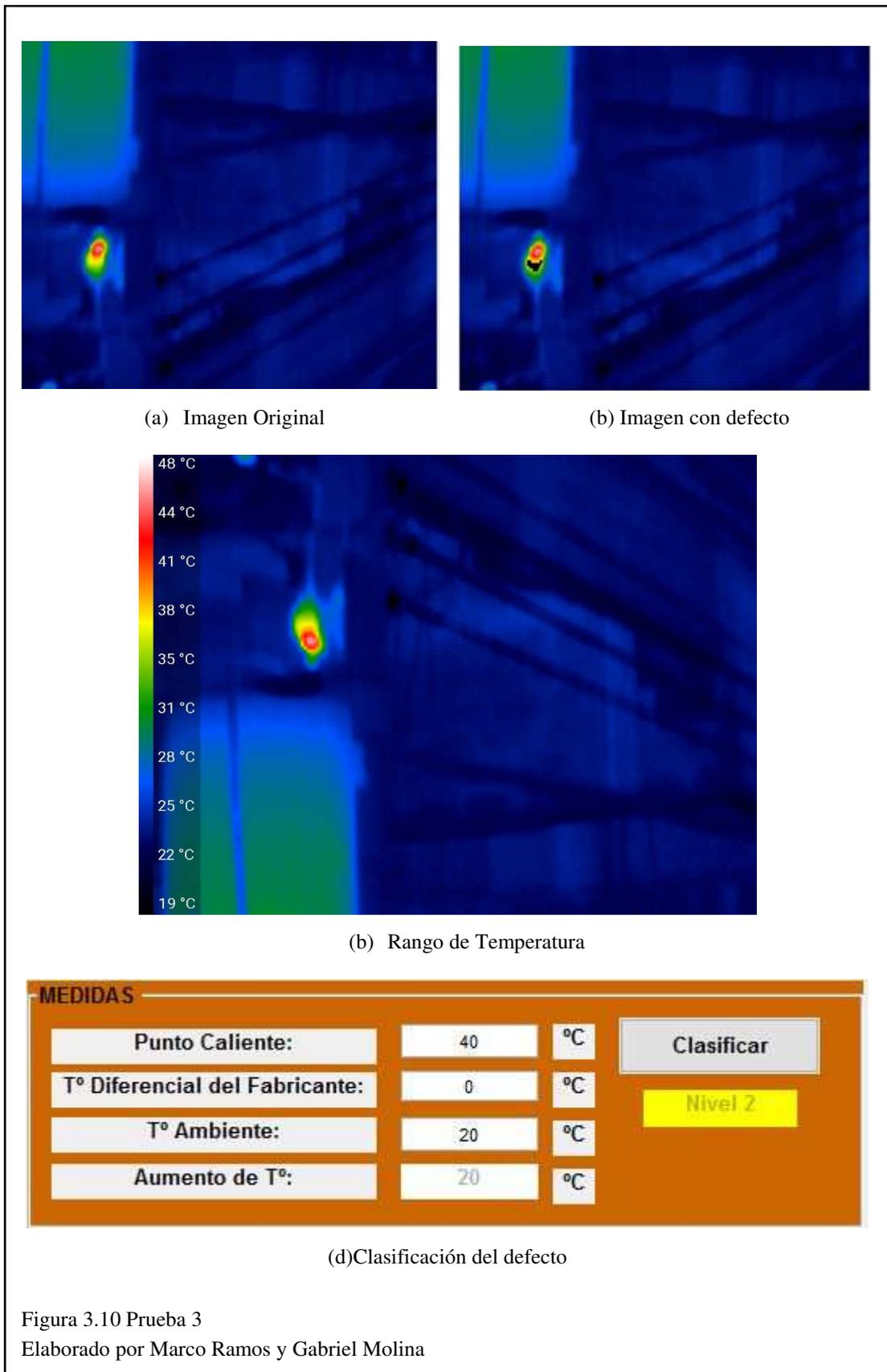
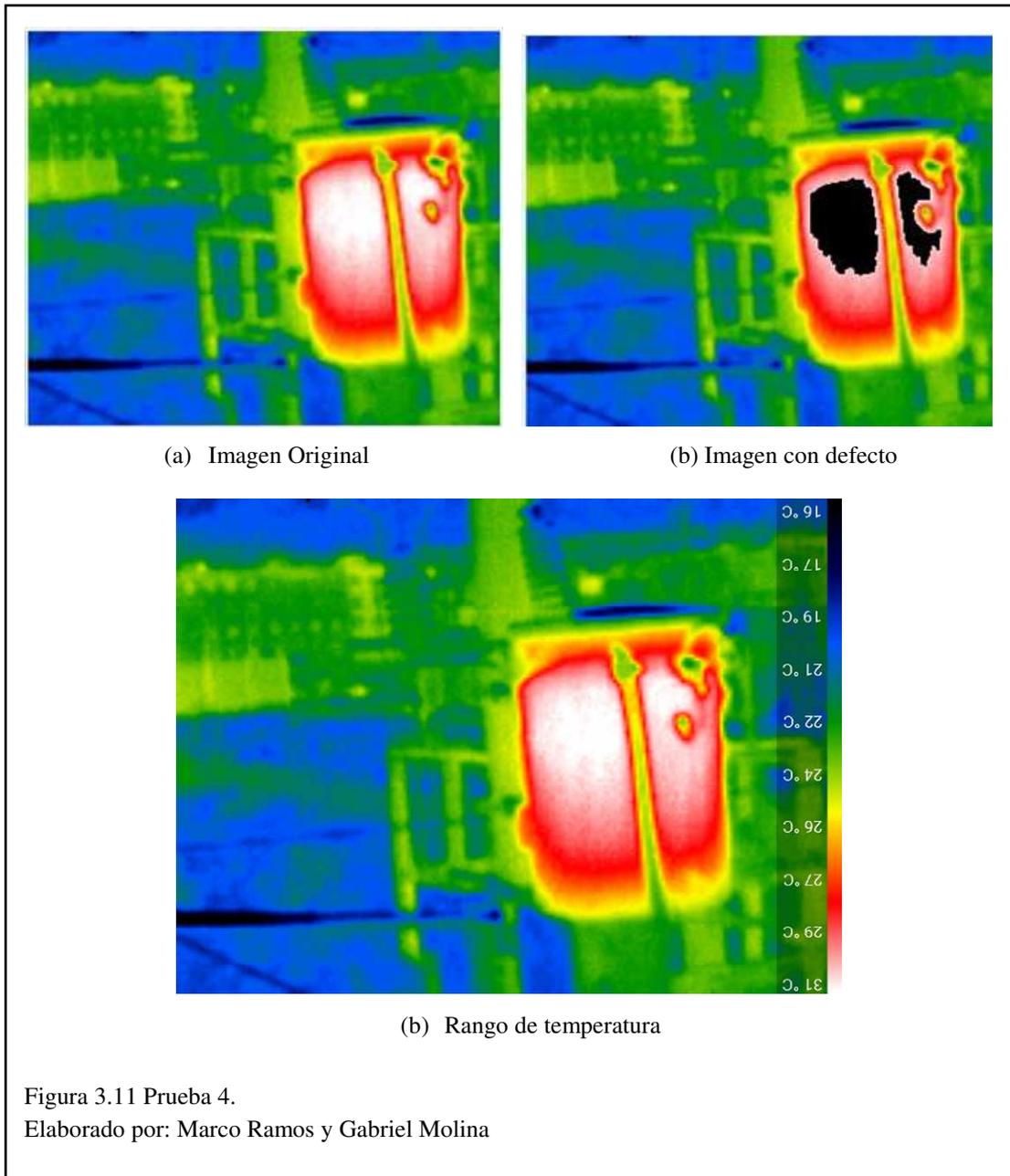


