



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E
INSTRUMENTACIÓN**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA E
INSTRUMENTACIÓN**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
MONITOREO DE TEMPERATURA CORPORAL Y AMBIENTAL
APLICANDO PROCESAMIENTO DE IMÁGENES TÉRMICAS
UTILIZANDO SOFTWARE LIBRE OPENCV**

**AUTORES: DIEGO ISRAEL ROMERO CASTRO
ITALO RAFAEL ROSERO ACOSTA**

**DIRECTOR: ING. EDDIE GALARZA
CODIRECTOR: ING. DAVID RIVAS**

LATACUNGA

2015



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

CERTIFICADO

Ing. Eddie Galarza (DIRECTOR)

Ing. David Rivas (CODIRECTOR)

CERTIFICAN.

Certifico que el trabajo titulado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE TEMPERATURA CORPORAL Y AMBIENTAL APLICANDO PROCESAMIENTO DE IMÁGENES TÉRMICAS UTILIZANDO SOFTWARE LIBRE OPENCV”, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE-L, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores Diego Israel Romero Castro y Italo Rafael Rosero Acosta para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 23 de Noviembre del 2015



Ing. Eddie Galarza
DIRECTOR



Ing. David Rivas
CODIRECTOR



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD:

Nosotros, Diego Israel Romero Castro, con cédula de identidad 0503517781, y Italo Rafael Rosero Acosta con cédula de identidad 0503244774 declaramos que este trabajo de titulación “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE TEMPERATURA CORPORAL Y AMBIENTAL APLICANDO PROCESAMIENTO DE IMÁGENES TÉRMICAS UTILIZANDO SOFTWARE LIBRE OPENCV” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 23 de Noviembre del 2015

Diego Israel Romero Castro
C.I.: 050351778-1

Italo Rafael Rosero Acosta
C.I.: 050324477-4



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

AUTORIZACIÓN

Nosotros:

Diego Romero Castro

Italo Rafael Rosero Acosta

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE TEMPERATURA CORPORAL Y AMBIENTAL APLICANDO PROCESAMIENTO DE IMÁGENES TÉRMICAS UTILIZANDO SOFTWARE LIBRE OPENCV” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga, 23 de noviembre del 2015



Diego Israel Romero Castro
C.I.: 050351778-1



Italo Rafael Rosero Acosta
C.I.: 050324477-4

DEDICATORIA

Quiero dedicar este logro a mi hijo Leonardo Romero Moreno, ya que desde que vino al mundo, él ha sido la razón para que cada día tenga la fuerza y la energía para seguir adelante en el camino, ya que sé que siguiendo mis huellas hay unas pequeñas huellitas.

Diego

DEDICATORIA.

Una etapa meta más cumplida la dedico a mis padres que con su apoyo incondicional me dieron ánimos, valor para nunca rendirme y no desmayar en los problemas que se me presentaban.

Italo

AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradezco a Dios, ya que siempre en él he encontrado nuevas fuerzas para seguir luchando por salir adelante.

Agradezco a mis padres Wilson Romero y Graciela Castro, ya que siempre me apoyaron, fueron mi guía, el ejemplo a seguir, que aunque no llegaron a ser profesionales, cada día me han demostrado que las personas no valen por los títulos que tengan, sino por la calidad de persona y el cariño que se puede cosechar con sencillez y humildad.

Agradezco a mi esposa Jessy Moreno, ya que con su amor y apoyo siempre me demostró que todos los sueños se pueden cumplir, mi amor has sido un gran apoyo en todo este camino y quiero agradecerte por eso y por todos los logros que cosecharemos en el futuro; Te amo.

Agradezco a mi buen amigo Italo Rosero, durante la vida de estudiantes fue importante su apoyo tanto académico como a nivel personal.

Agradezco a mi director y codirector, Ing. Eddie Galarza e Ing. David Rivas, los conocimientos e ideas compartidos para este proyecto fueron muy importantes para que este sueño se cumpla.

Por ultimo agradezco a todos mis amigos, compañeros y profesores que aportaron con su grano de arena para lograr llegar a esta meta.

Diego.

AGRADECIMIENTO.

Quiero agradecer a Dios, por darme su fortaleza y día a día con sus bendiciones me daba fortaleza he aprendido que si existen días malos nunca decaiga y siempre sonría.

A mis padres Edison e Irma, quienes con su esfuerzo y ejemplo hacen de mí una persona con valores y principios, gracias papi, mami les debo todo lo que soy, gracias por su confianza y estar ahí cada momento cada instante de mi vida.

A mis hermanos Eduardo y Edison por todo su apoyo que hasta ahora me brindan pese a los momentos difíciles que hemos pasado son todo para mí y siempre tendrán mi apoyo para lo que sea que siempre Dios me los bendiga y sigan adelante.

A toda mi familia por su cariño gracias por sus buenas vibras su apoyo nunca dejare de dar todo de mí siempre están en mi corazón.

A mis buens como siempre digo contaditos pero verdaderos amigos les agradezco por todo su apoyo sus mensajes de ánimos mil bendiciones para todos ustedes, en especial a Diego que en el tiempo que llegamos a conocernos forjamos una buena amistad Dios pague por abrirme las puertas de tu familia y acompañarme, apoyarme en todo este tiempo de la vida mi brow Gracias.

Por ultimo agradezco a mi Director y Codirector de tesis Ing. Eddie Galarza, Ing. David Rivas por brindarme su conocimiento y sugerencias para la realización del proyecto.

Italo

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARATULA.....	i
CERTIFICADO	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD:.....	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	ix
ÍNDICE TABLAS.....	xii
ÍNDICE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT	xvii

CAPÍTULO I

1. FUNDAMENTOS TEORICOS.

1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Importancia del proyecto.....	2
1.3. Introducción procesamiento de imágenes.....	2
1.3.1. Procesamiento Digital de Imágenes.....	4
1.3.2. Etapas Procesamiento de Imágenes.....	4
1.4. Formatos gráficos.....	6
1.4.1. Formatos Vectoriales.....	6
1.4.2. Formatos BITMAP.....	6
1.4.3. Bmp.....	7
1.4.4. Gif.....	7
1.4.5. Img.....	7

1.4.6.	Jpg.....	8
1.4.7.	Tiff.....	8
1.4.8.	Raw.	8
1.5.	Principios fundamentales.	8
1.6.	Cámara Termográfica.	10
1.6.1.	Clasificación cámaras termográfica.....	12
1.6.3.	Cámara Fluke Vt04 IR Thermometer.	15
1.7.	Software libre.	16
1.7.1.	Sistema Operativo LINUX.	17
1.7.2.	Plataforma UBUNTU.....	18
1.8.	OpenCV.	19
1.9.	Qt Creator.	22
1.9.1.	Aplicaciones.....	22
1.9.2.	Características.	23
1.9.3.	Interfaz Gráfica (QT GUI APPLICATION).	23

CAPÍTULO II

2. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN PARA EL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES TÉRMICAS

2.1.	Introducción	25
2.2.	Cámara termográfica VT04.....	25
2.2.1.	Partes principales.	25
2.2.2.	Fusión de imágenes.....	27
2.2.3.	Control de alineación.	28
2.2.4.	Pantalla De Medición	29
2.2.5.	Alarma De Temperatura Alto/Bajo	29
2.2.6.	Captura de imágenes en intervalos de tiempo.	30

2.3.	Software libre.....	31
2.3.1.	Utilización e instalación de Ubuntu	31
2.4.	Diseño e implementación.....	37
2.4.1.	Instalación de OpenCV.	37
2.4.2.	Utilización e instalación Qt Creator.	43
2.5.	Vinculación de OpenCV con Qt Creator.....	45
2.6.	Diagrama de flujo ventana principal.	47
2.7.	Diagrama de flujo procesamiento de imágenes.	49
2.8.	Diagrama de flujo procesamiento de videos.....	51

CAPÍTULO III

3. PRUEBAS Y RESULTADOS

3.1.	Generalidades.	54
3.2.	Pruebas realizadas procesamiento de imágenes térmicas.....	54
3.3.	Procesamiento de imágenes.....	55

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1.	Conclusiones.	69
4.2.	Recomendaciones.	71

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
--	-----------

ANEXOS.	75
---------------------	-----------

ANEXO A: VENTANA PRINCIPAL

ANEXO B: PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

ANEXO C: PROCESAMIENTO DE VIDEOS (SECUENCIA DE IMÁGENES)

ÍNDICE TABLAS.

Tabla 1: Respuesta espectral cámaras termográfica	12
Tabla 2: Aplicaciones cámaras termográfica.....	15
Tabla 3: Características técnicas cámara Vt04.	16
Tabla 4: Módulos de OpenCV.....	21
Tabla 5: Funciones cámara Fluke Vt04.....	27
Tabla 6: Rango de tonalidades (HSV).....	49

ÍNDICE FIGURAS.

Figura 1: Colores primarios RGB.....	3
Figura 2: Etapas procesamiento de imágenes.	5
Figura 3: Espectro electromagnético.....	9
Figura 4: Camara Fluke Vt04.....	11
Figura 5: Componentes cámaras termográfica.	11
Figura 6: Logo LINUX	17
Figura 7: Logo UBUNTU.....	18
Figura 8: Logo OpenCV	19
Figura 9: Estructura de OpenCV.....	20
Figura 10: Logos de Qt Creator.	22
Figura 11: Diagrama de los elementos cámara Vt04	26
Figura 12: Funciones de menú y navegación.....	26
Figura 13: Porcentaje espectro electromagnético.	28
Figura 14: Control de visualización NEAR/FAR	28
Figura 15: Elementos integrados en la pantalla.	29
Figura 16: Configuración de alarma alto/bajo.....	30
Figura 17: Configuración por intervalos de tiempo.	30
Figura 18: Variación temperatura (foco).....	31
Figura 19: Selección del idioma de instalación.	32
Figura 20: Condiciones de espacio disco.....	33
Figura 21: Partición del disco para instalación de Ubuntu.....	34
Figura 22: Campos de instalación.....	35
Figura 23: Instalación de paquetes UBUNTU	35
Figura 24: Contraseña de usuario.....	36
Figura 25: Pantalla de trabajo Ubuntu.....	36
Figura 26: Terminal Ubuntu	38
Figura 27: Compilación de Cmake.....	40
Figura 28: Configuración de OpenCV	41
Figura 29: Ventana añadir Path de OpenCV.....	42
Figura 30: Comprobación de instalación OpenCV.	43
Figura 31: Comandos instalación OpenCV	44

Figura 32: Instalacion Qt Creator.	44
Figura 33: Ventana de trabajo	45
Figura 34: Crear nuevos proyectos Qt Creator.	46
Figura 35: Carpeta de proyectos.....	46
Figura 36: Librerías adicionales archivo pro.....	46
Figura 37: Inclusión librerías en archivos cpp	47
Figura 38: Diagrama de flujo ventana principal.	48
Figura 39: Ventana de inicio o principal.	48
Figura 40: Diagrama de flujo procesamiento imágenes.	50
Figura 41: Ventana procesamiento de imágenes	51
Figura 42: Diagrama de flujo procesamiento de secuencia de imágenes.....	52
Figura 43: Ventana procesamiento para secuencia de imágenes.....	53
Figura 44: Ingreso procesamiento de imágenes y videos.	55
Figura 45: Cargar imágenes térmicas.....	56
Figura 46: Tonalidades	56
Figura 47: a) Img térmica agua congelada b) umbral negro c) Canny.....	57
Figura 48: Imagen térmica del vaso de agua caliente y fría.	57
Figura 49: a) Img térmica agua caliente b) umbral negro c) bordes Canny. .	58
Figura 50: a) Img térmica agua fría b) umbral negro c) bordes Canny.	58
Figura 51: a) Img térmica corporal b) umbral negro c) bordes Canny	58
Figura 52: a) Img térmica corporal b) umbral negro c) bordes de Canny.	59
Figura 53: a) Img térmica coporal b) umbral negro c) bordes de Canny.....	59
Figura 54: a) Img térmica objeto b) umbral negro c) bordes de Canny.....	60
Figura 55: a) Imagen térmica objeto b) umbral negro c) bordes de Canny...	60
Figura 56: Imágenes colocadas en secuencia para creación de video.	61
Figura 57: Editar la duración (1 segundo).	61
Figura 58: Condiciones de tonalidades Hmin y Hmax.	61
Figura 59: Ingreso de tonalidad seleccionados HSV.....	62
Figura 60.a: Video (Secuencia de un vaso con hielo al descongelarse)	62
Figura 60.b: Video (Secuencia de un vaso con hielo al descongelarse)	62
Figura 60.c: Video (Secuencia de un vaso con hielo al descongelarse).....	63
Figura 60.d: Video (Secuencia de un vaso con hielo al descongelarse).	63
Figura 60.e: Video (Secuencia de un vaso con hielo al descongelarse)	63

Figura 60.f: Video (Secuencia de un vaso con hielo al descongelarse)	63
Figura 60.g: Video (Secuencia de un vaso con hielo al descongelarse)	64
Figura 60.h: Video (Secuencia de un vaso con hielo al descongelarse)	64
Figura 60.i: Video (Secuencia de un vaso con hielo al descongelarse).....	64
Figura 60.j: Video (Secuencia de un vaso con hielo al descongelarse).....	64
Figura 60.k: Video (Secuencia de un vaso con hielo al descongelarse).....	65
Figura 60.l: Video (Secuencia de un vaso con hielo al descongelarse).....	65
Figura 60.m: Video (Secuencia de un vaso con hielo al descongelarse).....	65
Figura 60.n: Video (Secuencia de un vaso con hielo al descongelarse)	65
Figura 60.o: Video (Secuencia de un vaso con hielo al descongelarse)	66
Figura 61.a: Video (Secuencia de un vaso de cerámica con hielo).	66
Figura 61.b: Video (Secuencia de un vaso de cerámica con hielo).	66
Figura 61.c: Video (Secuencia de un vaso de cerámica con hielo).	67
Figura 61.d: Video (Secuencia de un vaso de cerámica con hielo).	67
Figura 61.e: Video (Secuencia de un vaso de cerámica con hielo).	67
Figura 61.f: Video (Secuencia de un vaso de cerámica con hielo).	68
Figura 61.g: Video (Secuencia de un vaso de cerámica con hielo)	68
Figura 61.h: Video (Secuencia de un vaso de cerámica con hielo).	68

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo procesar imágenes obtenidas a partir de la temperatura de diferentes cuerpos utilizando sensores térmicos como una fuente de adquisición de la señal. El software a cargo del procesamiento de imágenes se lo realizará con apoyo de las librerías de OpenCV bajo la plataforma Ubuntu de Linux. El objetivo será crear un interfaz amigable donde se observe la temperatura de las dos mediciones a implementar con las cuales se podrá tener información para un futuro análisis de lo que pueda ocurrir en dichas aplicaciones.

PALABRAS CLAVE:

PROCESAMIENTO DE IMÁGENES.

IMÁGENES TÉRMICAS.

SOFTWARE LIBRE – UBUNTU – OPENCV – QT CREATOR.

ABSTRACT

This project aims to process images obtained from different body temperature using thermal sensors as a source of signal acquisition (thermal camera). The software that is used to process the images, is carried out with the support of the OpenCV libraries under the Ubuntu platform of Linux. The aim is to create a friendly interface where the temperature of the two measures to implement which is observed may have information for future analysis of what might happen in such applications.

KEYWORDS.

IMAGE PROCESSING.

THERMAL IMAGING.

OPEN SOURCE – UBUNTU – OPENCV – QT CREATOR.

CAPÍTULO I

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1. Antecedentes.

Llevar un monitoreo de la temperatura tanto corporal como ambiental puede aplicarse en diferentes aspectos como la seguridad, ya que de manera preventiva pueda ayudar a realizar una evaluación de posibles peligros a los que se encuentran sometidos algunos elementos. La medición de diferentes temperaturas del ambiente y cuerpo humano permitirá alertar y tomar las precauciones necesarias, cabe recalcar que la utilización de la cámara termográfica será primordial para el uso en cada uno de las aplicaciones especificadas para un posterior procesamiento de las imágenes en el proyecto de grado.

Las cámaras termográficas son utilizadas para las mediciones, las cuales ayudan a llevar un control del incremento de temperatura en las personas, ambiente o en las industrias.

En la industria se ha comenzado a demandar equipos de alta precisión ya que la temperatura es una de las variables físicas que se miden con mayor frecuencia para lo cual se deben tomar algunos criterios de selección: rango de medición, exactitud requerida, tiempo de respuesta, accesibilidad del objeto a medir, funciones deseadas (memoria, registro de datos, impresión, etc.) todos estos puntos dependerá específicamente de las características técnicas de las cámaras a utilizar en cada una de las áreas como medicina, ingeniería.

Por su parte la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE se ha inmerso en el mundo de la investigación para la mejora adecuada en el ámbito del tratamiento o procesamiento de imágenes.

Para este capítulo detallaremos cada una de las etapas para el procesamiento de imágenes, la utilización de hardware (cámara termográfica) para la adquisición de la imagen térmica, la utilización de

software libre y sus características, aplicaciones para lo cual se detallará según su importancia.

1.2. Importancia del proyecto.

El proyecto puede ser implementado en diversas áreas como la industria para evitar el sobrecalentamiento de motores a causa del funcionamiento continuo de estos.

Se lo puede aplicar en el área de la medicina para el sondeo de la temperatura en pacientes de una manera no invasiva.

Otra de las aplicaciones que se puede realizar es para la seguridad como es el caso de un mantenimiento predictivo de algunos aparatos eléctricos.

La tecnología termográfica se ha convertido en una herramienta de diagnóstico que sirve para determinar cuándo, dónde es necesario un mantenimiento y así detectar anomalías que suelen ser invisibles a simple vista, tomar las correcciones necesarias.

Con el procesamiento de imágenes podremos tomar en cuenta los detalles más importantes como manipular la imagen, tomar en cuenta los colores más sobresalientes.

Con la utilización de software libre no es necesaria la utilización de licencias ya que es código abierto para la modificación del mismo y permite la rápida solución a funcionamientos erróneos.

1.3. Introducción procesamiento de imágenes.

El procesamiento de imágenes tiene como principal propósito mejorar el aspecto de las imágenes y hacer evidente ciertos detalles que se desean hacer notar. La imagen puede tener diferentes fuentes para su generación, por ejemplo, cámaras térmicas, fotográficamente, electrónicamente, por medio de monitores de televisión u otras. Para el tratamiento de las imágenes se puede definir tres etapas principales. [1]

- Adquisición de la imagen.
- Procesamiento de la imagen.
- Presentación.

Una imagen en blanco y negro puede visualizarse en términos que contiene una gran cantidad de tonos de grises con un rango entre negro (0) hasta blanco (255). Mientras que en una imagen de color está formada de tres valores rojo, verde, azul por sus siglas RGB (Red, Green, Blue), es posible representar un color mediante la mezcla de los tres colores primarios, en la figura 1 muestra los colores primarios RGB.

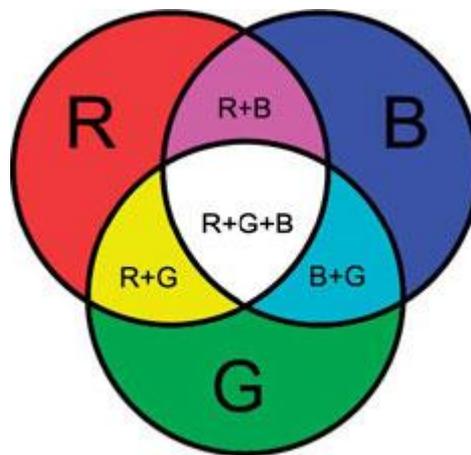


Figura 1: Colores primarios RGB.