Figura 3.10 Prueba 3  
Elaborado por Marco Ramos y Gabriel Molina

En la Figura 3.10 se muestra la parte inferior de un transformador eléctrico de distribución ubicado en el sector del beaterio el cual se observa como el interruptor o breaker se encuentra en una temperatura elevada, por lo cual el programa determina un nivel 2 del defecto para un plan de acción de cambiar o reparar el *breaker* cuando el tiempo lo permita o en una próxima visita.

### 3.9 Prueba 4:





(d) Clasificación del defecto

Figura 3.11 Continuación Prueba 4.

Elaborado por: Marco Ramos y Gabriel Molina

En la Figura 3.11 (d) se observa como la temperatura aumenta unos 13 grados centígrados, lo que causa que el nivel del defecto este ubicado en la posición 2, según la posición del defecto y observando las partes del transformador se pudo determinar que el daño del transformador probablemente está ubicado en el aceite de refrigeración por lo que el defecto es mayor en la imagen el cual puede ser cambiado en una próxima revisión.

### 3.10 Prueba 5:

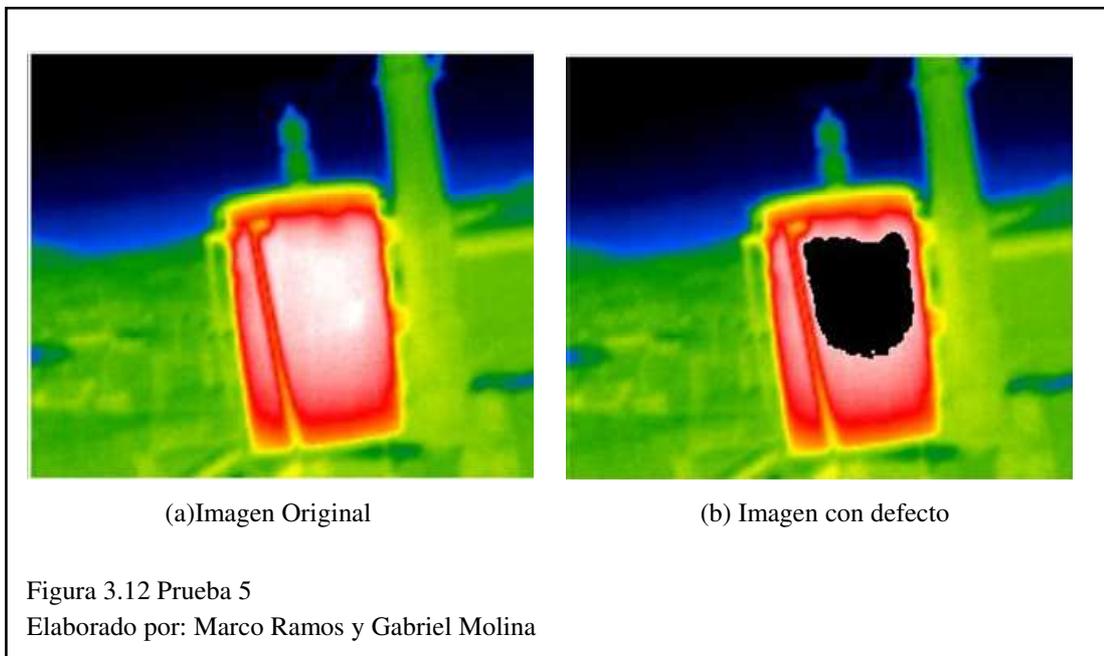
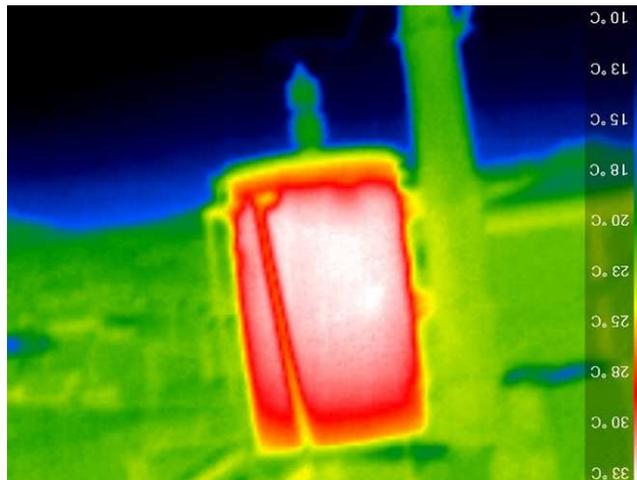


Figura 3.12 Prueba 5

Elaborado por: Marco Ramos y Gabriel Molina



(c) Rango de temperatura

MEDIDAS			
Punto Caliente:	32	°C	<input type="button" value="Clasificar"/> <input type="button" value="Nivel 2"/>
T° Diferencial del Fabricante:	0	°C	
T° Ambiente:	14	°C	
Aumento de T°:	18	°C	

(d) Clasificación del defecto

Figura 3.12 Continuación Prueba5  
 Elaborado por: Marco Ramos y Gabriel Molina

Como se observa en la Figura 3.10 el transformador eléctrico presenta un defecto mayor con una temperatura de aumento de 18 grados centígrados lo que provoca que el nivel del plan de acción se encuentre en la posición 2 con estos datos obtenidos por el programa se presunta que el aceite de refrigeración del transformador eléctrico está empezando a calentarse más de lo normal, por lo que se debería cambiarse en la próxima visita o en el tiempo de cambio de aceite.

## CONCLUSIONES

- Al utilizar una aeronave no tripulada de alta gama es mucho más fácil realizar el diagnóstico predictivo, ya que brindar mayor seguridad al usuario sin tener que utilizar plataformas móviles como escaleras
- Para realizar un diagnóstico termográfico en transformadores ubicados en postes en la ciudad de Quito la temperatura apropiada en el día es de 7h30 am a 9h00 am la cual presenta una temperatura de 12 a 18 grados centígrados; y en la tarde la hora aconsejada es de 17h30 a 17h00 para obtener lecturas y registros mucho más precisos.
- La interfaz de usuario presenta una forma amigable para modificar y visualizar los algoritmos, así como una forma sencilla de realizar varios procesos uno después del otro para obtener mejores resultados. Esto tendrá que resolverse en cada caso de forma distinta ya que no existe un método universal de procesamiento de imágenes.
- Los tiempos de procesamiento son adecuados para su uso fluido. Para cualquier etapa de pre-procesamiento se encuentran por debajo de los 0.25 segundos y en los algoritmos se encuentran por debajo de los 5 segundos en imágenes de 1280x960 pixeles. Esto puede ser optimizado al guardar resultados parciales o limitando el número de procesos por imagen. Sin embargo, solo serían aprovechados en algunas ocasiones y quitaría versatilidad al programa.
- La interfaz permite la inclusión de nuevos algoritmos por medio de su función externa sin necesidad de modificar el programa principal. Esto es de gran utilidad en contextos de desarrollo e investigación.
- En el entorno práctico se determinó en las pruebas de los transformadores situados en Quitumbe y el Beaterio que tienen un buen funcionamiento a tal punto que no se requiere de un mantenimiento constante.
- Al controlar la aeronave no tripulada cerca de las bobinas de transformadores o en presencia de antenas de radio y televisión se visualiza la dificultad de maniobra por presencia de campo magnético.

- Se observó que en los cuatro algoritmos utilizados los mapas de colores JET, BONE brindan valores muy parecidos con una leve diferencia en el tiempo de procesamiento
- Se comprobó que el tiempo de vuelo de la aeronave no tripulada disminuye notablemente al añadir dispositivos para la adquisición de datos para lo cual se debe tomar precauciones como el tiempo que lleva en actividad o carga de las baterías.
- Se comprobó que usar datos móviles es más efectivo para la conexión Pc, aeronave no tripulada y celular que crear una red con un modem convencional porque los datos móviles tienen mucha más área de cobertura
- Al emplear los algoritmos Gradiente, Acumulativo, Morfológico y Función Externa se observa que los tiempos de proceso son muy similares

## RECOMENDACIONES

- Para evitar daños en el Drone y el control se debe visualizar que todas sus luces indicadoras estén en verde, tanto en el control de mando como en la aeronave no tripulada.
- Consumir en su totalidad la carga eléctrica en la aeronave no tripulada antes de ser guardada, al no hacerlo la batería se descalibra.
- Para una mejor segmentación de la imagen se recomienda realizar el pre-procesamiento necesario para obtener un mejor resultado.
- Para obtener el nivel del defecto se recomienda ingresar los valores en números enteros, en el caso de que el número sea con decimales se sugiere redondear al inmediato superior.
- Configurar siempre el botón *return to home* ya que se puede perder la conexión el control con la nave o a su vez puede salir del rango de cobertura.
- Sincronice las brújula (compass); se sabe que el DRONE DJI PHANTOM ADVANCED vienen equipados con brújula y GPS, es importante sincronizarlos antes de realizar el primer vuelo ya que este le da estabilidad y funciona de la mano con el *return to home* que si se perdiera comunicación el control de mando con la nave o la carga eléctrica está al límite este regresará solo automáticamente a su lugar de partida.
- Se debe calibrar el control remoto del Drone o actualizar el firmware esto es muy recomendado con el fin de que estén alineados y el Drone obedezca de forma correcta todos los mandos del control remoto como abajo, arriba atrás, adelante, rotar a la izquierda y derecha.
- Se debe evitar volar en lugares residenciales o con mucha edificación donde abundan las redes WiFi, pues estas redes funcionan a 2.4 GHz y es la misma que utilizan los DRONES DJI PHANTOM ADVANCED para comunicarse con el control remoto.

- Tampoco es recomendable realizar maniobras en lugares donde existe presencia de cableado, antenas de radio y televisión ya que estos generan gran cantidad de campo magnético lo cual es muy perjudicial para el DRONE
- Al momento de utilizar un DRONE DJI PHANTOM ADVANCED la forma de calibrar es colocando el Drone en forma horizontal y girar 360 grados en forma anti horaria luego se coloca en forma vertical el Drone y se gira 360 grados en sentido horario.