Fuente: [2]

La utilidad del procesamiento de imágenes es muy amplia e importante ya que abarca muchos campos. Un ejemplo son las imágenes obtenidas con cámaras termográficas para un posterior procesamiento digital de la imagen y así destacar las zonas más representativas de dicha imagen y poder manipular el contorno, saturación y valor representado por sus siglas HSV para lo cual nos enfocaremos en la utilización de fórmulas para el desarrollo de los algoritmos del procesamiento de imágenes los cuales son:

$$V \leftarrow \max(R, G, B) \quad \text{ec. 1.1}$$

$$S \leftarrow \frac{V - \min(R, G, B)}{V} \quad \text{donde } V \neq 0 \quad \text{ec. 1.2}$$

0 *otro casos*

$$H \leftarrow \frac{60(G - B)}{(V - \min(R, G, B))} \quad \text{donde } V = 0 \quad \text{ec. 1.3}$$

$$\frac{120 + 60(B - R)}{(V - \min(R, G, B))} \quad \text{donde } V = G$$

$$\frac{240 + 60(R - G)}{(V - \min(R, G, B))} \quad \text{donde } V = B$$

si $H < 0$ *entonces* $H \leftarrow H + 360$. $0 \leq V \leq 1, 0 \leq S \leq 1, 0 \leq H \leq 360$ *ec. 1.4*

1.3.1. Procesamiento Digital de Imágenes.

La PDI o DIP, es la encargada del proceso de las imágenes digitales obtenidas a través de una computadora. PDI utiliza algoritmos para el procesamiento de imágenes ya que una imagen digital se compone de un sinnúmero finito de elementos llamados PIXELS.

Los PDI están enfocados en dos áreas.

- Mejorar la calidad de información en una imagen y esta pueda ser interpretado por los humanos.
- Procesamiento de datos adquiridos por una máquina.

El procesamiento de imágenes está aplicado a diversas tareas que son complejas ya que requieren un alto poder en el desarrollo de hardware para su almacenamiento y proceso de la imagen, su aplicación está relacionada con imágenes médicas, imágenes satelitales, aplicaciones industriales, etc.

1.3.2. Etapas Procesamiento de Imágenes.

La visión por computador o visión artificial se centra principalmente en máquinas basadas en el procesamiento de la imagen, integrando sistemas de imágenes digitales, dispositivos de entrada/salida y redes de ordenadores para el control de equipos. Para el buen desempeño de la visión depende de

muchos componentes para que su funcionamiento sea el adecuado, en la figura 2 se muestra las etapas para que exista procesamiento de imágenes.

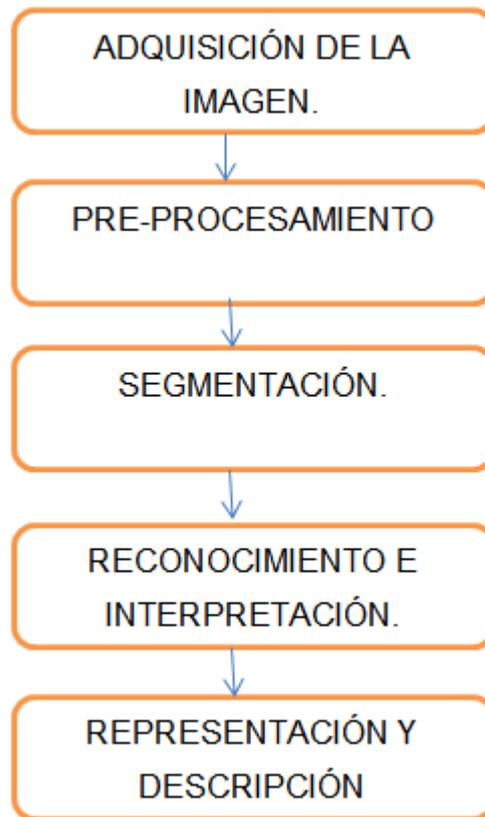


Figura 2: Etapas procesamiento de imágenes.

Fuente: [3]

- a) **Adquisición de la imagen:** La adquisición de la imagen está a cargo de algún transductor el cual es capaz de transformar una determinada manifestación de energía de entrada en otra diferente a la salida o la radiación que es emitida por los cuerpos, dando lugar a la imagen. Ejemplos: el ojo humano, sensores de cámaras termográficas, fotográficas o de vídeo. Cabe recalcar que la adquisición puede generar un ruido a la imagen.

- a) **Pre-procesamiento:** consiste en disminuir la mayor cantidad de ruido generado por el transductor y mejorar las propiedades de la imagen como contorno, brillo, color.

- b) Segmentación:** permite separar o dividir una imagen en objetos de interés.

- c) Representación y Descripción:** se obtienen las características que lo diferencian de otros objetos como el perímetro, tamaño y exponer la imagen la cual puede ser presentada por medios electrónicos por ejemplo, el monitor de una cámara.

- d) Reconocimiento e Interpretación:** identificar los objetos para interpretarlos o asociarlos dándoles su propio significado.

1.4. Formatos gráficos.

Son archivos que guardan información de una imagen, cada uno de los formatos es independiente. Cada formato depende de factores con respecto a la gama de colores, a la compatibilidad, a la rapidez de carga. A continuación se presentan los formatos que se pueden generar con algún tipo de cámara fotográfica, termográfica, etc., y así se podrá realizar el procesamiento de una imagen. Cada uno de estos formatos son importantes dentro del procesamiento ya que si alguna de ellas no existiera no se podría realizar dicho procesamiento.

1.4.1. Formatos Vectoriales.

Es una serie de dibujos lineales basados en una lista de objetos gráficos como son curvas, triángulos, círculos, líneas, rectángulos, etc. En este tipo de formatos las áreas vacías pueden ser llenadas con colores hasta llenar el área en cuestión.

1.4.2. Formatos BITMAP.

Este tipo de formato está basado por una matriz de pixeles puede ser generado por una scanner, los principales formatos de mapa de bits o bitmap son los siguientes.

1.4.3. Bmp.

Este formato archiva las imágenes descomprimidas, esto significa mayor velocidad de carga y espacio requerido. Con este tipo de formato no se sufren pérdidas de calidad lo cual resulta adecuado para guardar imágenes que se desean manipular posteriormente. Dependiendo de la calidad de la imagen cada pixel puede ocupar 1 o varios bytes.

1.4.4. Gif.

Este tipo de formato está limitado a un máximo de 256 colores. Existen dos versiones las cuales son:

La primera versión se la llamo GIF87a utiliza la compresión LZW sin pérdidas es decir que su comprimido tiene la misma información que un fichero sin comprimir.

La segunda versión es la GIF89a es la última versión y presenta nuevas características como son la transparencia y animación, poseen una rutina de compresión eficaz y reduce los archivos a un tamaño menor.

Todos los GIFs poseen dos tipos de paleta: la paleta global y la paleta local. La global determina los colores de todas las imágenes almacenadas en el GIF, y la local determina específicamente la paleta de cada imagen del GIF (en el caso de haber una sola imagen, la única paleta disponible será la global). [4]

1.4.5. Img.

En este formato no existe restricción con respecto al tamaño de las imágenes, su desventaja es que hay pocas aplicaciones que lo utilizan la cual es muy pesado convertir a otros formatos.

1.4.6. Jpg.

Es un formato para el almacenamiento de fotografías entre otras imágenes de tono continuo, dicho formato puede guardar o almacenar imágenes de 24 bits y es el más utilizado actualmente la mayoría de programas trabaja con este tipo de formato.

1.4.7. Tiff.

Este tipo de formato sirve para guardar imágenes de alta calidad ya que se puede comprimir sin ocasionar ninguna pérdida de resolución. El inconveniente de manejar este formato se debe a que las imágenes son muy pesadas y ocupan mucho espacio en el disco duro.

1.4.8. Raw.

Es un formato propietario la cual utilizan las cámaras fotográficas los cuales pueden guardar o almacenar mucha más información de luz, detalle y color. Su capacidad de almacenamiento está en el orden de los MB.

Para el desarrollo del proyecto se utilizara el formato BMP, debido a que las imágenes capturadas con la cámara Fluke VT04 son almacenadas o guardadas en dicho formato BMP.

1.5. Principios fundamentales.

El ojo humano puede ver solo una pequeña parte del espectro electromagnético con respecto a los rangos existentes de los tipos de energía de radiación y sus respectivas longitudes de onda. La figura 3 muestra los espectros electromagnéticos

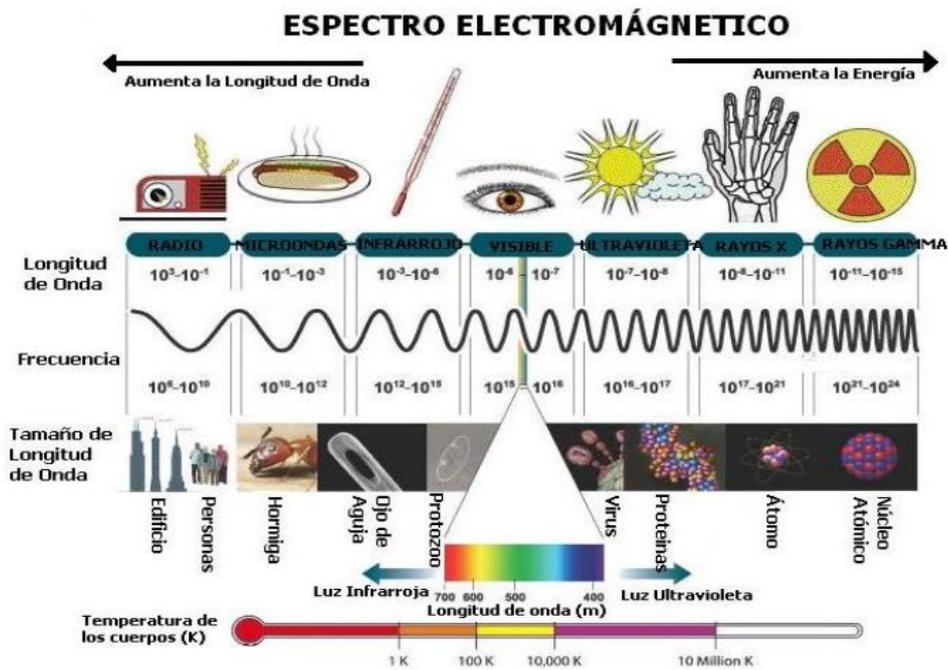


Figura 3: Espectro electromagnético.

Fuente: [5]

Las bandas del espectro son:

- Ondas de radio frecuencia
- Microondas
- Infrarrojo.
- Luz visible
- Ultravioleta.
- Rayos x
- Rayos gamma.

Con la necesidad de poder estudiar e investigar cada uno de las bandas del espectro electromagnético se determinó la necesidad de crear aparatos electrónicos que puedan medir la temperatura emitida por los cuerpos, para el desarrollo del proyecto nos enfocaremos en la radiación infrarroja que se limita entre 0,01 um y 100 um de longitud de onda.

Para el proceso de medir y presentar las mediciones de temperatura real emitida por la radiación infrarroja se utilizará una cámara termográfica ya que por medio de esta técnica o instrumento electrónico se puede adquirir la

imagen térmica llamada termograma la cual es producto de la captura de emisiones naturales de radiación adquirida con la cual permitirá realizar el procesamiento de las imágenes térmicas adquiridas con dicho instrumento.

1.6. Cámara Termográfica.

Con una cámara termográfica es posible hacer comprobaciones visuales rápidas y sencillas de las temperaturas de superficie. La elección de utilización de la cámara termográfica dependerá de las características técnicas como son:

- Alta resolución en temperaturas.
- Amplia resolución espacial.
- Precisión.
- Medición en un amplio rango de temperatura.
- Exactitud.

Algunas de las ventajas que se pueden establecer con el uso de dichas cámaras son.

- Ofrece un patrón térmico de alguna situación en tiempo real
- El usuario no requiere entrar en contacto si la temperatura es alta.
- Se puede identificar anomalías térmicas.
- Se puede almacenar información.
- Precisión.

Una cámara termográfica es un equipo complejo que tiene como función medir la emisión natural de radiación infrarroja de un objeto, determinar su temperatura y generar una imagen térmica, realizando un procesamiento digital de las señales sensadas. [6]. La figura 4 se muestra la cámara Fluke Vt04 a utilizar en el proyecto de grado.



Figura 4: Camara Fluke Vt04

Fuente: [7]

Las cámaras termográficas, térmicas, infrarrojas, son equipos que permiten monitorear temperatura superficial con precisión la cual dependerá de las características de dicha cámara, sus componentes se muestran en la figura 5.

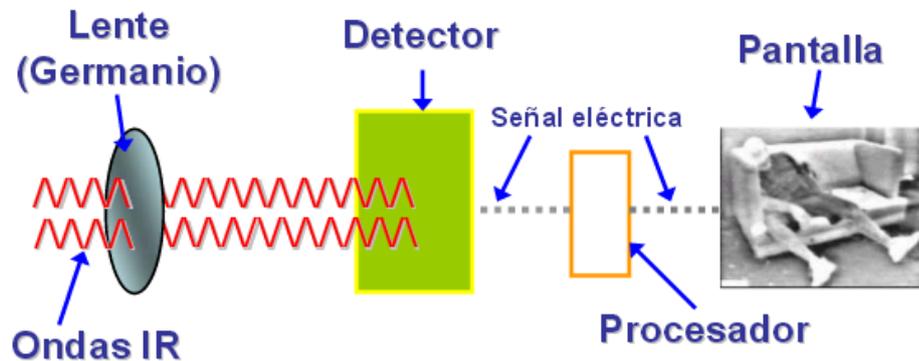


Figura 5: Componentes cámaras termográfica.

Fuente: [8]

Los componentes que caracterizan a dichas cámaras son:

- **Lente:** Encargado del enfoque los rayos de radiación IR sobre el detector. Este material es opaco a la radiación IR. Suelen fabricarse de germanio.
- **Detector:** Detecta la radiación IR y la convierte en una señal eléctrica, estos sensores son construidos a partir de semiconductores.

- **Procesador:** Es una pequeña computadora la cual interpreta la señal enviada por el detector y la transforma en otra señal apta para ser utilizada en una pantalla.
- **Pantalla.** En la cual se presenta la imagen con la radiación emitida por algún objeto o cuerpo.

1.6.1. Clasificación cámaras termográfica.

Algunas de las formas que se puede clasificar a una cámara termografía pueden ser las siguientes.

- **Respuesta espectral.**

La respuesta espectral depende de la longitud de onda que las cámaras termográficas puedan captar, la tabla 1 muestra esta clasificación.

Tabla 1

Respuesta espectral cámaras termográfica.

ONDA CORTA	0.8 um. a 2.5 um.
ONDA MEDIA	2.5 um. a 5.5 um.
ONDA LARGA	7.5 um. a 14 um.

Fuente: [9]

La cámara Fluke VT04 utiliza la respuesta espectral de onda larga, estas condiciones dependerán de las características técnicas que se requieran para las mediciones de temperatura.

- **Tipo de detector.**

El tipo de detector dependerá de las características de la cámara que el usuario requiera para las mediciones de temperatura estos detectores pueden ser.

✓ **Detectores criogenizados.**

Los detectores están contenidos en un estuche sellado al vacío y enfriado muchos grados bajo cero Celsius por un voluminoso y costoso equipo criogénico. Esto aumenta enormemente su sensibilidad con respecto a los detectores al ambiente, debido a su gran diferencia de temperatura con respecto al cuerpo emisor detectado. Si el detector no fuera enfriado criogénicamente, la temperatura ambiental del detector interferiría en las lecturas de temperatura recibidas por el detector. En este tipo de detector existen algunas desventajas las cuales son.

- ❖ Un alto consumo de energía
- ❖ Un alto costo de fabricación y sellado al vacío.
- ❖ Tiempo alto para enfriar el sensor para una óptima operación.

✓ **Detectores al ambiente.**

Este tipo de detectores operan a la temperatura ambiental. Los más modernos usan sensores que funcionan cambiando las propiedades eléctricas del material del cuerpo emisor. Estos cambios (de corriente, voltaje o resistencia) son medidos y comparados a los valores de temperatura de operación del sensor. Los sensores pueden estabilizarse a una temperatura de operación, por arriba de los cero Celsius, para reducir las interferencias de percepción de imagen, y es por eso que no requiere equipos de enfriamiento. Los detectores están elaborados a base de materiales piroeléctricos y ferroeléctricos.

En comparación con los detectores criogenizados los detectores al ambiente tienen algunas ventajas las cuales son.

- ❖ Un menor costo de fabricación
- ❖ Y un Menor tamaño.

La desventaja de estos detectores es que tienen menos sensible y resolución a comparación con los criogenizados.

1.6.2. Aplicaciones.

Las cámaras termográficas son herramientas indispensables en el mantenimiento predictivo y preventivo para la detección de anomalías que pueden ser invisibles al ojo humano, con el objetivo de prevenir errores y fallos. Sus aplicaciones en diferentes áreas son muy útiles y éstas pueden ser.

Industria:

- Incremento de temperatura de componentes eléctricos defectuosos.
- Roce de máquinas eléctricas.
- Fugas.
- Conexiones eléctricas mal realizadas.
- Daños potenciales.
- Sobrecargas.

Construcción:

- Fugas de calor.
- Humedades.
- Distribución de temperaturas en sistemas de calefacción.

Medicina y Veterinaria

- Detección de temperatura no invasiva (fiebre o hipotermia).

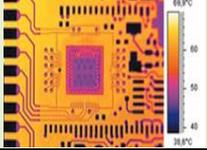
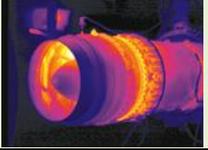
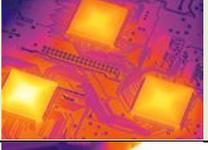
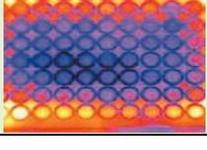
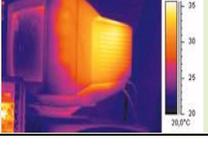
Seguridad y otros

- Detección de posibles incendios.
- Investigación tales como el procesamiento de imágenes.

La tabla 2 muestra algunos campos de aplicaciones de las cámaras termográficas con sus respectivas imágenes térmicas que detecta la radiación que emiten los objetos simplemente, sin ser necesario el contacto físico con el objeto a medir, ni la estabilización de temperaturas. De esta manera, las medidas son rápidas, precisas y fiables.

Tabla 2:

Aplicaciones cámaras termográfica.

	Aislamiento defectuoso en edificio		Desarrollo de neumáticos
	Circuitos impresos		Diseño de motores
	Veterinaria		Medicina, detección del SARS
	Desarrollo de motores		Electrónica
	Estudio de firmas térmicas		Estudios termodinámicos
	Industria farmacéutica		Verificación de diseño térmico

Fuente: [10]

1.6.3. Cámara Fluke Vt04 IR Thermometer.

Para la realización de este proyecto se utilizará una cámara FLUKE VT04 IR THERMOMETER, que permitirá obtener o capturar una imagen térmica para realizar el procesamiento de dicha imagen. La tabla 3 Contiene las características técnicas de la cámara VT04.

Tabla 3:**Características técnicas cámara Vt04**

Rango de medida de temperatura	De -10 °C a +250 °C
Precisión de medida de temperatura	± 2 °C o $\pm 2\%$ de la lectura en °C.
Frecuencia de captura de imágenes	8 Hz
Tipo de detector	Cerámica piroeléctrica hiperdelgada sin refrigerar
Banda espectral infrarroja	6,5 μ m a 14 μ m
Campo visual	20° X 20°
Opciones de visualización	Fusión de la imagen real y de infrarrojos, desde infrarrojos completa a imagen real, en pasos de 25%.
Opciones de enfoque: opciones NEAR/FAR exclusivas seleccionables por el usuario	NEAR > 23 cm; FAR < 23 cm
Medio de almacenamiento	Tarjeta Micro SD de 4 Gb (almacena más de 10.000 imágenes individuales).
Formato de archivo	Bmp
Humedad relativa	10 % a 90 % sin condensación

Fuente: [11]

1.7. Software libre.

Este término engloba un tipo de aplicaciones, una tendencia filosófica y un modelo de desarrollo de programas informáticos donde los usuarios tienen la libertad de ejecutar, copiar, distribuir, estudiar, modificar y mejorar el software, para que un software sea considerado libre u open source debe cumplir algunas normas establecidas como:

- El poder ejecutar un programa para cualquier uso o propósito.

- Adaptarse a las necesidades del usuario y estudiar su funcionamiento.
- Poder generar copias del programa para futuros mejoramientos.
- Poner las mejoras a disposición del público.

De esta manera el usuario puede modificar el código fuente. Algunos de los lenguajes de programación libres que se van a utilizar en el presente proyecto son: Linux como sistema operativo, Ubuntu plataforma de trabajo, OpenCV para el procesamiento de imágenes térmicas y Qt plataforma de programación para el desarrollo del GUI.

1.7.1. Sistema Operativo LINUX.

La figura 6 muestra el logo del sistema operativo GNU/Linux. Es el primer sistema operativo basado en UNIX que es Software Libre, Linux es un conjunto de componentes diseñado por cientos de programadores de todas partes del mundo.

Linux está compuesto por varios componentes como son programas, librerías y documentación para lo cual se puede encontrar programas útiles con código fuente gratuito, teniendo la libertad de usar el programa con el objetivo de estudiarlo, adaptarlo, mejorarlo y adaptarlo a cualquier propósito.



Figura 6: Logo LINUX

Fuente: [12]

Las características principales de Linux son.

- **Multitarea:** el usuario puede estar ejecutando varios programas a la vez sin parar la ejecución de otros programas.
- **Multiusuario:** debido a esta característica de Linux, pueden existir varias personas usando el ordenador en otras tareas como escribiendo una carta, jugando o navegando por internet y además garantiza la privacidad y la seguridad de los datos entre usuarios.
- **Independencia de dispositivos:** Este sistema operativo admite o reconoce varios tipos de dispositivos ya que Linux posee una gran adaptabilidad y no está limitado.
- **Comunicaciones:** Linux es un sistema más flexible ya que puede conectarse con cualquier ordenador.

1.7.2. Plataforma UBUNTU.

Linux está dividido en una serie de paquetes como RedHat, Slackware, Debian, Ubuntu. Para el desarrollo del proyecto se utilizará la plataforma UBUNTU. La figura 7 muestra el logo de Ubuntu.



Figura 7: Logo UBUNTU

FUENTE: [13]

La palabra UBUNTU de origen africano “humanidad hacia otros” y es la distribución más utilizada

Ubuntu utiliza como núcleo principal Linux, y su origen está basado en Debian, está enfocado en la facilidad de uso y en mejorar la experiencia de usuario, distribuido bajo una licencia libre o de código abierto.

1.8. OpenCV.

OpenCV (Open source Computer Vision library) la figura 8 muestra el logo de OpenCV, es una plataforma de código abierto desarrollo por INTEL y su biblioteca está escrito en C y C ++, puede trabajar en diversos sistemas operativos como son Linux, Windows y Mac OS X. OpenCV está diseñado para una eficiencia computacional, enfocado en aplicaciones en tiempo real y utiliza automáticamente la biblioteca IPP adecuada para su ejecución si se han instalado dichas bibliotecas.

Uno de los objetivos de OpenCV fue crear una estructura de visión por computador sencillo de usar que facilita a los usuarios a desarrollar aplicaciones de visión bastante sofisticados rápidamente.



Figura 8: Logo OpenCV

Fuente: [14]

OpenCV está enfocado en.

- Procesado de imágenes
- Análisis de movimiento
- Interfaz gráfica y adquisición.
- Imágenes médicas
- La seguridad
- Calibración de cámaras
- Equipos de música visión y robótica.

OpenCV se estructura en términos generales en cinco componentes principales, en la figura 9 se muestra la estructura de OpenCV. El componente CV, ML, HighGUI contiene rutinas y funciones de I / O para el almacenamiento y carga de vídeo e imágenes, y CXCore. [15]

- CXCORE. Contiene estructuras de datos, álgebra matricial, transformaciones de datos, la persistencia de objetos, gestión de memoria, control de errores y la carga dinámica de código, así como el dibujo, texto y matemáticas básicas.
- CV. Contiene el procesamiento de imágenes, análisis de la estructura de la imagen, el movimiento y el seguimiento, patrón de reconocimiento y calibración de la cámara.
- Machine Learning (ML) Contiene muchas funciones de agrupamiento, clasificación y análisis de datos.
- CVCAM. Interfaz de cámara.

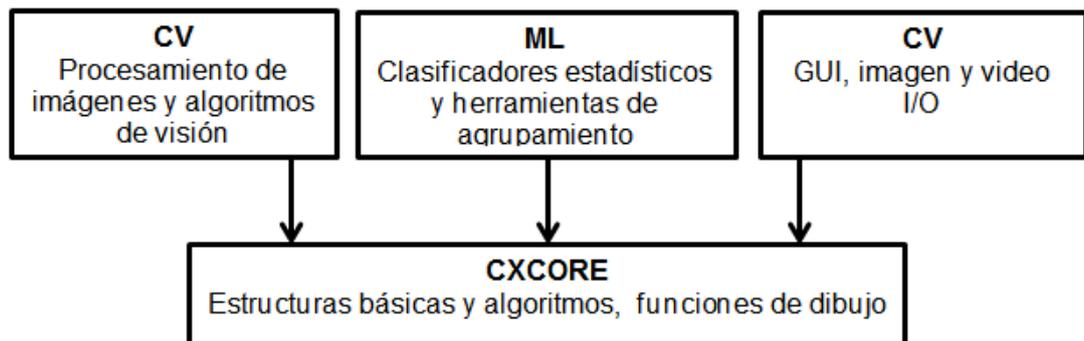


Figura 9: Estructura de OpenCV.

Fuente: [16]

Los módulos que están integrados en OpenCV son para resolver la mayoría de sus problemas como recortar imágenes, mejorarlas mediante la modificación de brillo, nitidez y contraste, detectar formas en ellas, imágenes de segmento en regiones intuitivamente obvios, detectar objetos en movimiento en vídeo, reconocer objetos conocidos, estimar el movimiento de un robot de su alimentación de la cámara y el uso de cámaras estéreo para conseguir una visión en 3D. Un aspecto de los módulos OpenCV que es necesario enfatizar, es que están altamente optimizados y destinados a

aplicaciones en tiempo real, diseñados para ejecutar su labor a través de una variedad de plataformas informáticas de Windows, Linux entre otras, OpenCV proporciona un conjunto de módulos que se presentan en la tabla 4.

Tabla 4:

Módulos de OpenCV

Core	Estructuras básicas de datos, tipos de datos y la gestión de memoria.
Imgproc	Filtrado de imágenes, transformaciones geométricas de la imagen, estructura y análisis de la forma.
Highgui	GUI, leer y escribir imágenes y vídeo.
Video	Análisis de movimiento y seguimiento de objetos en vídeo.
Calib3d	Calibración de la cámara y la reconstrucción 3D desde múltiples puntos de vista.
Features2d	Extracción de características, la descripción y juego.
Objdetect	Detección de objetos utilizando cascada y clasificadores histograma-de-gradiente.
ML	Los modelos estadísticos y algoritmos de clasificación para uso en aplicaciones de visión artificial.
Flann	Biblioteca rápida, búsquedas en alta dimensión (función) espacios.
GPU	Paralelización de algoritmos seleccionados para una rápida ejecución de las GPU.
Stitching	Deformaciones, mezcla, y el ajuste de paquete para una imagen.
Nonfree	Las implementaciones de algoritmos.

Fuente: [16]

1.9. Qt Creator.

El framework Qt vio la luz de forma pública por primera vez en el año 1995, ha sufrido varios cambios en su logotipo la figura 10 muestra logos de Qt Creator. Fue desarrollado por dos ingenieros noruegos, Haavard Nord y Eirik Chanble-Eng, como respuesta a la necesidad de disponer de un GUI para una aplicación C++ multiplataforma orientado a objetos. Dentro de la palabra “Qt”, la letra “Q” fue escogida debido a su belleza en el editor Emacs de Haavard, y la letra “t” se añadió para significar “toolkit”.



Figura 10: Logos de Qt Creator.

Fuente: [17]

En los últimos años, Qt ha pasado de ser una plataforma usada por pocos desarrolladores especializados, a una plataforma usada por miles de desarrolladores open source en todo el mundo, esta tecnología es muy prometedora.

A pesar de que Qt fue desarrollado originalmente como una ayuda para los programadores de C ++, Qt puede funcionar en varios idiomas de programación como Java y JavaScript, Python, Ruby, PHP y la plataforma .NET. [18]

1.9.1. Aplicaciones.

Qt es un multiplataforma, gráfica que permite compilar y ejecutar el desarrollo de aplicaciones en.

- Windows.
- Linux
- Mac Os

Algunos de sus librerías fueron ocupadas para el desarrollo de aplicaciones como.

- Adobe Photoshop Álbum.
- Google Earth
- KDE.
- Opera.
- Skype
- VLC media player.
- Y muchas aplicaciones de escritorio que se han desarrollado en Qt.

1.9.2. Características.

Algunas de las características son las siguientes.

- Lenguaje de programación orientado a objetos C++.
- Librería multiplataforma y gratuita para la creación de interfaces gráficas.
- Permite realizar programación visual y programación dirigida por eventos.
- Características avanzadas de IDE: sintaxis coloreada, compleción automática de código, ayuda sensible al contexto, inspector de objetos, diseñador visual, compilador y depurador integrado, etc.

1.9.3. Interfaz Gráfica (QT GUI APPLICATION).

La interfaz gráfica de usuario GUI o en inglés Graphic User Interface es la que facilita la interacción del usuario con el ordenador utilizando una serie de imágenes y objetos pictóricos como botones, ventanas, texto, etc.

Algunas de las características que se pueden evidenciar con una GUI para el desarrollo de las aplicaciones de la interfaz deben de ser.

- **Sencilla.** Los elementos que se están utilizando como botones, texto deberán apoyar, ayudar y guiar al usuario para que no suceda algún tipo de confusión en el desarrollo del programa.
- **Clara.** La información de la GUI debe estar organizada.
- **Coherente.** Tanto los gráficos, colores y demás elementos utilizados deben corresponder al contenido.

CAPÍTULO II

2. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN PARA EL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES TÉRMICAS

2.1. Introducción.

La utilización de una cámara termográfica VT04 será primordial para la adquisición de las imágenes térmicas con la cual podremos realizar un procesamiento de imágenes utilizando software libre para su diseño e implementación, los resultado de este proyecto podrán ser utilizados para futuras investigaciones sobre procesamiento de imágenes que se están desarrollando en diferentes Carreras tales como la Ingeniería en Electrónica e Instrumentación, Ingeniería Electromecánica, Ingeniería Mecatrónica e Ingeniería Software de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, extensión Latacunga..

Para la programación, tanto de diseño como implementación se utilizará Qt creator y OpenCV respectivamente tendrán como objetivo principal el tratamiento de imágenes térmicas, mediante la utilización de filtros para resaltar las partes más sobresaliente de la imagen que dependerá de las características de temperatura, adquirida por medio de una cámara termográfica.

2.2. Cámara termográfica VT04.

2.2.1. Partes principales.

Al utilizar la cámara termográfica Fluke vt04 se deben tomar en cuenta alguna de las funciones que están presentes en el menú de la cámara para la adquisición de las imágenes térmicas.

En la Figura 11 se puede observar el diagrama de partes de los diferentes elementos de la cámara VT04 para la adquisición de la imagen.



Figura 11: Diagrama de los elementos cámara Vt04

1. Pantalla LCD.
2. On / off y menú
3. Botón de Selección
4. Lente infrarroja
5. Cámara de imagen real
6. Tarjeta de memoria SD
7. Disparador para capturar la imagen.

Cada uno de los ítems muestra las partes importantes para la adquisición de la imagen térmica.

La Figura 12 muestra las funciones del menú y navegación básica en la se puede seleccionar las diferentes funciones como el tipo de unidad de medida sea °C o °F, el tiempo para toma de imágenes sucesivas.



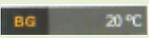
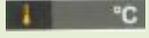
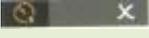
Figura 12: Funciones de menú y navegación

Fuente: [19]

La tabla 5 muestra cada una de las funciones de la cámara termográfica algunas de estas funciones ayudara para el procesamiento de imágenes.

Tabla 5:

Funciones cámara Fluke Vt04

ICONO	DESCRIPCIÓN	VT04
	Emisividad.	X
	Paleta de colores	X
	Temperatura de fondo	X
	Marcadores de temperatura	X
	Unidades de temperatura	X
	Alarma de temperatura alta/baja	X
	Auto-monitor	X
	Capturas de imágenes en intervalos de tiempo.	X

2.2.2. Fusión de imágenes.

Al seleccionar en fusión de imágenes se puede modificar el porcentaje de colores de temperatura relacionado con el espectro electromagnético. En la figura 13 muestra el detalle de los porcentajes del espectro electromagnético.

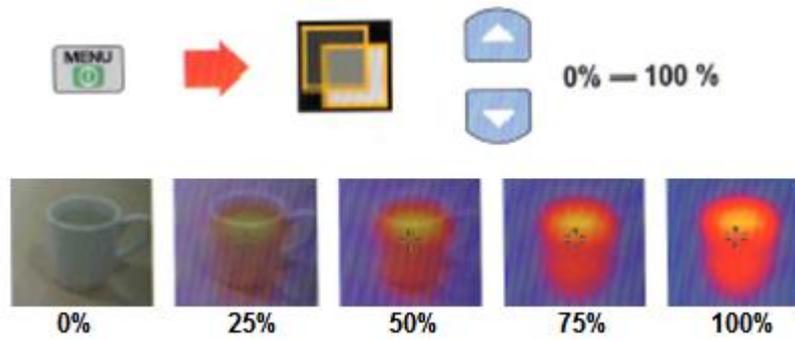


Figura 13: Porcentaje espectro electromagnético.

Fuente: [20]

2.2.3. Control de alineación.

Cuando se encuentra la cámara activada se puede realizar un acercamiento (NEAR) o alejamiento (FAR) según la distancia que se encuentra el objeto a medir la temperatura. Ver Figura 14.



Figura 14: Control de visualización NEAR/FAR

Fuente: [20]

2.2.4. Pantalla De Medición

La figura 15 muestra la pantalla de la cámara Fluke Vt04 donde se puede observar algunos de los elementos que están integrados en la misma.

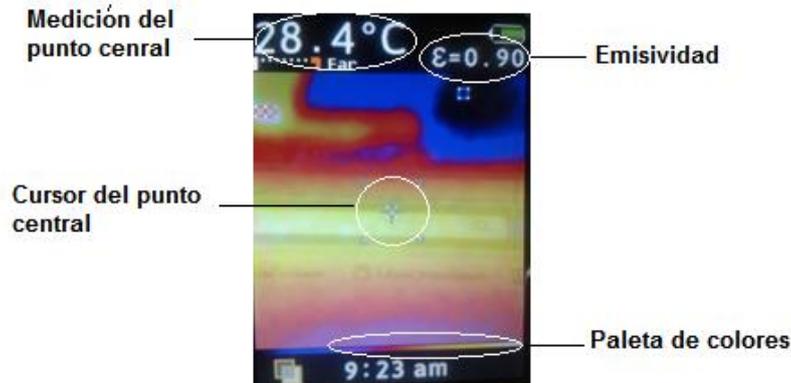


Figura 15: Elementos integrados en la pantalla.

Todos los cuerpos que se encuentren a una cierta temperatura emiten radiación infrarroja. Sin embargo, para hacer una inspección termográfica hay que tener en cuenta la emisividad de los cuerpos, capacidad que tienen de emitir radiación, ya que ésta no sólo depende de la temperatura del cuerpo, sino también de sus características superficiales. Cuyo valor está en el intervalo de.

$$0 \leq \varepsilon \leq 1 \text{ ec.5}$$

2.2.5. Alarma De Temperatura Alto/Bajo

Esta opción permite fijar dos alarmas: una alta y una baja para la variable en proceso de medición.

El esquema de configuración se puede ver en la figura 16. La alarma alta (HIGH) cierra cuando el valor de la medición es mayor que el valor prefijado para esta alarma (SET POINT), en tanto que la alarma baja (LOW) cierra cuando el valor de la medición es menor que su valor prefijado (SET POINT).

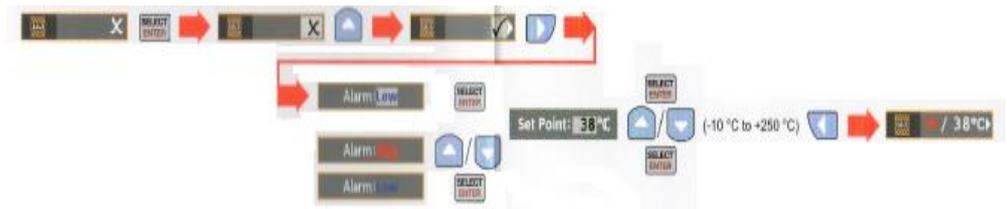


Figura 16: Configuración de alarma alto/bajo.

Fuente: [20]

2.2.6. Captura de imágenes en intervalos de tiempo.

La captura de las imágenes térmicas se puede desarrollar en forma manual o mediante el uso de intervalos de tiempo, los que dependen de los lapsos de tiempo requeridos para la adquisición. En la figura 17 muestra el esquema de configuración de los intervalos de tiempo.

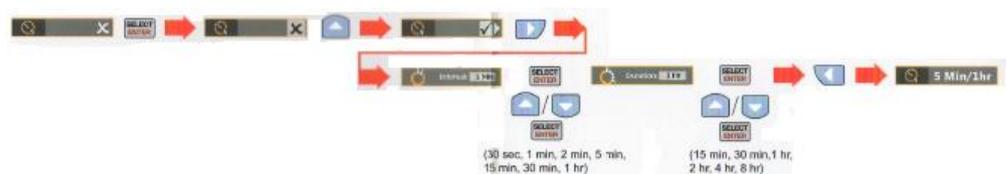


Figura 17: Configuración por intervalos de tiempo.

Fuente: [20]

La característica de adquisición de la imagen térmica por intervalos de tiempo ayudará a obtener una secuencia de imágenes y transformarla a un fotograma de video utilizando un software para su conversión (movie maker), en la cual se mostrará dicha secuencia que permite visualizar las variaciones de temperatura, adquirida con la cámara Fluke VT04.

En la figura 18 se observa la captura realizada a intervalos de tiempo a un objeto (foco), en la que se observa las variaciones de temperatura.

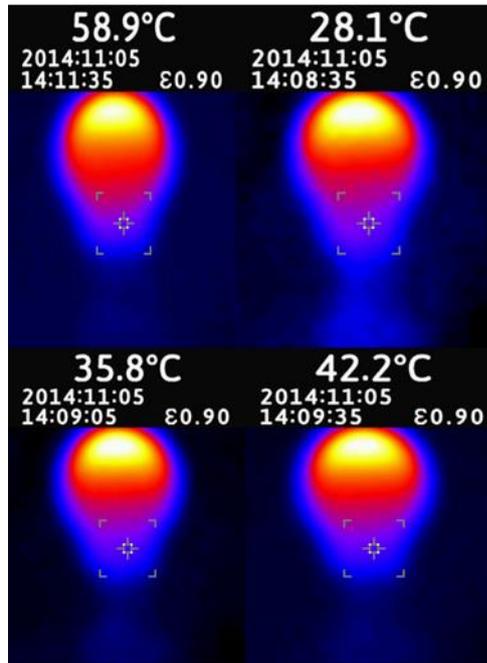


Figura 18: Variación temperatura (foco).