## LISTA DE REFERENCIA

- Acosta, M. H. (14 de Enero de 2011). *Aprobación Operacional de vuelo para un UAS*. Recuperado el 15 de Junio de 2017, de UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUNYA:  
<http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/12465/memoria.pdf;jsessionid=C42FFC10A59B76AB6756739793EAE757?sequence=1>
- Barrientos, A., del Cerro, J., Gutierrez, P., San Martín, R., Martínez, A., & Rossi, C. (2007). *Vehículos aéreos no tripulados para uso civil. Tecnología y aplicaciones*. Obtenido de Grupo de Robótica y Cibernética, Universidad Politécnica de Madrid: <http://webdiis.unizar.es/~neira/docs/ABarrientos-CEDI2007.pdf>
- BENÍTEZ RESTREPO, H. D., IBARRA-CASTANEDO, C., HAKIM BENDADA, A., MALDAGUE, X., LOAIZA, H., & CAICEDO, E. (2007). *Procesamiento de imágenes infrarrojas para la detección de defectos en materiales*. (Tecnura, Ed.) Obtenido de Sistema de Información Científica Redalyc: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=257021012004>
- Elizondo, J. J. (Noviembre de 2002). *CONATEC*. Recuperado el 14 de Diciembre de 2017, de Fundamentos de Procesamiento de Imágenes:  
<https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/39190415/FundamentosDeProcesamientoDeImagenes.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1513284436&Signature=FB6Jq8R%2B4OOmULiJHYXZu7xQXc%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DFundame>
- Genutis, D. A. (2006-2007). Recuperado el 14 de Diciembre de 2017, de Infrared Inspections and Applications: Infrared Inspections and Applications
- Kwong, W. F. (30 de Mayo de 2011). *Captura de imagen en una camara digital*. Obtenido de CHWonders: <http://www.chw.net/2011/05/captura-de-imagen-en-una-camara-digital-chwonders/>
- León, F. C. (1998). *Tecnología del Mantenimiento Industrial* (1 ed.). Murcia: Servicio de Publicaciones. Recuperado el 14 de Diciembre de 2017, de <https://books.google.es/books?id=bOrFC3532MEC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Malpica, N., Santos, Á., Pérez, E., García, M., & Desco, M. (2002). Recuperado el 14 de Diciembre de 2017, de REPOSICIONAMIENTO DE REGIONES DE INTERÉS EN SECUENCIAS:  
<http://www2.die.upm.es/im/papers/NMCaseib02.pdf>
- Matlab. (1994-2017). Recuperado el 14 de Diciembre de 2017, de MathWorks:  
<https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/colormap.html>
- Pérez, P. A. (2001). *Transformadores de distribución*. México: Reverté, S.A. Recuperado el 14 de Junio de 2017

- SectorElectricidad. (24 de Julio de 2014). *Distribución de energía eléctrica*.  
Obtenido de <http://www.sectorelectricidad.com/9602/distribucion-de-energia-electrica/>
- TeamViewer. (2017). *TeamViewer Nuestra Historia*. Obtenido de  
<https://www.teamviewer.com/es/company/>
- Thermal, S. (2017). Recuperado el 14 de Junio de 2017, de  
<http://www.thermal.com/products/compactxr>
- Umbaugh, S. E. (2016). *Digital Image Processing and Analysis: Human and Computer Vision Applications with CVIPtools, Second Edition*. NW: CRC Press, 2016.
- Vilardell, E. N. (2013). *Mantenimiento industrial práctico: Aprende siguiendo el camino contrario*. Fidestec.

## **ANEXOS**

# Anexo1. Manual de usuario de la cámara SEEK THERMAL



## Compact Series User Manual

(for Apple and Android devices)



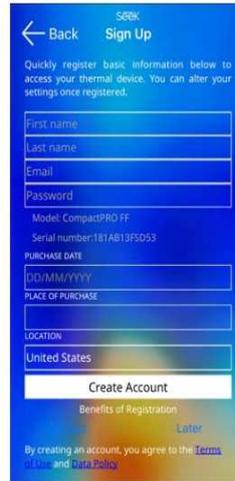
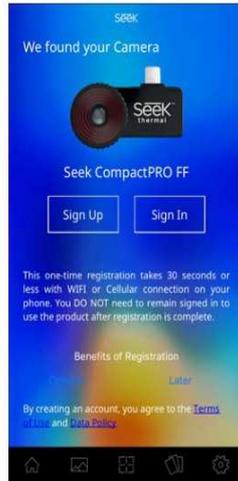
Welcome to the official Seek Thermal App! Let's take a few minutes to quickly walk through the basics of the App and learn how to use your Device.

### Registration

#### Why Register?

We want you to have a great experience with your Seek product. By sharing your name, email, and serial number, you enable us to send you product updates and tips and techniques. We can also expedite your warranty inquiries by knowing when and where you purchased. Country information helps us to provide better local product support.

**Registration is not required and you may choose to "Opt Out"**



#### First Time Registration:

This one-time registration takes 30 seconds or less with WIFI or Cellular connection on your phone. You DO NOT need to remain signed in to use the product after registration is complete.

To read our data policy visit:

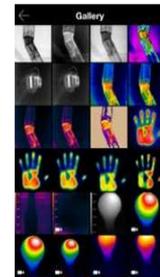
[www.thermal.com/datapolicy](http://www.thermal.com/datapolicy)



- **CAMERA TYPE INDICATOR:** Shows which type of thermal camera you have connected.
- **MEDIA GALLERY:** Here you will find all your photos & videos.
- **SEEK IN THE WILD:** See thermal images from the Seek community.
- **SEEK NEWS:** Read the latest articles featuring Seek Thermal.
- **APP INTRO:** Watch a variety of videos to help you get started with the new Seek Thermal app.
- **BROWSE FOR PRODUCTS AND ACCESSORIES:** Shop for the latest Seek Thermal gear.

### Navigating with the Bottom Menu

-  **Home** icon: Select **HOME** to return to the App home page.
-  **Media** icon: Touch **MEDIA** to go to your gallery for photos & videos.
-  **Mode** icon: Touch **MODE** icon to access all features: Span & Level, Spot, HiLo and more.
-  **Filters** icon: Change your **PALETTES** while in Camera or Video mode any time here.
-  **Settings** icon: All **SETTINGS** and preferences are located here.



## Thermal Imaging Modes

	<b>Spot</b> mode: Use the crosshair to pinpoint a specific temperature.
	<b>Hi/Lo</b> mode: Pinpoint the highest and lowest temperatures.
	<b>Normal</b> mode: Default mode that maximizes thermal image consistency using auto exposure control.
	<b>Full Frame</b> mode: Displays all temperature data for maximum clarity.
	<b>Span and Level*</b> mode: Easily set and lock a temperature range to display the maximum thermal information of any object or scene. <b>CompactPRO Only*</b>
	<b>Threshold Above</b> mode:
	<b>Threshold Equals</b> mode:
	<b>Threshold Below</b> mode:
	<b>Thermal+</b> mode: Experimental mode that allows thermal and visual imaging side by side in real-time.

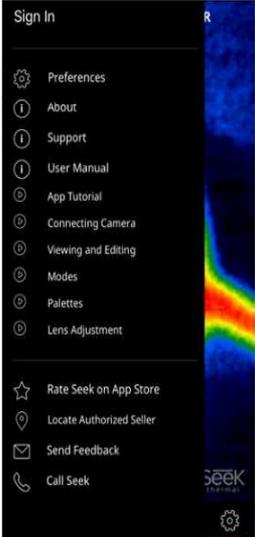


\*Span and Level mode as well as emissivity control are only available with CompactPRO

Change temperature units (°C, °F, K), aspect ratio (4:3 or 16:9), and watermarks.