2.3. Software libre.

En esta sección se analiza la parte principal para el desarrollo del proyecto de grado la cual estará enfocado a la utilización de software libre

2.3.1. Utilización e instalación de Ubuntu

Para el diseño de la interfaz gráfica y la implementación de los algoritmos es necesaria la utilización de un sistema operativo como es LINUX \ UBUNTU para el desarrollo del proyecto de grado.

A continuación se muestra cada una de las etapas previas a la utilización del sistema operativo UBUNTU

- **Instalación de UBUNTU.**

Se realiza la descarga Ubuntu de la página oficial www.ubuntu.com, en este proyecto se optó por instalar Ubuntu 12.04 LTS

En el proceso de arranque se inicia una primera pantalla en la que se observa el idioma que se desea instalar. Es recomendable la instalación en versión Inglés debido a que no tendrá ningún conflicto en las otras instalaciones de los programas a utilizar. En la Figura 19 muestra la selección del idioma.

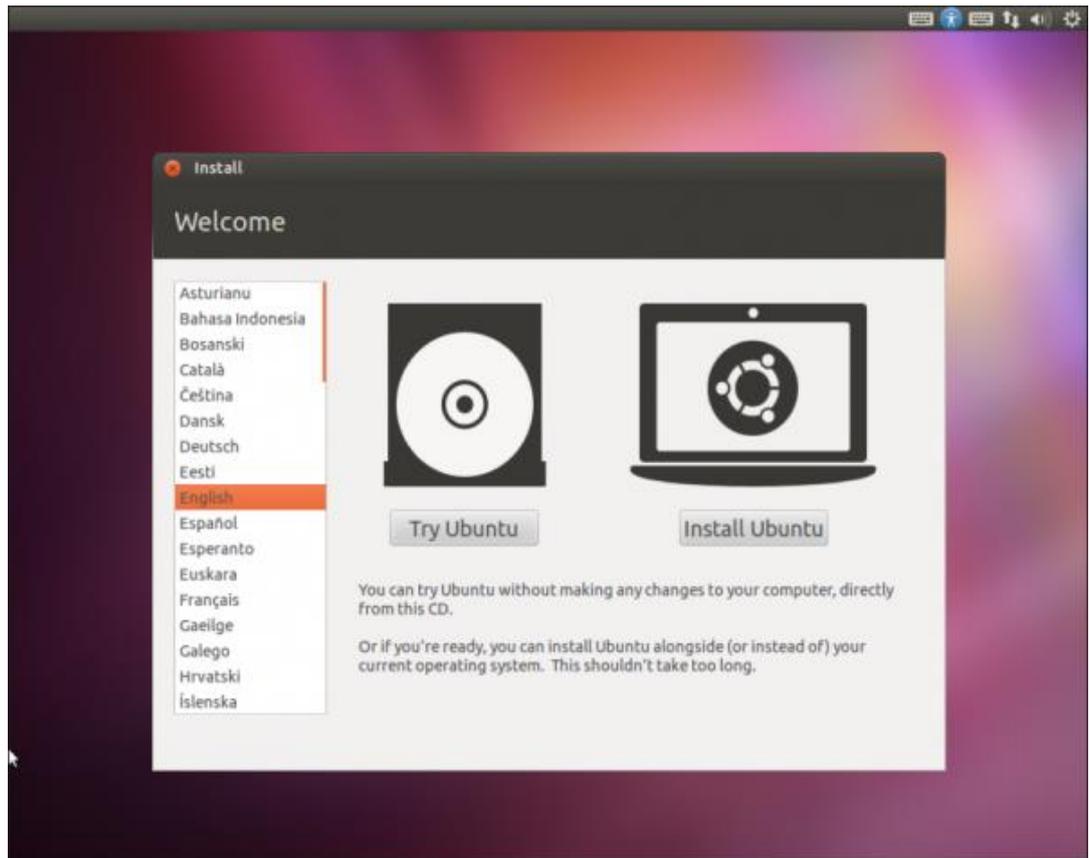


Figura 19: Selección del idioma de instalación.

Luego de instalado el software Ubuntu, si se cumple las condiciones, se mostrará a continuación la pantalla que se muestra en la figura 20.

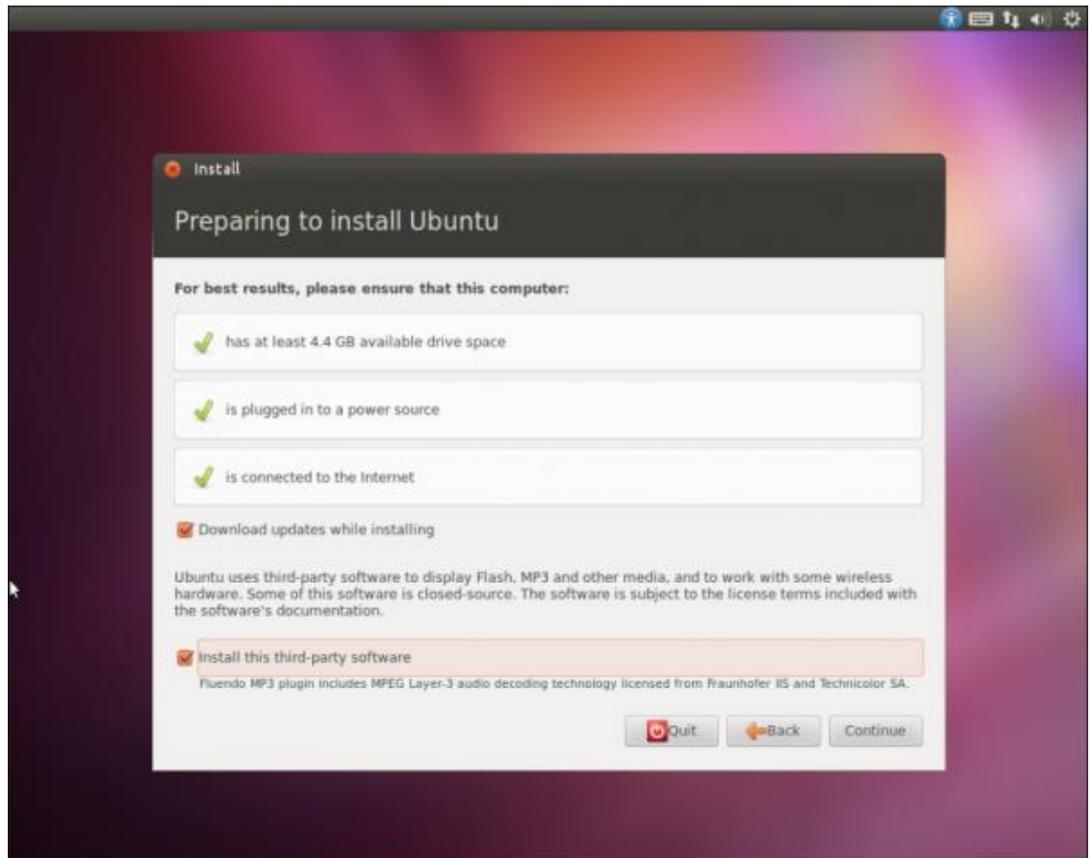


Figura 20: Condiciones de espacio disco

Una vez realizada la instalación de las condiciones necesarias, se presenta la opción que permite instalar Ubuntu junto a otro Sistema Operativo si se lo requiere hacer una partición del disco. Si el sistema operativo acompañante es Windows, es necesaria la partición del disco antes de comenzar la instalación, que se muestra en figura 21.

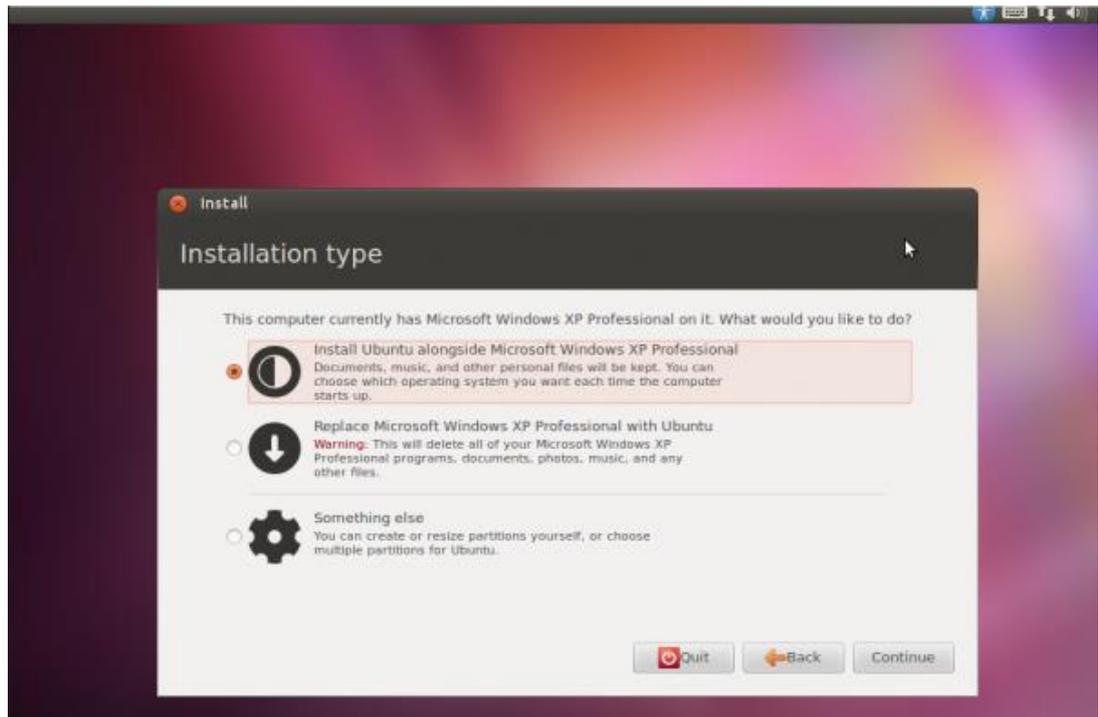


Figura 21: Partición del disco para instalación de Ubuntu.

Una vez realizada la partición deberá elegir la zona horaria (Ecuador) para continuar con la instalación, según se presenta en la figura 22 el usuario debe instalar los campos de nombre, nombre de la computadora, alias como la clave que le permita realizar un acceso futuro.

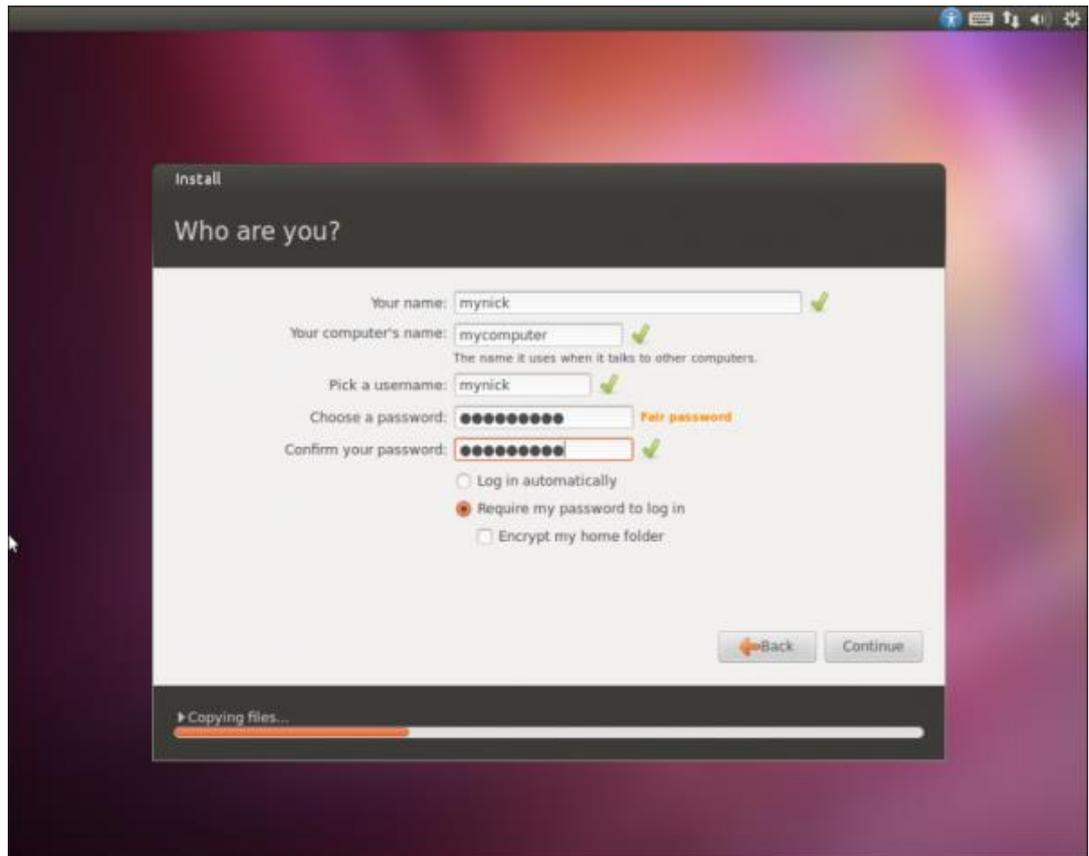


Figura 22: Campos de instalación.

La figura 23 muestra la instalación de los archivos que se empezarán a copiarse al disco duro para finalizar con la instalación de Ubuntu.



Figura 23: Instalación de paquetes UBUNTU

Luego de finalizada la copia de los archivos se podrá ingresar a la pantalla en la cual debemos digitar la clave instalada que se muestra en la figura 24.

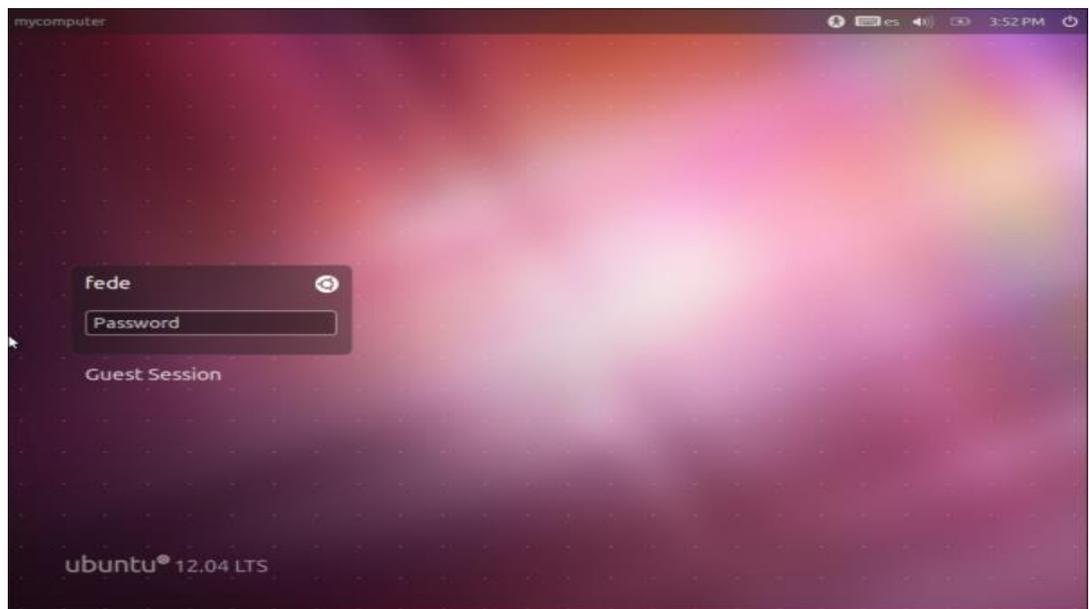


Figura 24: Contraseña de usuario.

La figura 25 muestra la pantalla de inicio para empezar a la utilización de UBUNTU y realizar las instalaciones de los programas requeridos para el desarrollo del diseño y la implementación de los algoritmos para el procesamiento de imágenes.

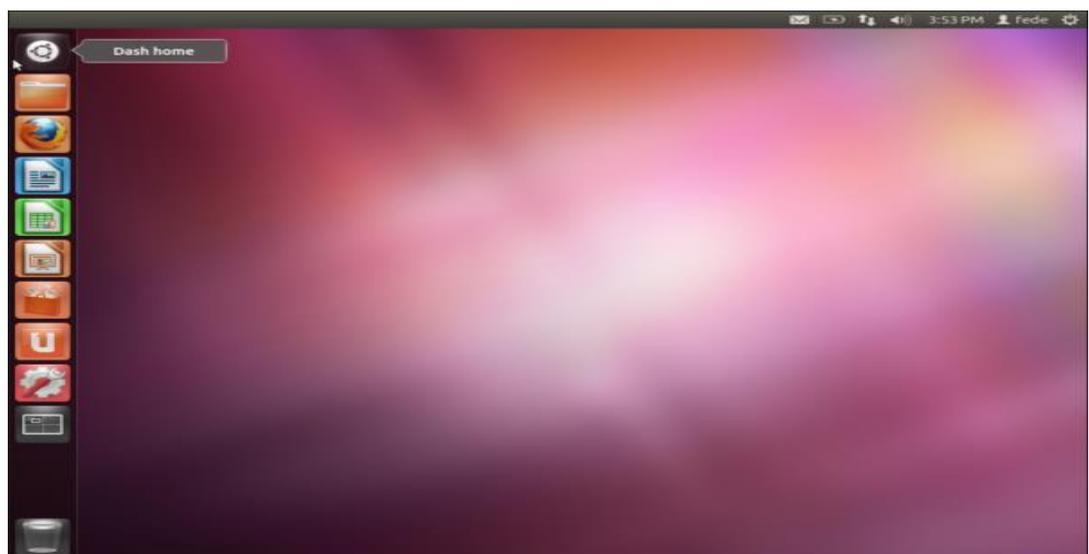


Figura 25: Pantalla de trabajo Ubuntu.

2.4. Diseño e implementación

Para el diseño e implementación se deberá tomar en cuenta dos programas esenciales para el desarrollo de los diferentes algoritmos basados en Open Source, estos programas son.

OpenCV. Es una biblioteca de funciones de programación orientados principalmente a la visión por ordenador en tiempo real, dicho software lo utilizaremos para la implementación de los algoritmos.

Qt Creator. Este software lo utilizaremos para el diseño de la interfaz gráfica GUI.

Se debe tomar en cuenta que para la instalación se la realizará en el terminal de Ubuntu digitando los códigos para cada programa.

2.4.1. Instalación de OpenCV.

Para trabajar en el campo de visión artificial es fundamental el manejo de OpenCV, ya que esta es una biblioteca libre que está especialmente orientada a visión artificial y que actualmente es muy utilizada a nivel mundial por expertos desarrolladores de software.

En este caso se instaló la distribución Ubuntu 12.04 LTS ya que es una versión muy estable a diferencia de sus distribuciones. La versión a instalar en este capítulo pertenece a la biblioteca de OpenCV 2.4.2.

Hay que tomar en cuenta que la instalación es muy sencilla, sin embargo puede durar una considerable cantidad de tiempo debido a la gran cantidad de paquetes que se tienen que instalar; aunque también está basado por el hardware que posea el computador que se utiliza.

Una vez aclarado y especificado los programas a utilizar es necesario seguir los siguientes pasos para que la instalación se la realice de manera correcta.

a. Actualizar los repositorios de Ubuntu.

Es muy importante que todo el sistema Ubuntu este actualizado, para ello vamos a ejecutar el terminal de Ubuntu. Ver figura 26



Figura 26: Terminal Ubuntu

Una vez abierto la terminal de Ubuntu para actualizar los repositorios debemos escribir los siguientes comandos:

```
sudo apt-get update  
sudo apt-get upgrade
```

Una vez realizado este procedimiento en el terminal pedirá el reconocimiento de usuario; este proceso de actualización tiene una duración variada ya que depende directamente de la velocidad de la conexión a internet que se tenga y de cuantos paquetes del repositorio se deben actualizar.

b. Instalación dependencias de OpenCV

Concluido el proceso de actualización se procede a instalar todas las dependencias de OpenCV, como son el soporte para leer y escribir imágenes, mostrar las imágenes en la pantalla, reproducción de videos entre otras aplicabilidades. También se va a instalar una herramienta de generación de automatización de código como lo es el Cmake, herramienta muy importante para los siguientes pasos de la instalación.