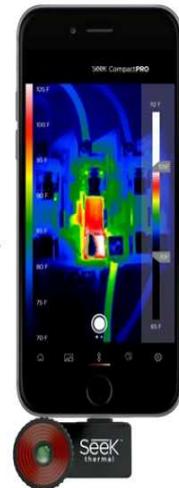
View helpful how-to videos on how to use the Seek Thermal app.

Rate our app and Contact us for more support.



## Thermal Span and Level (CompactPro Only)

Easily set and lock a temperature range to display the maximum thermal information of any object or scene with a set point and range.



## Emissivity Control (CompactPRO Only)



Emissivity is a material property that defines how much IR light is emitted from a particular surface. Calibrate for emissivity through four pre-defined settings to ensure accurate temperature readings and reporting.

## Taking Photos & Video



Swipe left and right to switch between photo & video mode.

Made for iPhone iPhone 7s, iPhone SE, iPhone 6s Plus, iPhone 6s, iPhone 6 Plus, iPhone 6, iPhone 5s, iPhone 5c, and iPhone 5. For a list of supported Android devices visit: [www.thermal.com/supported](http://www.thermal.com/supported)

Utilizes the power and display of your smartphone. (<280mW)  
\*Made for iPhone\* means that an electronic accessory has been designed to connect specifically to iPhone, and has been certified by the developer to meet Apple performance standards. Please note that the use of this accessory with iPhone may affect wireless performance. iPhone is a trademark of Apple Inc., registered in the U.S. and other countries.

### Warranty

[thermal.com/warranty](http://thermal.com/warranty)

### North America

Email: [support@thermal.com](mailto:support@thermal.com)  
Phone: 1 (844) 552-1614

### Europe

Email: [eusupport@thermal.com](mailto:eusupport@thermal.com)  
Phone: +44 (0) 1452 284207

[support.thermal.com](http://support.thermal.com)

## Anexo 2. Compatibilidad de teléfonos móviles Android compatibles con la cámara SEEK THERMAL



### Compatibilidad de Teléfonos y Casos

Revise la siguiente información para determinar si su dispositivo móvil es compatible con la línea Seek Compact de cámaras térmicas. Puede encontrar más detalles y explicaciones en nuestro Centro de ayuda.

**Smartphone Case Compatibility:** Algunos casos más gruesos del smartphone (especialmente los ruggedized) no proporcionan bastante holgura alrededor del puerto de la conexión. Para utilizar la cámara, debe quitar la funda o fijar la cámara utilizando un extensor / adaptador.

**Compatibilidad con el sistema operativo:** Las aplicaciones de Android y iOS Seek Thermal requieren un mínimo de Android 4.3 e iOS 8.0, respectivamente. Las aplicaciones no se descargan si su teléfono inteligente no satisface el requisito mínimo.

### ANDROID™ COMPATIBILIDAD

- Google Nexus 5 ([requires adapter](#))
- Google Nexus 5x ([requires USB C adapter](#))
- Google Nexus 6 ([requires adapter](#))
- Nexus 6p ([requires USB C adapter](#))
- HTC Desire 820 ([requires adapter](#))
- HTC Desire EYE ([requires adapter](#))
- HTC One Mini 2 ([requires adapter](#))
- HTC One A9 ([requires adapter](#))
- HTC One M8 ([requires adapter](#))
- HTC One M9 ([requires adapter](#))
- Motorola Moto X
- Motorola Moto G
- Samsung Galaxy S3
- Samsung Galaxy S4
- Samsung Galaxy S5 ([except some running 5.1.1](#))
- Samsung Galaxy S6
- Samsung Galaxy S6 Edge
- Samsung Galaxy S7
- Samsung Galaxy S7 Edge
- Samsung Galaxy S8 ([requires adapter](#))
- Samsung Galaxy S8+ ([requires adapter](#))
- Samsung Galaxy Note 2
- Samsung Galaxy Note 3
- Samsung Galaxy Note 4
- Samsung Galaxy Note Edge

## APPLE™COMPATIBILIDAD

- iPhone 7 Plus
- iPhone 7
- iPhone SE
- iPhone 6s Plus
- iPhone 6s
- iPhone 6 Plus
- iPhone 6
- iPhone 5s
- iPhone 5c
- iPhone 5
- iPod Touch 5th Generation

## PODRÍA FUNCIONAR:

- Many other HTC devices
- Many LG devices
- Many Sony Xperia models
- Some Samsung Galaxy Tab models

## PODRÍA FUNCIONAR:

- iPad Mini (all versions)
- iPad Air
- iPad 4th Generation

## NO COMPATIBLE

Amazon Fire Phone & Tablet

- Google Nexus 4
- Google Nexus 7 (2012)
- HTC Desire 620
- HTC Desire 626
- HTC Nexus 9
- Nexus 9
- Samsung Galaxy 2 (old)
- Samsung Galaxy Mega
- Samsung Galaxy Note (original)
- Samsung Google Nexus S
- Samsung Nexus S
- Samsung Galaxy S3 NEO
- Samsung S4 mini
- Samsung S5 mini

## **NO COMPATIBLE**

- iPhone 4s or lower
- iPad 3 or lower
- iPod Touch 4 or lower

NOTE: Los dispositivos Android a veces orientan el conector microUSB en diferentes direcciones o ubicaciones. Para un uso correcto, el puerto USB debe estar ubicado en la parte inferior, con la parte más ancha del puerto alineada con la parte posterior del teléfono inteligente. Muchos dispositivos LG y HTC orientan el conector en la dirección opuesta, y muchos dispositivos de Sony y Motorola a menudo colocan el puerto en el lado. En estos casos, se recomienda utilizar un cable microUSB o adaptador para permitir el correcto apuntado y posicionamiento de la cámara. Las pruebas han confirmado la compatibilidad con los siguientes adaptadores.

### Perfil del Producto

#### Introducción

El Phantom 3 Advanced representa la nueva generación de quadrópteros DJI. Es capaz de capturar video 4K y transmitir señal de video HD fuera de la caja. La cámara integrada tiene un estabilizador también integrado para maximizar la estabilidad a la vez que se minimiza tanto el peso como el tamaño. Incluso cuando no hay señal GPS disponible, el Sistema de Posicionamiento de Visión permite al dron planear de manera precisa en el lugar.

#### Características Destacadas

**Cámara y Estabilizador:** Con el Phantom 3 Advanced, estás grabando video 4K a hasta 30 fotogramas por segundo y haciendo fotos de 12 megapíxels que se ven más nítidas y limpias que nunca. Un sensor mejorado te da mayor claridad, menos ruido, y mejores fotos que ninguna otra cámara voladora anterior.

**Enlace Video HD:** el enlace HD de baja latencia y rango largo está impulsado por una versión mejorada de DJI Lightbridge.

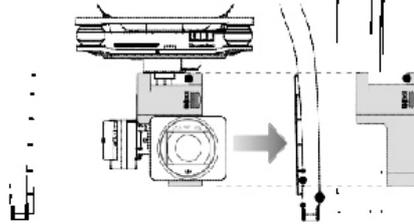
**Batería Inteligente de Vuelo DJI:** La Batería Inteligente de Vuelo DJI de 4480 mAh incluye celdas de batería actualizadas y un sistema de gestión de energía avanzado.

**Controlador de Vuelo:** el controlador de vuelo de nueva generación ha sido actualizado para ofrecer una experiencia de vuelo más segura y fiable. Un nuevo grabador de vuelo implementado almacena los datos críticos de cada vuelo y el Sistema de Posicionamiento de Visión mejora la precisión de planeo cuando se vuela en interiores o en entornos donde el GPS no está disponible.

## Preparar el dron

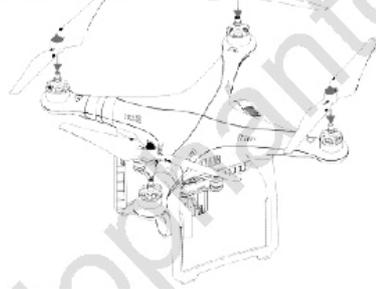
### Quitar el Tomillo del Estabilizador

Quite el tomillo del estabilizador deslizando hacia la derecha (de cara al frontal del dron), tal como se muestra abajo.



### Poner las hélices:

Monte las hélices con puntos negros en los motores con ejes negros y girelas en dirección contraria a las agujas del reloj para sujetarlas bien. Monte las hélices con los puntos grises en los motores con ejes grises y girelas en dirección a las agujas del reloj para sujetarlas bien. Asegúrese que todas las hélices están en su sitio y seguras.

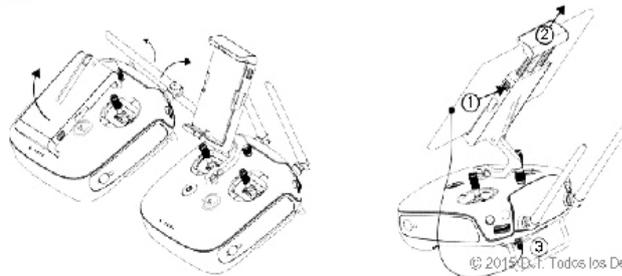


 Ponga todas las hélices en los motores correctos y ajústelas a mano para bloquearlas en posición.

### Preparar el Mando a Distancia:

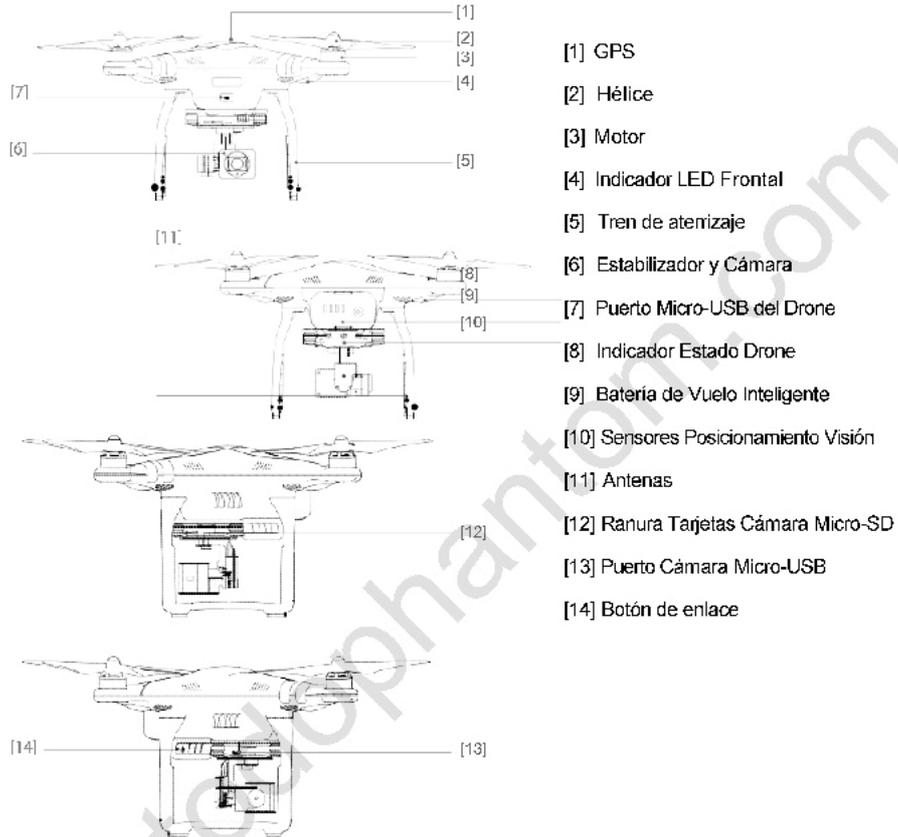
El soporte para dispositivos móviles está diseñado para sujetar la tablet u otro dispositivo móvil. Incline el soporte de dispositivo móvil hacia la posición deseada, y a continuación ajuste las antenas para que miren hacia afuera.

1. Apriete el botón de arriba a la derecha del soporte de dispositivo móvil para soltar la palanca, y a continuación ajuste la palanca para que concuerde con el tamaño de su dispositivo móvil.
2. Ajuste su dispositivo móvil en la palanca apretando hacia abajo, y conecte su dispositivo móvil al mando a distancia utilizando un cable USB.
3. Enchufe un extremo del cable en el dispositivo móvil, y el otro extremo en el puerto USB de detrás del mando a distancia.