Para concluir con este paso en el terminal se debe ejecutar lo siguiente:

```
sudo apt-get install build-essential libgtk2.0-dev libjpeg-dev libtiff4-dev libjasper-dev  
libopenexr-dev cmake python-dev python-numpy python-tk libtbb-dev libeigen2-dev yasm  
libfaac-dev libopencore-amrnb-dev libopencore-amrwb-dev libtheora-dev libvorbis-dev  
libxvidcore-dev libx264-dev libqt4-dev libqt4-opengl-dev sphinx-common texlive-latex-extra  
libv4l-dev libdc1394-22-dev libavcodec-dev libavformat-dev libswscale-dev
```

c. Descargar y descomprimir OpenCV 2.4.2.

En este paso se puede hacer uso de dos maneras distintas para obtener OpenCV; la primera es visitar la página oficial de OpenCV (<http://opencv.org/downloads.html>) y realizar la descarga de la versión que se quiere trabajar.

La segunda opción y la más recomendada es realizarlo mediante el terminal de Ubuntu escribiendo los siguientes comandos:

```
cd ~
wget http://downloads.sourceforge.net/project/opencvlibrary/opencv-
unix/2.4.2/OpenCV-2.4.2.tar.bz2
tar -xvf OpenCV-2.4.2.tar.bz2
cd OpenCV-2.4.2
```

d. Compilar e instalar OpenCV.

En este punto como lo muestra el comando anterior `cd OpenCV-2.4.2` es muy importante estar situado dentro de la carpeta descargada en el paso anterior, una vez asegurado este punto se deben ejecutar los siguientes comando en el orden que se da a continuación:

```
mkdir build
cd build
cmake -D WITH_TBB=ON -D BUILD_NEW_PYTHON_SUPPORT=ON -D WITH_V4L=ON -
D INSTALL_C_EXAMPLES=ON -D INSTALL_PYTHON_EXAMPLES=ON -D
BUILD_EXAMPLES=ON -D WITH_QT=ON -D WITH_OPENGL=ON ..
make
sudo make install
```

Con estos comandos se está realizando la instalación de OpenCV con la ayuda del comando Cmake se debe obtener una pantalla de confirmación, ver Figura. 27.

```
samo8tab@virtubunta: ~/OpenCV-2.4.1/build
--
-- OpenCL support: YES (/usr/lib/1386-linux-gnu/libCL.so /usr/
r/lib/1386-linux-gnu/libICE.so /usr/lib/1386-linux-gnu/libEGL.so /usr/lib/1386-l
--
-- Media I/O:
-- ZLib: /usr/lib/1386-linux-gnu/libz.so (ver 1.2.3.4)
-- JPEG: /usr/lib/1386-linux-gnu/libjpeg.so (ver )
-- PNG: /usr/lib/1386-linux-gnu/libpng.so (ver 1.2.4)
-- TIFF: /usr/lib/1386-linux-gnu/libtiff.so (ver 42)
-- JPEG 2000: /usr/lib/1386-linux-gnu/libjasper.so (ver 1.
-- OpenEXR: /usr/lib/libimath.so /usr/lib/libilmimf.so /
ver 1.0.2)
--
-- Video I/O:
-- DC1394 1.x: NO
-- DC1394 2.x: YES (ver 2.2.0)
-- FFmpeg: YES
-- codec: YES (ver 54.23.100)
-- format: YES (ver 54.6.100)
-- util: YES (ver 51.54.100)
-- swscale: YES (ver 2.1.100)
-- gstreamer: YES
-- GStreamer: NO
-- OpenNI: NO
-- OpenNI PrimeSensor Modules: NO
-- PnPP1: NO
-- UmCapi: NO
-- UmCapi uc11: NO
-- V4L/V4L2: Using libv4l (ver 0.8.0)
-- Xine: NO
--
-- Other third-party libraries:
-- Use IPP: NO
-- Use IBB: YES (ver 4.0 Interface 6000)
-- Use Cuda: NO
-- Use Eigen: YES (ver 2.0.17)
--
-- Python:
-- Interpreter: /usr/bin/python (ver 2.7.3)
-- Libraries: /usr/lib/libpython2.7.so
```

Figura 27: Compilación de Cmake

e. OpenCV para funcionamiento con Ubuntu.

Una vez que el comando Cmake ha terminado de compilar es necesario editar el archivo de configuración de OpenCV, para eso es necesario ejecutar el siguiente código: `sudo gedit /etc/ld.so.conf.d/opencv.conf`. Al presionar el botón 'enter', se abrirá en el editor de texto un archivo que esté vacío, por tanto se debe escribir dentro del archivo la siguiente línea, `/usr/local/lib`, luego se debe guardar y salir del editor. Ver figura 28:

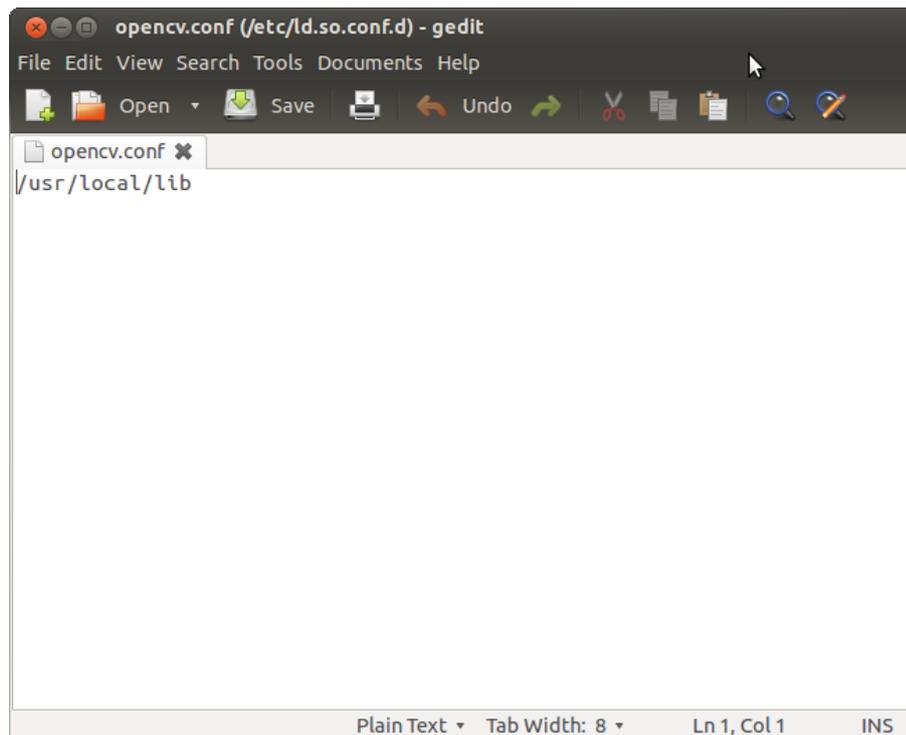


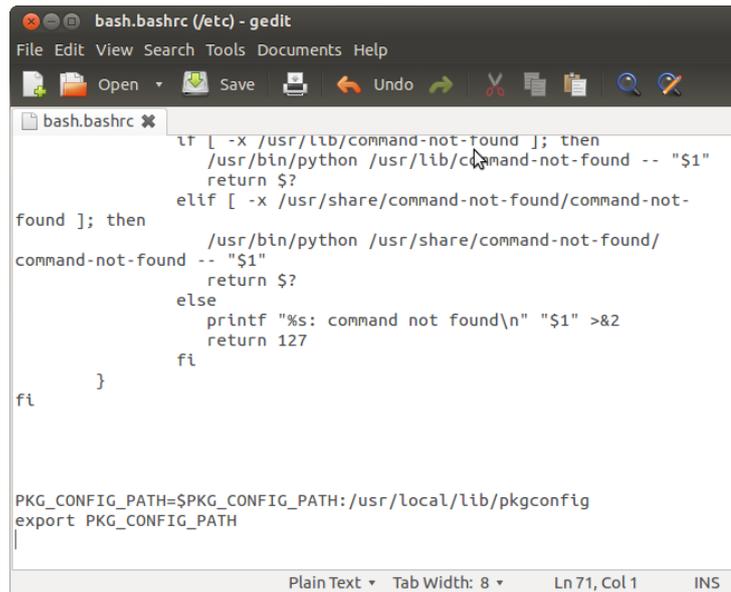
Figura 28: Configuración de OpenCV

Se ejecuta los siguientes comandos:

```
sudo ldconfig  
sudo gedit /etc/bash.bashrc
```

Con estos comandos se va a ejecutar otro editor de texto en donde se necesita añadir el Path o directorio de arranque de OpenCV; en la última línea de este editor se debe escribir los siguientes comandos, ver figura 29.

```
PKG_CONFIG_PATH=$PKG_CONFIG_PATH:/usr/local/lib/pkgconfig  
export PKG_CONFIG_PATH
```



```
if [ -x /usr/lib/command-not-found ]; then
    /usr/bin/python /usr/lib/command-not-found -- "$1"
    return $?
elif [ -x /usr/share/command-not-found/command-not-
found ]; then
    /usr/bin/python /usr/share/command-not-found/
command-not-found -- "$1"
    return $?
else
    printf "%s: command not found\n" "$1" >&2
    return 127
fi
}

fi

PKG_CONFIG_PATH=$PKG_CONFIG_PATH:/usr/local/lib/pkgconfig
export PKG_CONFIG_PATH
```

Figura 29: Ventana añadir Path de OpenCV

Al terminar la escritura de los comandos se debe guardar y salir del editor, para que todos los campos modificados sean almacenados y añadidos a Ubuntu es necesario reiniciar el computador.

Una vez reiniciado y para comprobar si la instalación fue correcta se puede ejecutar los siguientes comandos en el terminal:

```
cd ~/OpenCV-2.4.2/samples/c
chmod +x build_all.sh
./build_all.sh
./facedetect --
cascade="/usr/local/share/OpenCV/haarcascades/haarcascade_frontalface_alt.xml" --
scale=1.5 lena.jpg
```

Si la instalación fue correcta se mostrara una imagen propia de los ejemplos de OpenCV, ver figura 30:



Figura 30: Comprobación de instalación OpenCV.

2.4.2. Utilización e instalación Qt Creator.

Para el diseño de la GUI se utilizará el software QT Creator el cual permitirá crear pantallas, botones, texto para un mejor entendimiento de la programación en el procesamiento de imágenes térmicas.

Qt Creator es un adecuado medio para el desarrollo de grandes aplicaciones QT. Este IDE nos ayuda a configurar diferentes cadenas de herramientas.

a. instalación de QT Creator

En el presente proyecto se utilizar el programa Qt Creator para diseñar la interfaz gráfica y trabajar con los algoritmos de c++ necesarios para el funcionamiento de la librería OpenCV previamente instalada.

Para la instalación es necesario descargar la versión de Qt para Linux de 32/64-bit de la página web de Qt Creator (<http://www.qt.io/downloads>). También se puede utilizar el terminal de Ubuntu, utilizando los comandos que se muestran en la figura 31.

```
Qt Setup
berriel@berriel:~$ cd Downloads/
berriel@berriel:~/Downloads$ ls
qt-opensource-linux-x64-1.6.0-5-online.run
berriel@berriel:~/Downloads$ chmod +x qt-opensource-linux-x64-1.6.0-5-online.run
berriel@berriel:~/Downloads$ ./qt-opensource-linux-x64-1.6.0-5-online.run
```

Figura 31: Comandos instalación OpenCV

Una vez que la descarga haya concluido correctamente, la ventana de instalación aparecerá en la pantalla, ver figura 32. En esta ventana es necesario realizar los pasos comunes de instalación de software, a diferencia de Windows, Ubuntu genera la dirección de instalación transparente para el usuario, por lo tanto se inicia automáticamente el proceso de instalación.

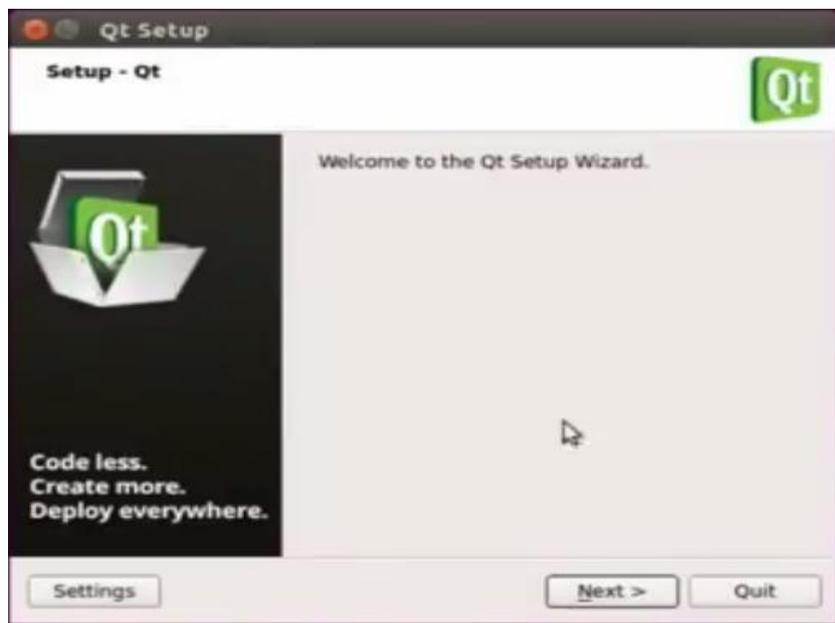


Figura 32: Instalacion Qt Creator.

Una vez concluida la instalación, automáticamente el programa se ejecutará y mostrará la pantalla de inicio de Qt Creator, donde permite crear o cargar proyectos, entre otras utilidades propias del software, ver figura 33.

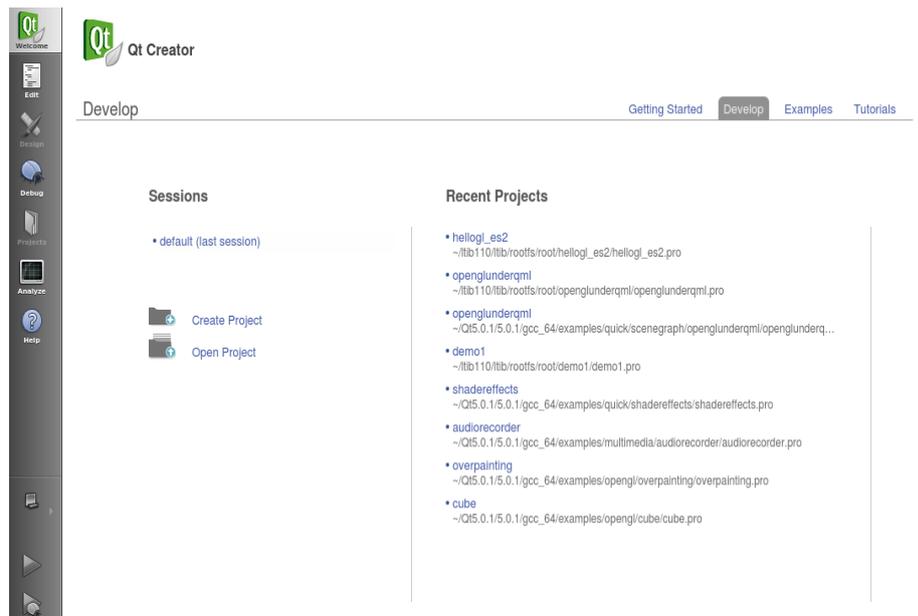


Figura 33: Ventana de trabajo

2.5. Vinculación de OpenCV con Qt Creator.

Antes de trabajar con OpenCV en Qt Creator es esencial cargar las librerías y bibliotecas de OpenCV, para esto es necesario crear un nuevo proyecto, como se muestra en la figura 34, una vez creado el proyecto con su respectivo nombre, el proyecto se mostrará como una carpeta con diferentes subcarpetas dentro de ella, ver figura 35, para añadir los directorios de OpenCV al proyecto se debe modificar al archivo con extensión “.pro”, para el uso de OpenCV en el medio de Qt Creator es necesario realizar la vinculación de los programas, lo cual se lo realiza mediante.

```
INCLUDEPATH += /usr/local/include/opencv  
LIBS += -L/usr/local/lib -lopencv_core -lopencv_imgcodecs -lopencv_highgui.
```

En la figura 36 se muestra las librerías adicionales que se utiliza en OpenCV.

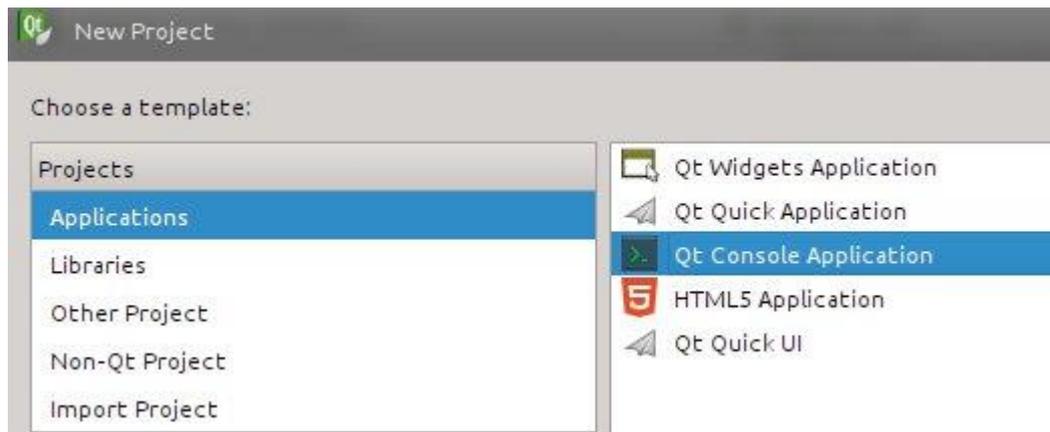


Figura 34: Crear nuevos proyectos Qt Creator.

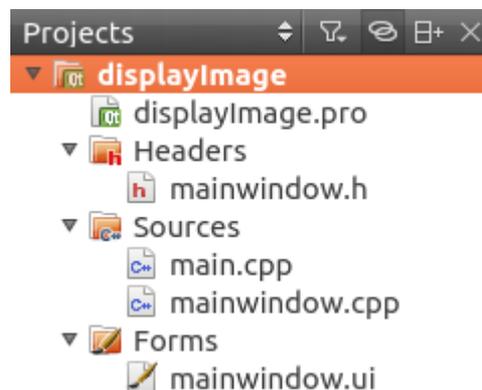


Figura 35: Carpeta de proyectos.

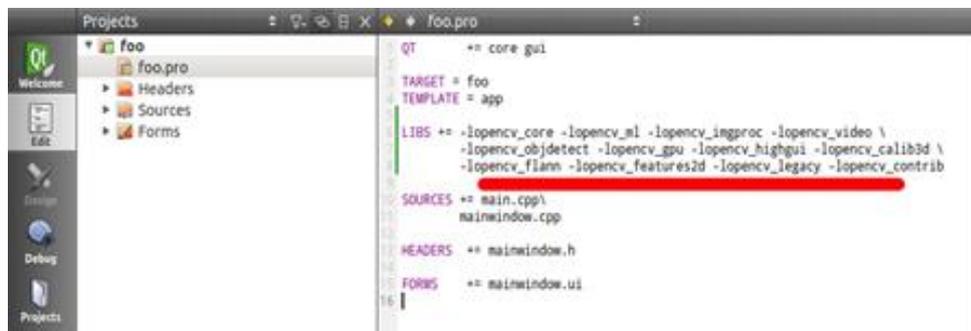


Figura 36: Librerías adicionales archivo pro.