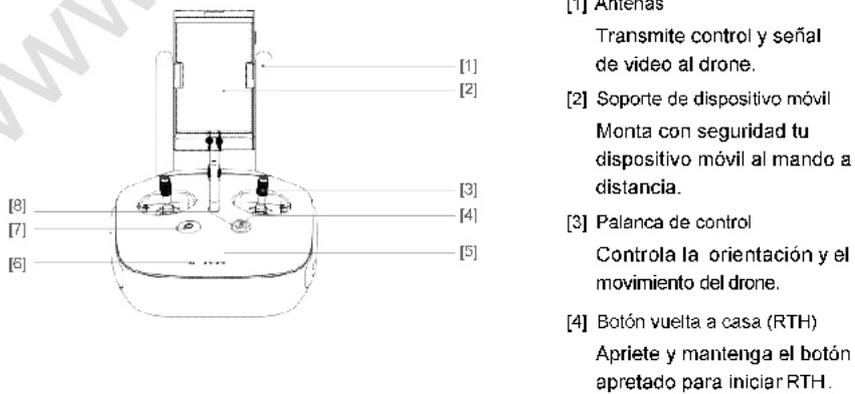


### Diagrama del Drone

Perfil del Producto



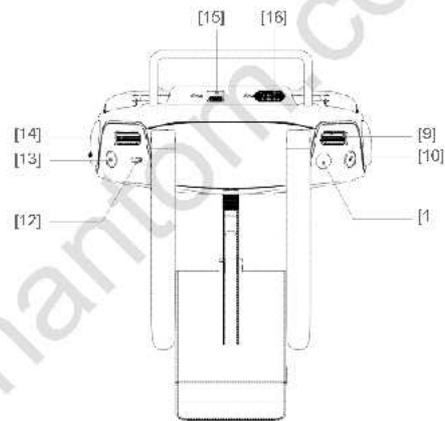
### Diagrama del Mando a Distancia



- [5] LEDs de nivel de batería  
Muestra el nivel de batería del mando a distancia.
- [6] LED de Estado  
Muestra el estado de sistema del mando a distancia.
- [7] Botón de encendido  
Usado para encender y apagar el mando a distancia.
- [8] LED RTH  
LED circular alrededor del botón RTH muestra el estado del RTH.

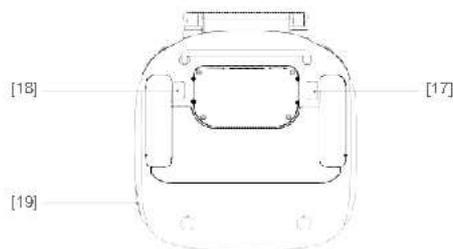
- [9] Dial de ajustes de la cámara  
Encienda el dial para configurar los ajustes de la cámara. (Solo funciona cuando el mando a distancia está conectado a un dispositivo móvil con la aplicación DJI Pilot funcionando)
- [10] Botón de reproducción  
Reproduzca las imágenes o videos capturados. (solo funciona cuando el mando a distancia está conectado a un dispositivo móvil con la aplicación DJI Pilot funcionando)
- [11] Botón obturador  
Presione para hacer una foto. Si selecciona el modo ráfaga, la serie de fotos se tomará con una sola pulsación.
- [12] Interruptor Modo de Vuelo  
Cambie a modo P, A y F.
- [13] Botón de grabación de video  
Presione para empezar a grabar video. Presione de nuevo para parar de grabar.

- [15] Puerto micro-USB  
Connect to a SD card reader to upgrade the firmware.
- [17] Botón C1  
Personalizable a través de DJI Pilot.
- [18] Botón C2  
Personalizable a través de DJI Pilot.
- [19] Puerto de alimentación  
Conecte al cargador DJI Phantom 3 para cargar la batería del mando a distancia.



[14] Dial del estabilizador. Utilice este dial para controlar la inclinación del estabilizador.

[16] Puerto USB  
Conectar al dispositivo móvil o a un puerto USB para actualizar el firmware.



## Anexo 4. Pruebas del diagnóstico termográfico de transformadores eléctricos de distribución.

### Prueba 6:

DIAGNÓSTICO TERMOGRÁFICO DE TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS SUSPENDIDO EN POSTES UTILIZANDO AERONAVES NO TRIPULADAS

Abir Guardar Tiempo (s) de proceso: 1.81907

Imagen Original Imagen Actual

PRE-PROCESAMIENTO: Suavizar, Contraste automatico, Contraste termico

ALGORITMOS: Algoritmo Acumulativo, Algoritmo Gradiente, Algoritmo Morfologico, Funcion Externa

Colores: Hot

Reiniciar Deshacer Ultimo Cerrar

**MEDIDAS:**

Punto Caliente:	28	°C
T° Diferencial del Fabricante:	0	°C
T° Ambiente:	18	°C
Aumento de T°:	10	°C

Clasificar Nivel 1

**TABLA DE CLASIFICACIÓN**

Niveles	Aumento de T°	Plan de Acción
1	<10 °C	Posible deficiencia; Justifica la investigación
2	11 - 20 °C	Reparar cuando el tiempo lo permita
3	21 - 40 °C	Monitorear hasta que se puedan llevar a cabo las medidas correctivas
4	>40 °C	Reparar inmediatamente

Ver Partes de los Transformadores: Externo Interno

Transformador en buen estado

### Prueba 7:

DIAGNÓSTICO TERMOGRÁFICO DE TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS SUSPENDIDO EN POSTES UTILIZANDO AERONAVES NO TRIPULADAS

Abir Guardar Tiempo (s) de proceso: 1.91432

Imagen Original Imagen Actual

PRE-PROCESAMIENTO: Suavizar, Contraste automatico, Contraste termico

ALGORITMOS: Algoritmo Acumulativo, Algoritmo Gradiente, Algoritmo Morfologico, Funcion Externa

Colores: Hot

Reiniciar Deshacer Ultimo Cerrar

**MEDIDAS:**

Punto Caliente:	31	°C
T° Diferencial del Fabricante:	0	°C
T° Ambiente:	15	°C
Aumento de T°:	16	°C

Clasificar Nivel 2

**TABLA DE CLASIFICACIÓN**

Niveles	Aumento de T°	Plan de Acción
1	<10 °C	Posible deficiencia; Justifica la investigación
2	11 - 20 °C	Reparar cuando el tiempo lo permita
3	21 - 40 °C	Monitorear hasta que se puedan llevar a cabo las medidas correctivas
4	>40 °C	Reparar inmediatamente