Una vez añadidas las librerías en cada archivo de c++, en la extensión de archivo “.cpp” en el cual se vaya a trabajar con OpenCV se debe añadir las librerías necesarias para cada caso, ver figura 37, como por ejemplo: #include “opencv2/opencv.hpp”

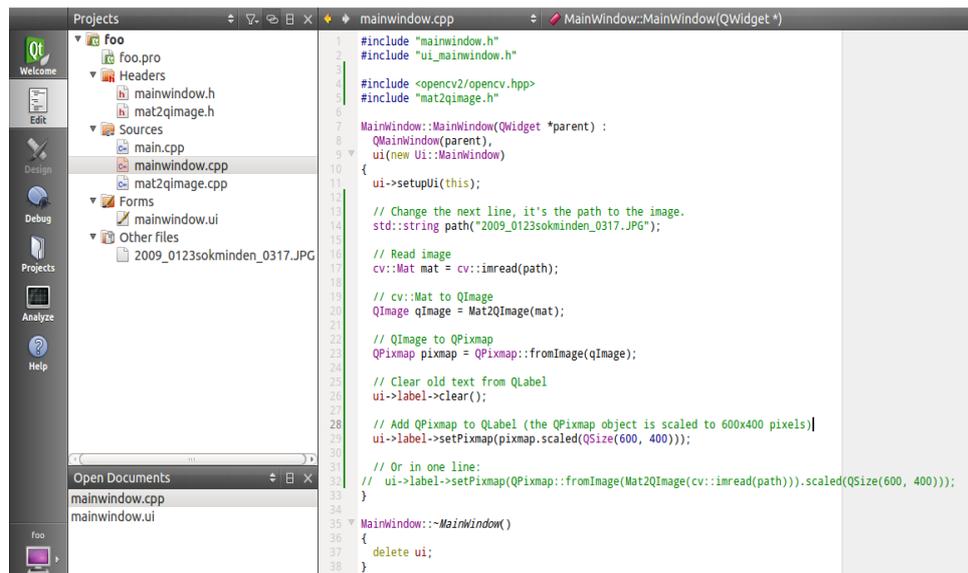


Figura 37: Inclusión librerías en archivos cpp

Es necesario agregar todas las librerías que se vayan a utilizar en el proyecto.

Luego de finalizada la instalación de los programas se procede a realizar el diseño y la implementación de los algoritmos basados en los siguientes diagramas de flujo.

2.6. DIAGRAMA DE FLUJO VENTANA PRINCIPAL.

En la figura 38 se muestra el diagrama de flujo de la Main Windows es la ventana principal para el ingreso del procesamiento de las imágenes térmicas o videos (secuencia de imágenes), en el ingreso se deberá tener una imagen previamente cargada caso contrario se presenta un mensajes de error, cuando este cargada la imagen podremos ver las opciones para el procesamiento ya sea esta imágenes o videos, en el ANEXO A se presenta las líneas de código y las librerías utilizadas para el desarrollo del diagrama de flujo.

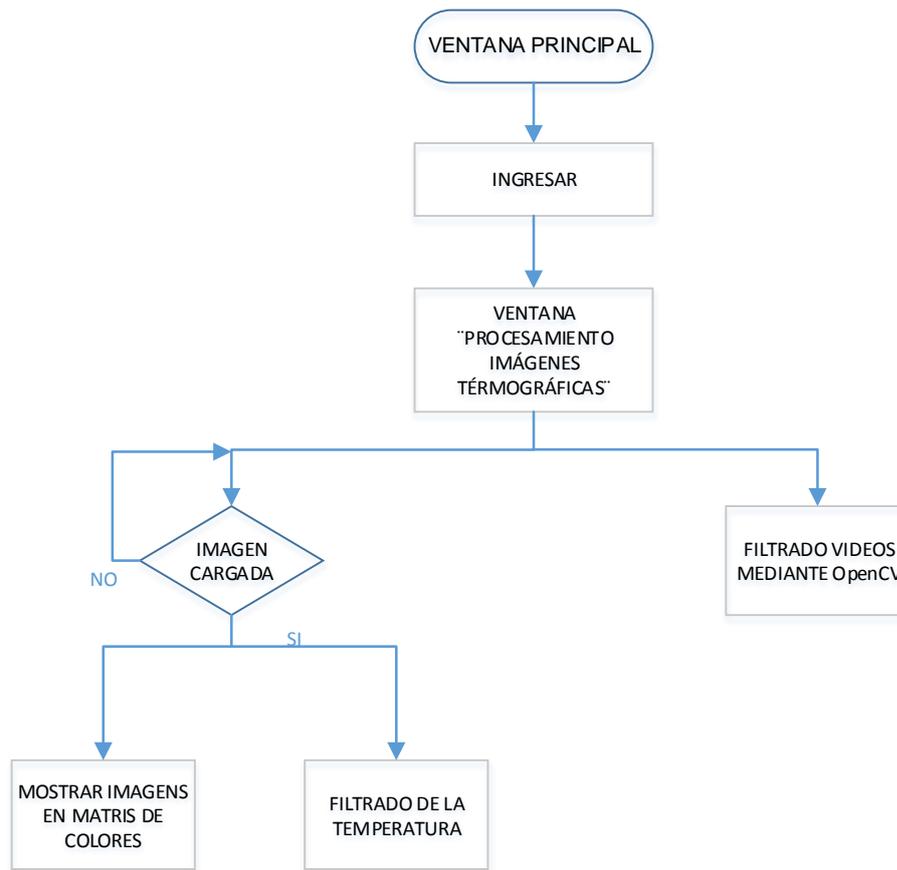


Figura 38: Diagrama de flujo ventana principal.

En la figura 39 se puede ver el desarrollo de la ventana de inicio o principal a partir del diagrama de flujo



Figura 39: Ventana de inicio o principal.

2.7. DIAGRAMA DE FLUJO PROCESAMIENTO DE IMÁGENES.

En la figura 40 se muestra el diagrama de flujo para el procedimiento del procesamiento de imágenes en la que se puede cargar las imágenes adquiridas con la cámara térmica y mostrar las imágenes para manipular las tonalidades, saturación, valor (HSV) y mostrar las imágenes en matriz de colores, formato de negros y filtrado de Canny en el cual mostraremos el contorno de las imágenes térmicas de acuerdo a las tonalidades que dependerá de los rangos mostrados en la tabla 3 En el ANEXO B se presenta las líneas de código y las librerías utilizadas para el desarrollo del diagrama de flujo.

Tabla 6:

Rango de tonalidades (HSV).

TONALIDADES	RANGOS
Naranja	0 – 22
Amarillo	22 – 38
Verde	38 – 75
Azul	75 – 130
Violeta	130 – 160
Rojo	160 – 179

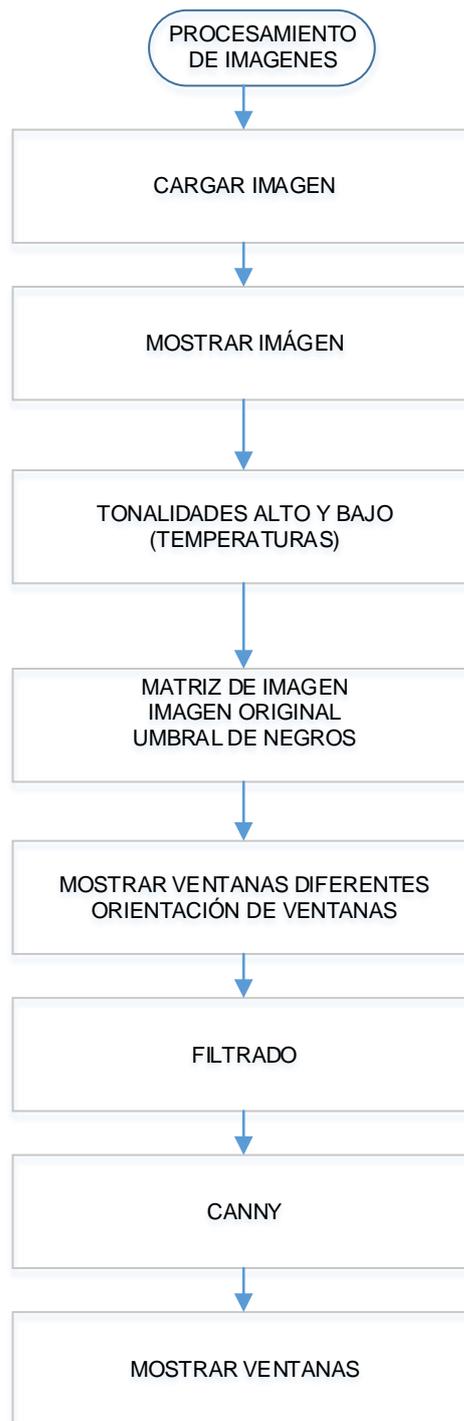


Figura 40: Diagrama de flujo procesamiento imágenes.

En la figura 41 se puede ver el desarrollo de la ventana para el procesamiento de las imágenes térmicas que se lo realiza a partir del diagrama e flujo.

En la opción de imágenes se observa los siguientes botones de selección los cuales son:

- Mostrar la imagen en matriz de colores.
- Filtrado de la temperatura corporal o ambiental.

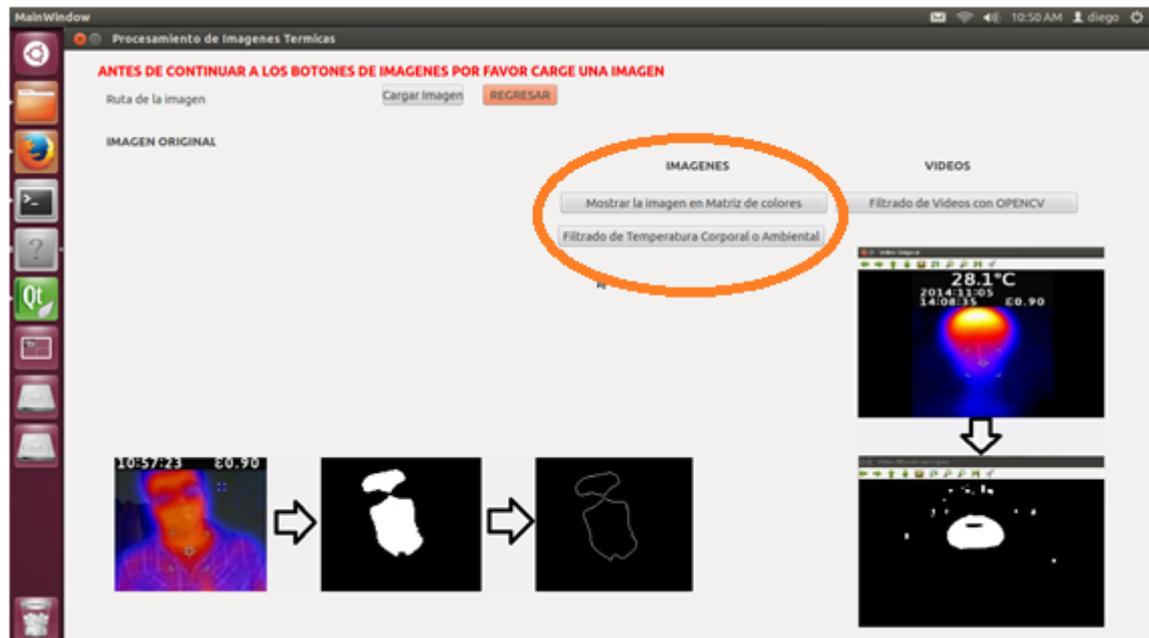


Figura 41: Ventana procesamiento de imágenes

2.8. DIAGRAMA DE FLUJO PROCESAMIENTO DE VIDEOS.

En la figura 42 se muestra el diagrama de flujo del procedimiento para el procesamiento de videos (secuencia de imágenes) donde se puede cargar el video y manipular las tonalidades, saturación, valor (HSV) y mostrar el video original con su respectivo procesamiento las tonalidades que dependerán de los rangos mostrados en la tabla 6. En el ANEXO C se presentan las líneas de código y las librerías utilizadas para el desarrollo del diagrama de flujo

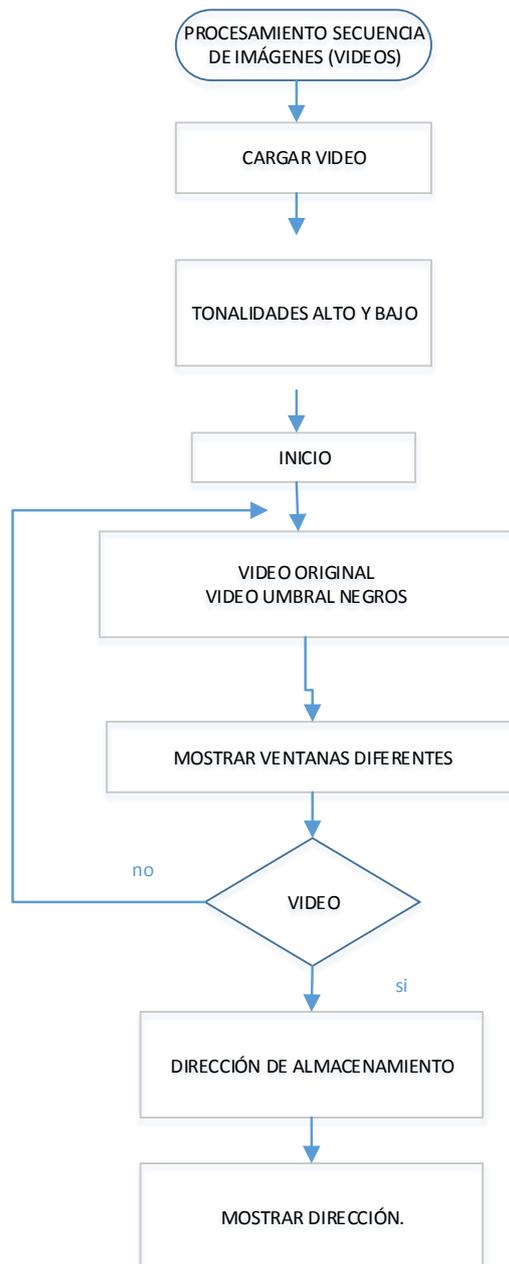


Figura 42: Diagrama de flujo procesamiento de videos (secuencia de imágenes)

En la figura 43 se puede ver el desarrollo de la ventana para el procesamiento de los videos que se lo realiza a partir del diagrama e flujo.

En la opción de videos podemos realizar.

- El filtrado de videos con OpenCV.

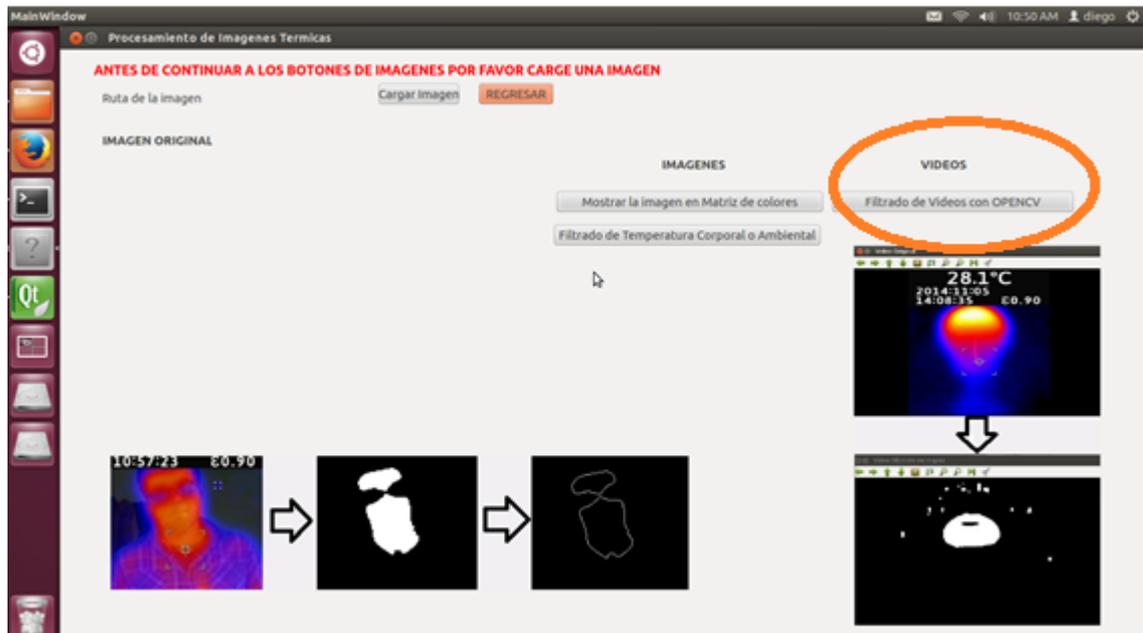


Figura 43: Ventana procesamiento de videos (secuencia de imágenes).

CAPÍTULO III

3. PRUEBAS Y RESULTADOS

3.1. Generalidades.

En este capítulo se describen las pruebas realizadas para determinar la eficiencia de la cámara termográfica. Las distintas pruebas se realizan en objetos diferentes con el fin de comprobar el funcionamiento de la cámara y comprobar el desempeño de los algoritmos implementados.

Se analiza el comportamiento del diseño y la implementación de los algoritmos realizados en la programación, para ser utilizados en el procesamiento de imágenes térmicas para futuras investigaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE Extensión Latacunga.

3.2. Pruebas realizadas procesamiento de imágenes térmicas.

Para ingresar al sistema se usa dos opciones: una para imágenes y una para videos. Al realizar la adquisición de la imagen y cargar el archivo bmp a los programas desarrollados en el proyecto se podrá realizar algunas etapas de preprocesamiento tanto para imágenes térmicas y videos (secuencia de imágenes) en donde se eliminan aspectos tales como: píxeles defectuosos y patrones fijos de ruido

La Figura 44 muestra el botón de ingreso para el procesamiento de imágenes y videos (secuencia de videos).



Figura 44: Ingreso procesamiento de imágenes y videos.

La figura 45 se muestra el ingreso a las ventanas adicionales para continuar con el procesamiento de las imágenes térmicas y videos teniendo en cuenta que para su adquisición se trabajará con la cámara termográfica VT04 para poder realizar las mediciones de temperatura.

3.3. Procesamiento de imágenes.

Las pruebas de procesamiento de imágenes se las realizaron utilizando algunos objetos de similares características, considerando distintas temperaturas para apreciar la capacidad de la cámara termográfica Fluke VT04 al detectar la radiación infrarroja emitida por los cuerpos bajo análisis.

La figura 45 muestra la forma que es utilizada para cargar la imagen adquirida con la cámara Fluke VT04.

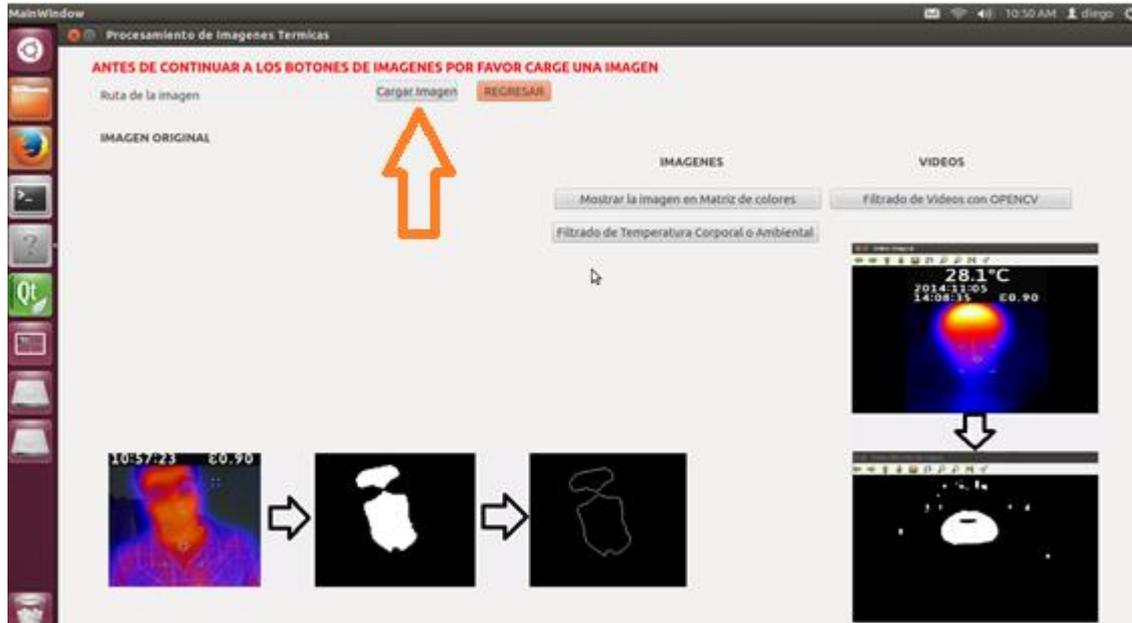


Figura 45: Cargar imágenes térmicas.

Después de realizar la carga de la imagen se podrá realizar el procesamiento de la imagen.

A continuación se presenta algunas imágenes tomadas a objetos en distintas temperaturas, en la figura 46 se muestra las tonalidades que dependerá para realizar el procesamiento de la imagen.

NARANJA:	0-22
AMARILLO:	22-38
VERDE:	38-75
AZUL:	75-130
VIOLETA:	130-160
ROJO:	160-179

Figura 46: Tonalidades

- En la figura 47, muestra la imagen térmica de un vaso de agua congelada sometida a una cierta temperatura y realizado el procesamiento de dicha imagen. Para lo cual se debe tomar en cuenta la tonalidad a trabajar, la cual será de “NARANJA 0 -22” (temperatura ambiente).



Figura 47: a) Imagen térmica vaso de agua congelada b) umbral de negro c) bordes detectados utilizando el algoritmo de Canny.

- La figura 48, muestra una fotografía infrarroja de dos vasos. Un vaso contiene agua caliente mientras que el otro contiene agua fría. La imagen térmica podemos claramente mostrar la brillantez de agua caliente y en forma más oscura el agua fría.

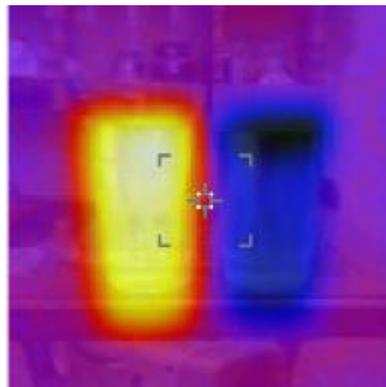


Figura 48: Imagen térmica del vaso de agua caliente y fría.

Al someter las imágenes en referencia al procesamiento digital, con sus respectivas tonalidades “NARANJA 0 – 22” y “AZUL 75 – 130” para el agua caliente y fría respectivamente. En la figura 49, se observa el procesamiento para tonalidad naranja (temperatura ambiente). Mientras que en la figura 50, se observa el procesamiento para tonalidad azul (temperatura fría).

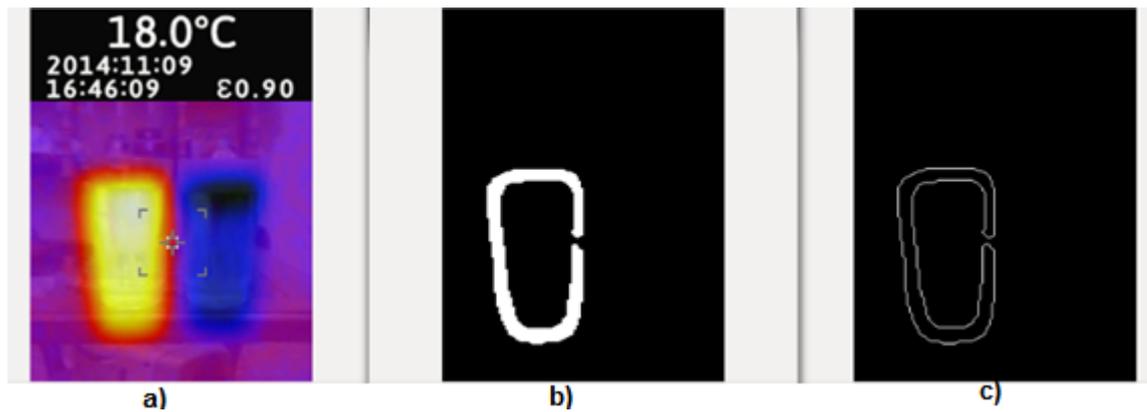


Figura 49: a) Imagen térmica vaso de agua caliente b) umbral de negro c) bordes detectados utilizando el algoritmo de Canny.

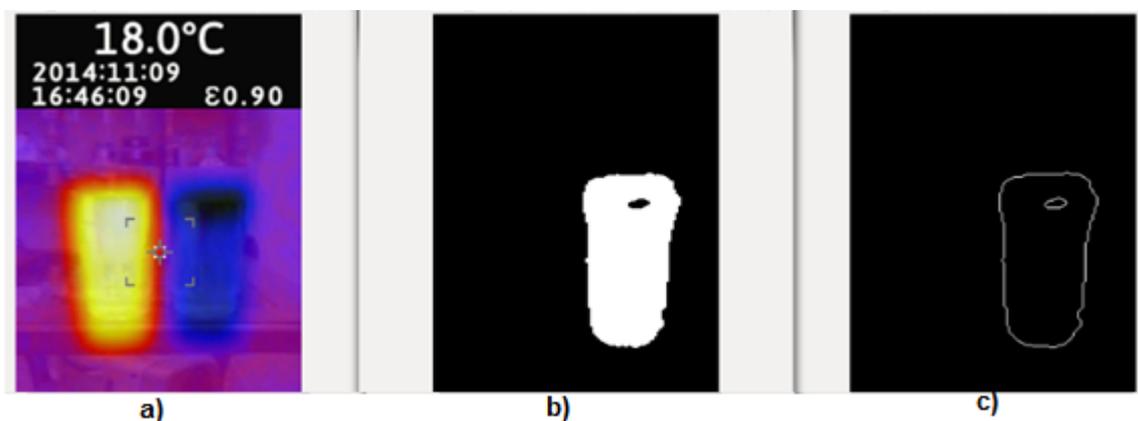


Figura 50: a) Imagen térmica vaso de agua fría b) umbral de negro c) bordes detectados utilizando el algoritmo de Canny.

- En la figura 51 podemos observar la imagen térmica corporal realizando el procesamiento de imagen con el límite de tonalidad respectivo, “AZUL 75 – 130” (temperatura fría), que muestra el frío que existe en el objeto.



Figura 51: a) Imagen térmica corporal b) umbral de negro c) bordes detectados utilizando el algoritmo de Canny

- En la figura 52 podemos observar la imagen térmica corporal realizando el procesamiento de imagen con el límite de tonalidad respectiva “VIOLETA 130 – 160” (temperatura templada).



Figura 52: a) Imagen térmica corporal b) umbral de negro c) bordes detectados utilizando el algoritmo de Canny.

- En la figura 53, se observa la imagen térmica corporal realizando el procesamiento de imagen con los límites de tonalidades respectivas entre “NARANJA y AMARILLO 0 – 38” (temperatura ambiente y caliente).

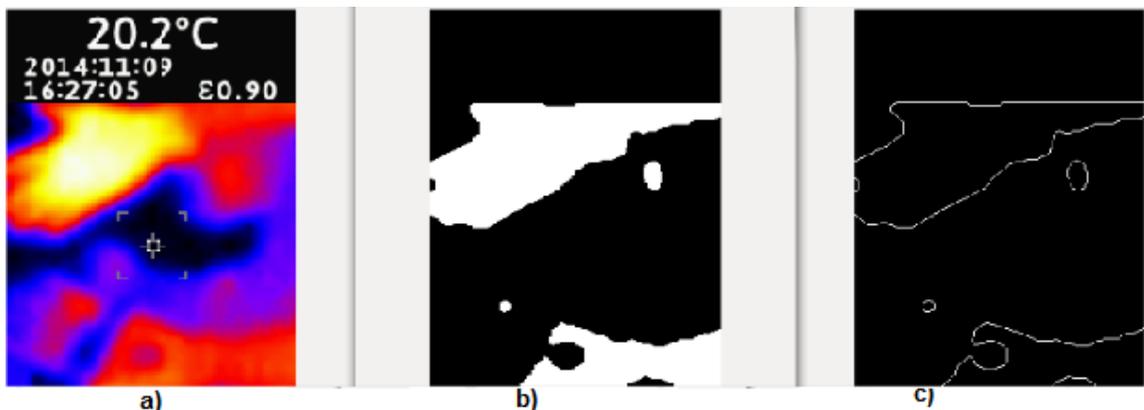


Figura 53: a) Imagen térmica coporal b) umbral de negro c) bordes detectados utilizando el algoritmo de Canny.

- En la figura 54, podemos observar la imagen térmica corporal comparado con la de un objeto (laptop), realizando el procesamiento de imagen con los límites de tonalidades respectivas entre “NARANJA y AMARILLO 0 – 38” (temperatura ambiente y temperatura caliente).

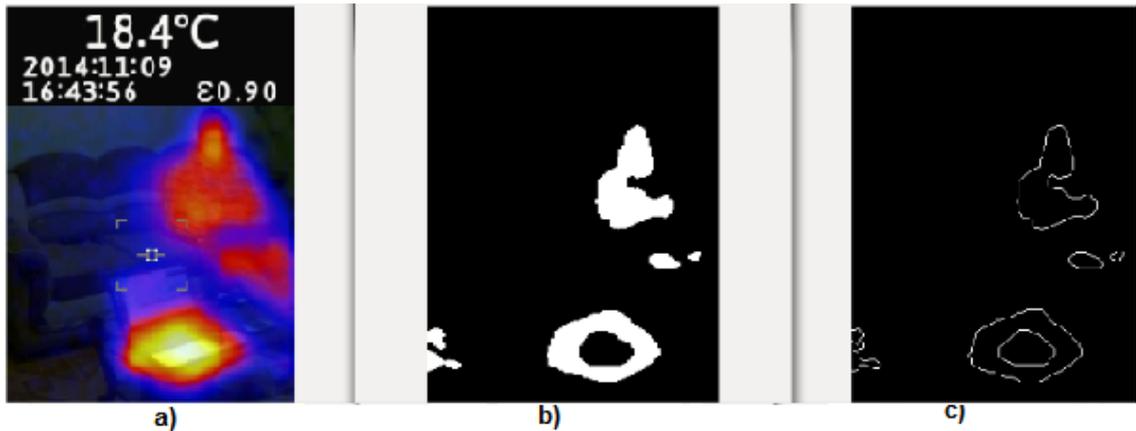


Figura 54: a) Imagen térmica corporal y objeto (laptop) b) umbral de negro c) bordes detectados utilizando el algoritmo de Canny.

- En la figura 55 podemos observar la imagen térmica corporal y de un objeto realizando el procesamiento de imagen con el límite de tonalidad respectivo “NARANJA 0 – 22” (temperatura ambiente).

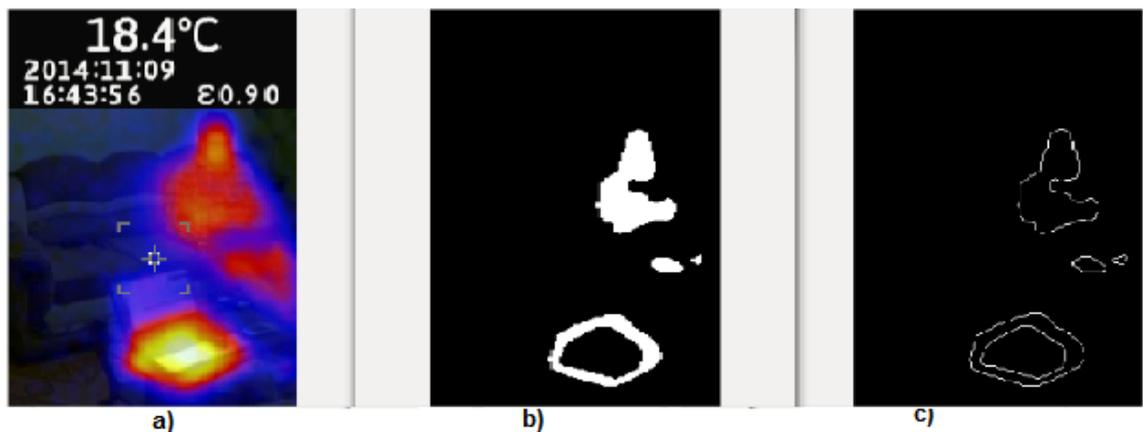


Figura 55: a) Imagen térmica corporal y objeto (laptop) b) umbral de negro c) Bordes detectados utilizando el algoritmo de Canny.

3.4. PROCESAMIENTO DE VIDEOS (Secuencia de imágenes).

Para la elaboración de los videos fue necesaria la utilización de un programa auxiliar como es Movie Maker y con este programa crear la secuencia de imágenes. En la figura 56, muestra la utilización del programa para agregar las respectivas secuencias del comportamiento de la temperatura en el objeto medido con la cámara Fluke VT04.

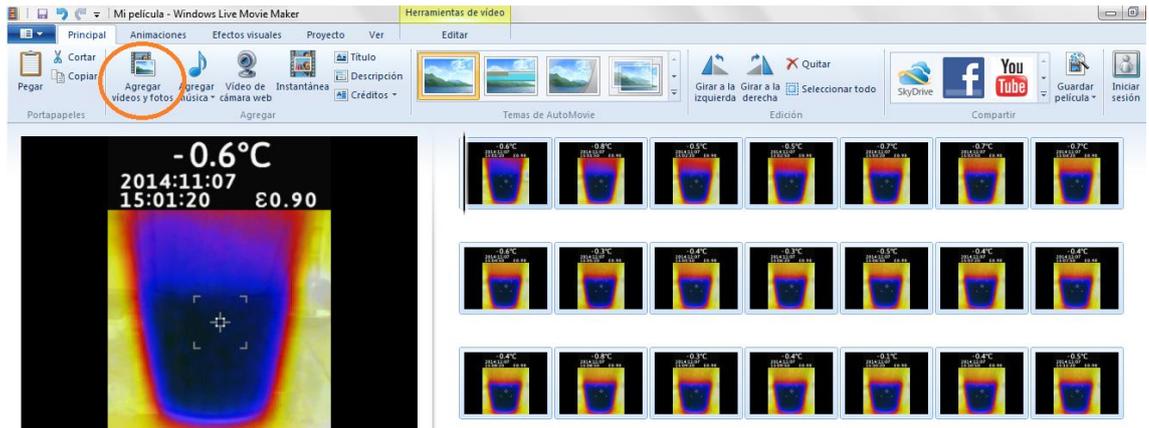


Figura 56: Imágenes colocadas en secuencia para creación de video.

La figura 57, muestra los intervalos de duración para la creación de la secuencia de imágenes.



Figura 57: Editar la duración (1 segundo).

Después de realizar la secuencia de video y cargar al mismo es necesario tomar en cuenta las condiciones de tonalidades mínima y máxima (Hmin y Hmax). La cual se presentan en la figura 58.

TONALIDADES HMIN-HMAX	
NARANJA:	0-22
AMARILLO:	22-38
VERDE:	38-75
AZUL:	75-130
VIOLETA:	130-160
ROJO:	160-179

Figura 58: Condiciones de tonalidades Hmin y Hmax.

Tomando en consideración los campos que se presentan en la figura 59, debe ingresar las tonalidades elegidas para el filtrado de tonalidad, saturación, valor (HSV).

BAJO H	<input type="text" value="0"/>	BAJO S	<input type="text" value="0"/>	BAJO V	<input type="text" value="0"/>
ALTO H	<input type="text" value="0"/>	ALTO S	<input type="text" value="255"/>	ALTO V	<input type="text" value="255"/>

Figura 59: Ingreso de tonalidad seleccionados HSV.

- En la secuencia de imágenes presentada en la figura 60(a-o), se muestra el procesamiento de video que realiza el programa, cuando se quiere filtrar los colores “AMARILLOS y NARANJAS 0 – 38” (temperatura caliente y temperatura ambiente). Se observa el derretimiento del hielo de un vaso plástico colocado sobre agua caliente.

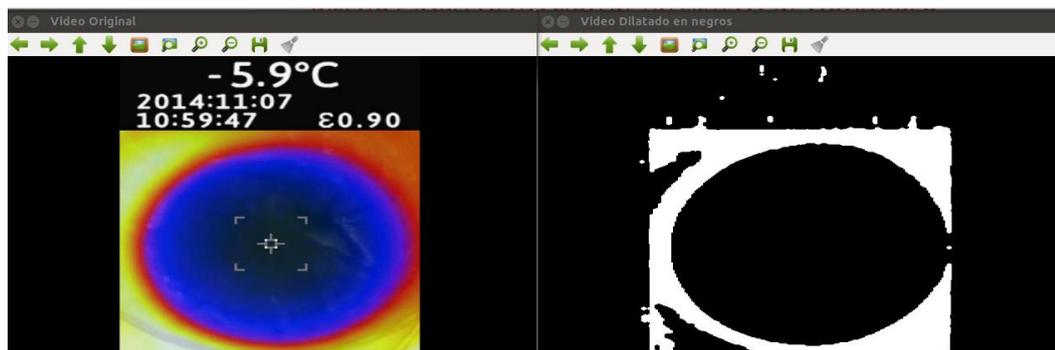


Figura 60.a: Video (Secuencia de un vaso con hielo al descongelarse)

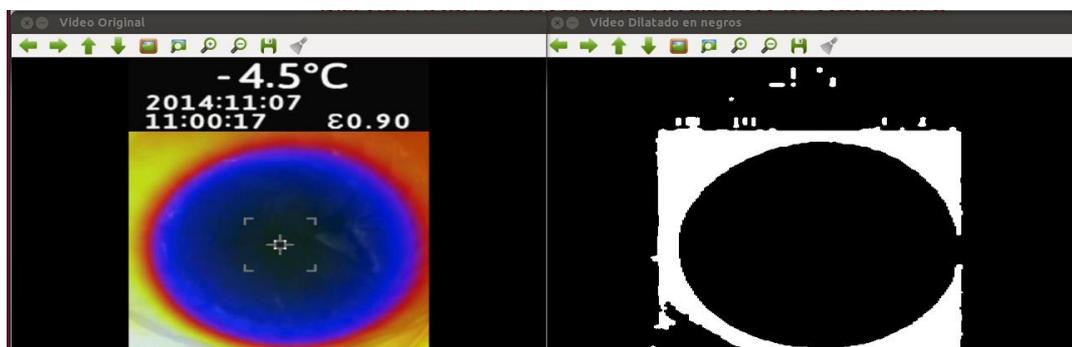


Figura 61.b: Video (Secuencia de un vaso con hielo al descongelarse)

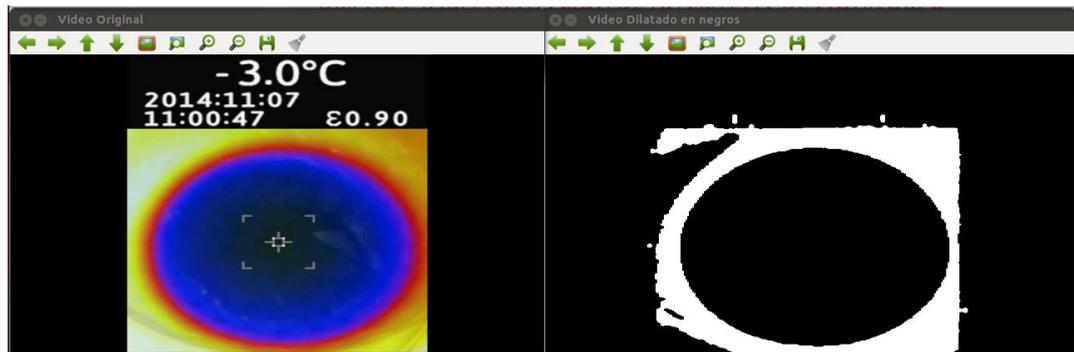


Figura 620.c: Video (Secuencia de un vaso con hielo al descongelarse)

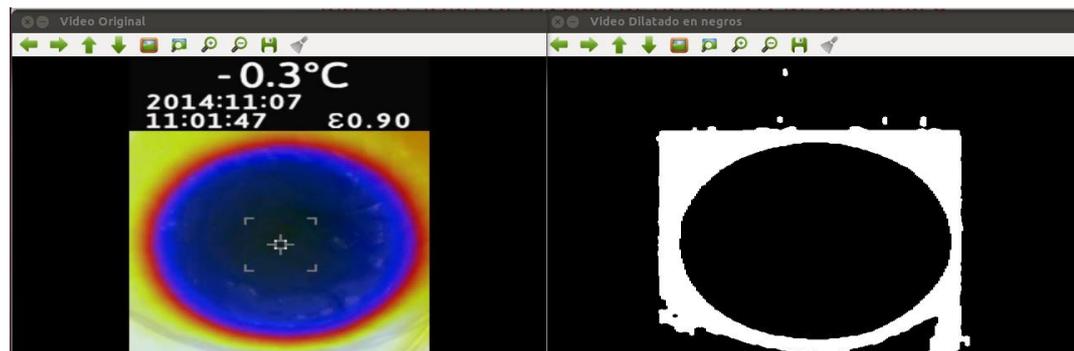


Figura 63.d: Video (Secuencia de un vaso con hielo al descongelarse).