Ver Partes de los Transformadores: Externo Interno

Cambiar aceite en próxima visita del transformador

## Prueba 8:

TRAFO\_TERM

Archivo Visualizar Parametros Ayuda

Abir Guardar Tiempo (s) de proceso: 1.86974

DIAGNÓSTICO TERMOGRÁFICO DE TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS SUSPENDIDO EN POSTES UTILIZANDO AERONAVES NO TRIPULADAS

Imagen Original Imagen Actual

Colores: Hot

PRE-PROCESAMIENTO

Suavizar

Contraste automatico

Contraste termico

ALGORITMOS

Algoritmo Acumulativo

Algoritmo Gradiente

Algoritmo Morfologico

Funcion Externa

Reiniciar Deshacer Ultimo Cerrar

TABLA DE CLASIFICACIÓN

Niveles	Aumento de T°	Plan de Acción
1	<10 °C	Posible deficiencia; Justifica la investigación
2	11 - 20 °C	Reparar cuando el tiempo lo permita
3	21 - 40 °C	Monitorear hasta que se puedan llevar a cabo las medidas correctivas
4	>40 °C	Reparar inmediatamente

MEDIDAS

Punto Caliente:	26	°C	Clasificar
T° Diferencial del Fabricante:	0	°C	
T° Ambiente:	16	°C	
Aumento de T°:	10	°C	

Nivel 1

Ver Partes de los Transformadores: Externo Interno

Transformador en buen estado.

## Prueba 9:

TRAFO\_TERM

Archivo Visualizar Parametros Ayuda

Abir Guardar Tiempo (s) de proceso: 1.94165

DIAGNÓSTICO TERMOGRÁFICO DE TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS SUSPENDIDO EN POSTES UTILIZANDO AERONAVES NO TRIPULADAS

Imagen Original Imagen Actual

Colores: Hot

PRE-PROCESAMIENTO

Suavizar

Contraste automatico

Contraste termico

ALGORITMOS

Algoritmo Acumulativo

Algoritmo Gradiente

Algoritmo Morfologico

Funcion Externa

Reiniciar Deshacer Ultimo Cerrar

TABLA DE CLASIFICACIÓN

Niveles	Aumento de T°	Plan de Acción
1	<10 °C	Posible deficiencia; Justifica la investigación
2	11 - 20 °C	Reparar cuando el tiempo lo permita
3	21 - 40 °C	Monitorear hasta que se puedan llevar a cabo las medidas correctivas
4	>40 °C	Reparar inmediatamente

MEDIDAS

Punto Caliente:	24	°C	Clasificar
T° Diferencial del Fabricante:	0	°C	
T° Ambiente:	18	°C	
Aumento de T°:	6	°C	

Nivel 1

Ver Partes de los Transformadores: Externo Interno

Transformador en buen estado.

## Prueba 10:

TRAFO\_TERM

Archivo Visualizar Parametros Ayuda

Abir Guardar Tiempo (s) de proceso: 1.83726

DIAGNÓSTICO TERMOGRÁFICO DE TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS SUSPENDIDO EN POSTES UTILIZANDO AERONAVES NO TRIPULADAS

Imagen Original Imagen Actual

PRE-PROCESAMIENTO

Suavizar

Contraste automatico

Contraste termico

ALGORITMOS

Algoritmo Acumulativo

Algoritmo Gradiente

Algoritmo Morfologico

Funcion Externa

Reiniciar Deshacer Ultimo Cerrar

Colores: Hot

MEDIDAS

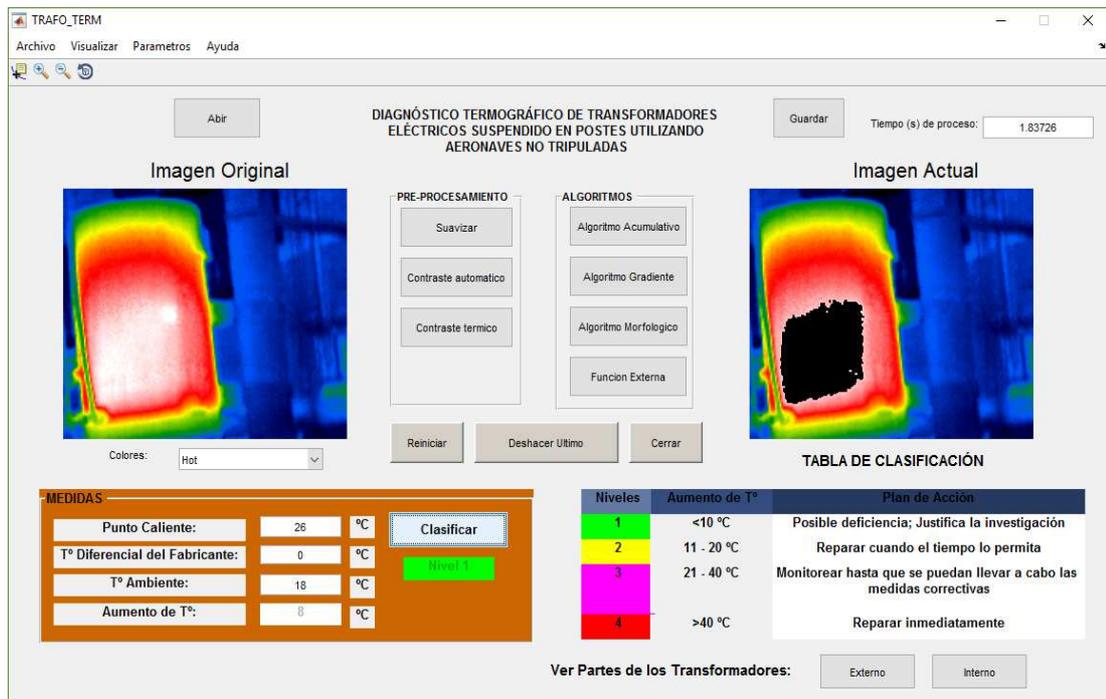
Punto Caliente:	26	°C
T° Diferencial del Fabricante:	0	°C
T° Ambiente:	18	°C
Aumento de T°:	8	°C

Clasificar

Nivel 1

Niveles	Aumento de T°	Plan de Acción
1	<10 °C	Posible deficiencia; Justifica la investigación
2	11 - 20 °C	Reparar cuando el tiempo lo permita
3	21 - 40 °C	Monitorear hasta que se puedan llevar a cabo las medidas correctivas
4	>40 °C	Reparar inmediatamente

Ver Partes de los Transformadores: Externo Interno



Transformador en buen estado.