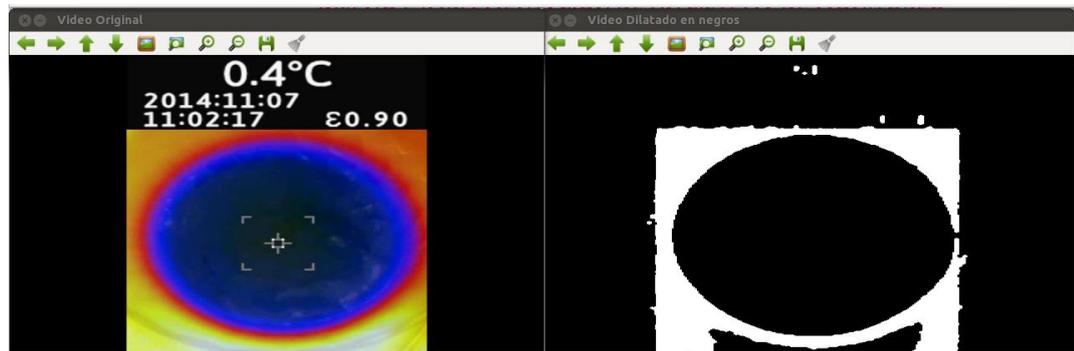


Figura 64.e: Video (Secuencia de un vaso con hielo al descongelarse)

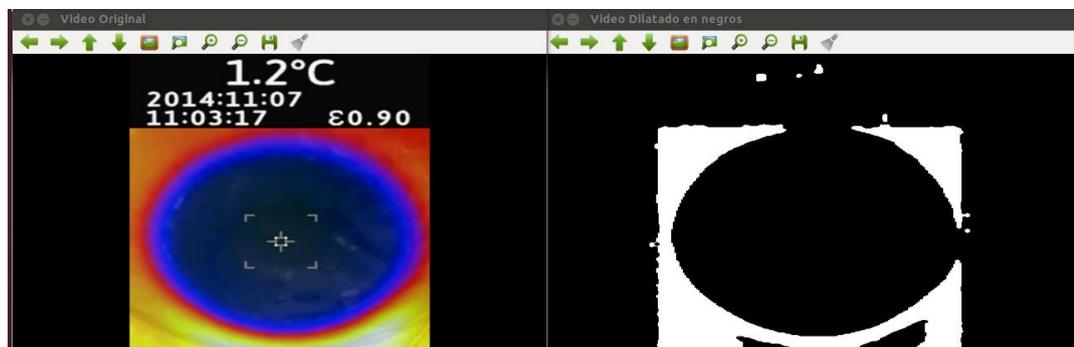


Figura 65.f: Video (Secuencia de un vaso con hielo al descongelarse)

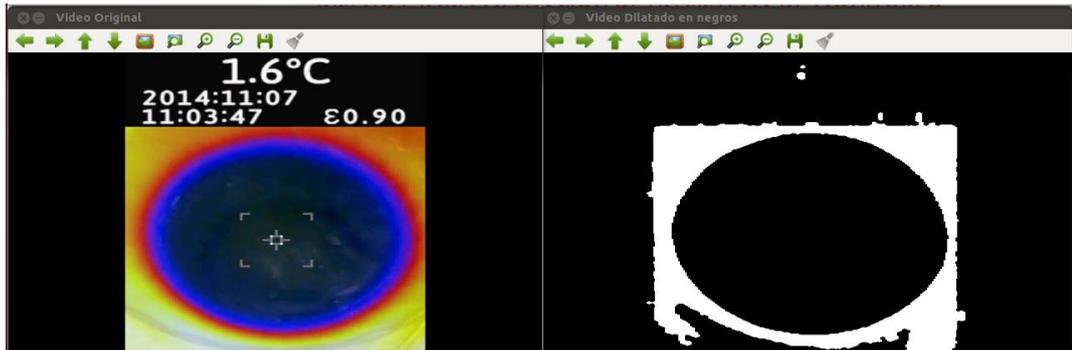


Figura 66: Video (Secuencia de un vaso con hielo al descongelarse)

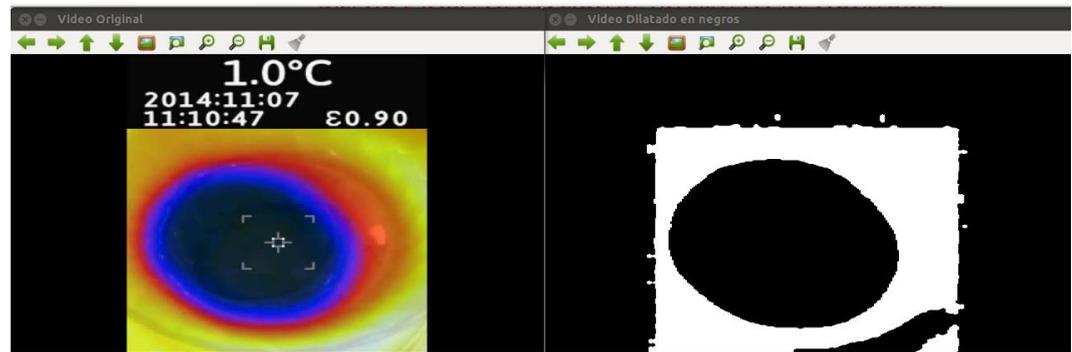


Figura 67: Video (Secuencia de un vaso con hielo al descongelarse)

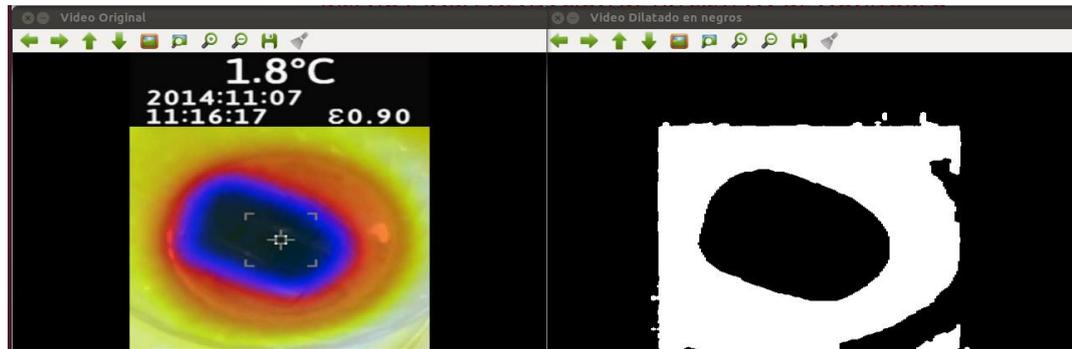


Figura 68: Video (Secuencia de un vaso con hielo al descongelarse)

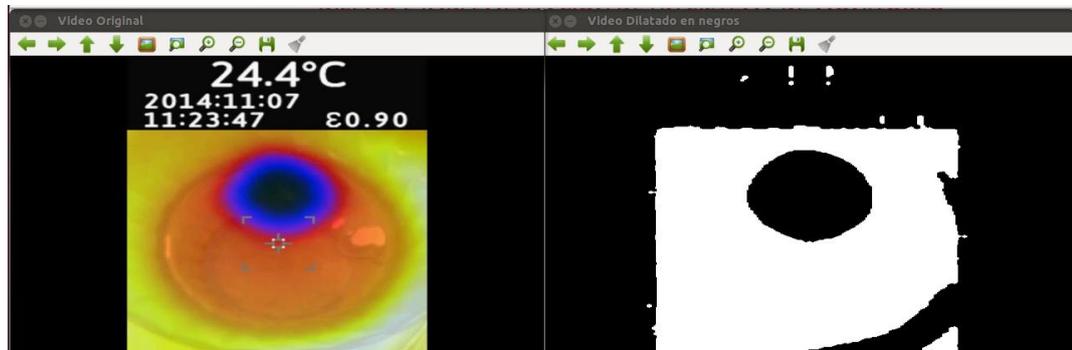


Figura 69: Video (Secuencia de un vaso con hielo al descongelarse)

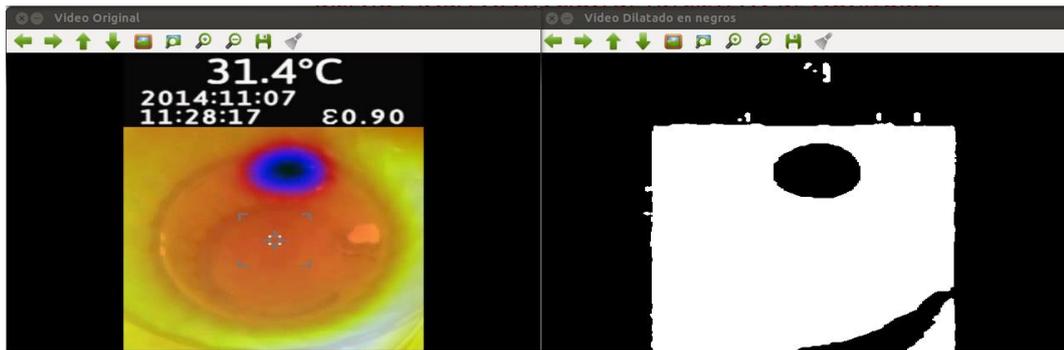


Figura 70: Video (Secuencia de un vaso con hielo al descongelarse)

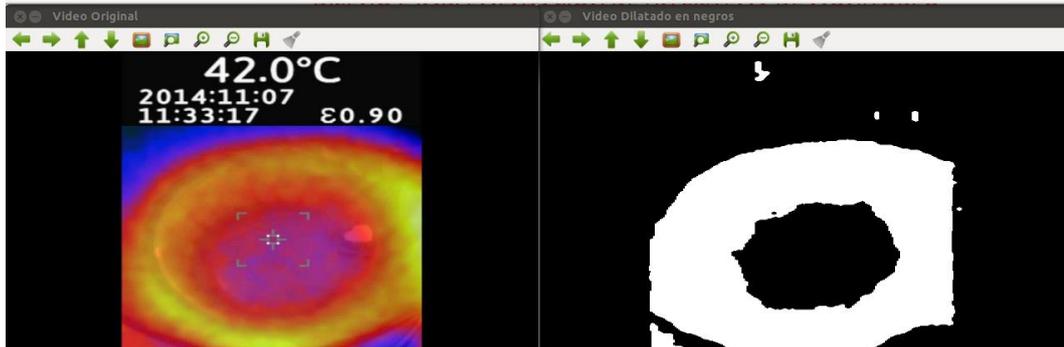


Figura 71: Video (Secuencia de un vaso con hielo al descongelarse)

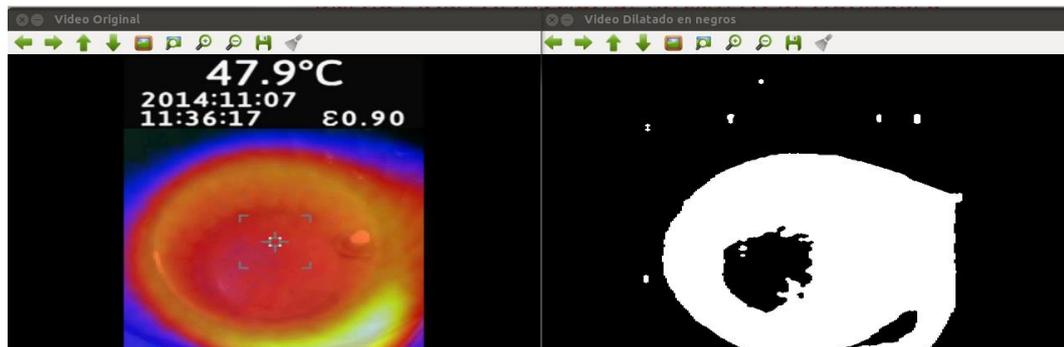


Figura 72: Video (Secuencia de un vaso con hielo al descongelarse)

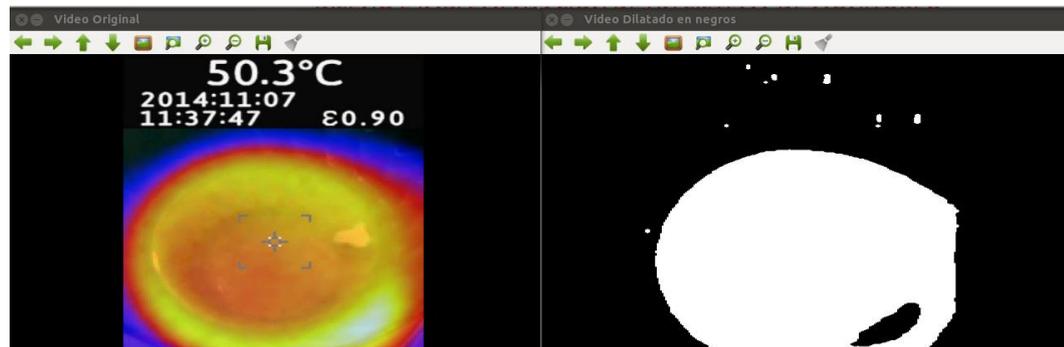


Figura 73: Video (Secuencia de un vaso con hielo al descongelarse)

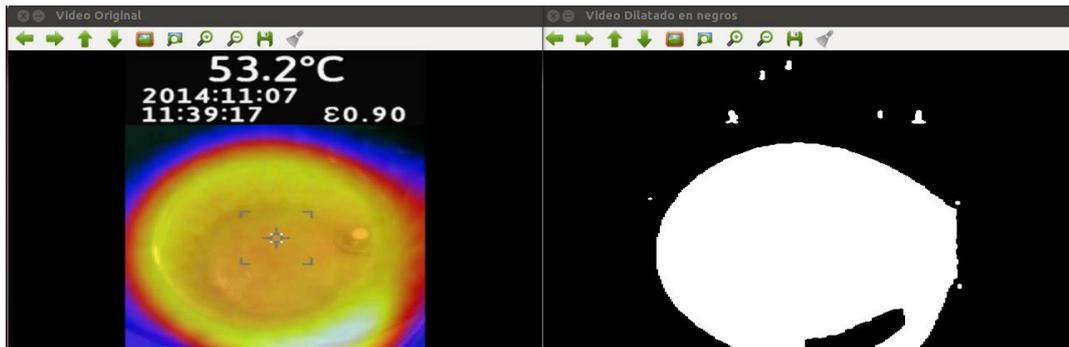


Figura 74: Video (Secuencia de un vaso con hielo al descongelarse)

- En la secuencia de imágenes de la figura 61(a-h), se muestra el procesamiento de video que realiza el programa, cuando se quiere filtrar los colores “AZUL y VIOLETA 75 – 160” (temperatura fría y temperatura templada). Se observa el derretimiento del hielo de un vaso de cerámica colocado sobre una olla con agua caliente.

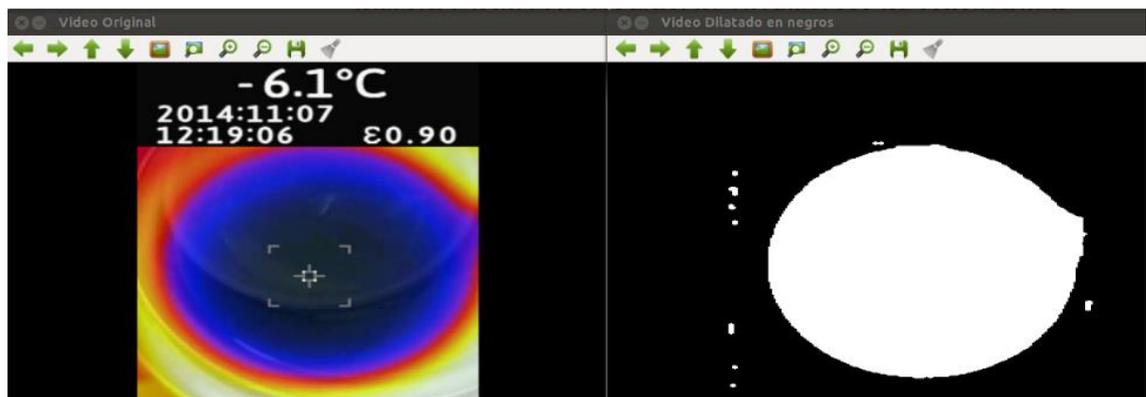


Figura 75: Video (Secuencia de un vaso de cerámica con hielo).

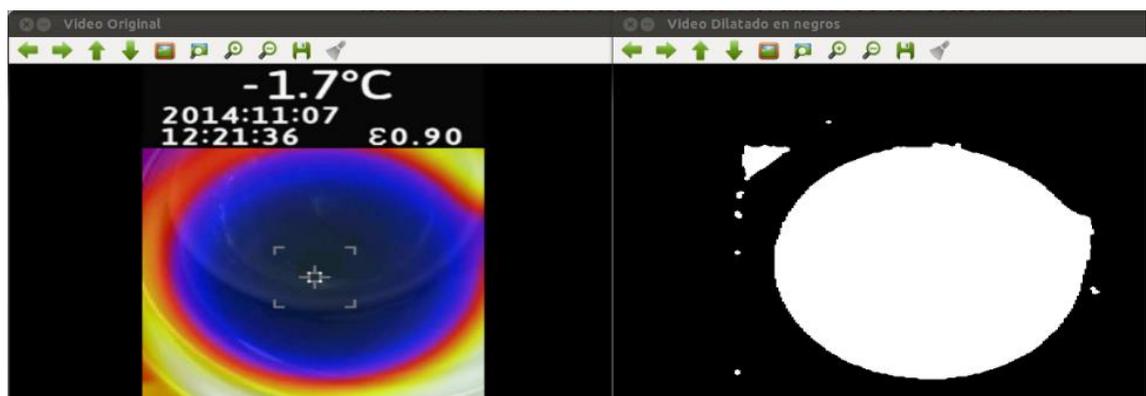


Figura 76: Video (Secuencia de un vaso de cerámica con hielo).

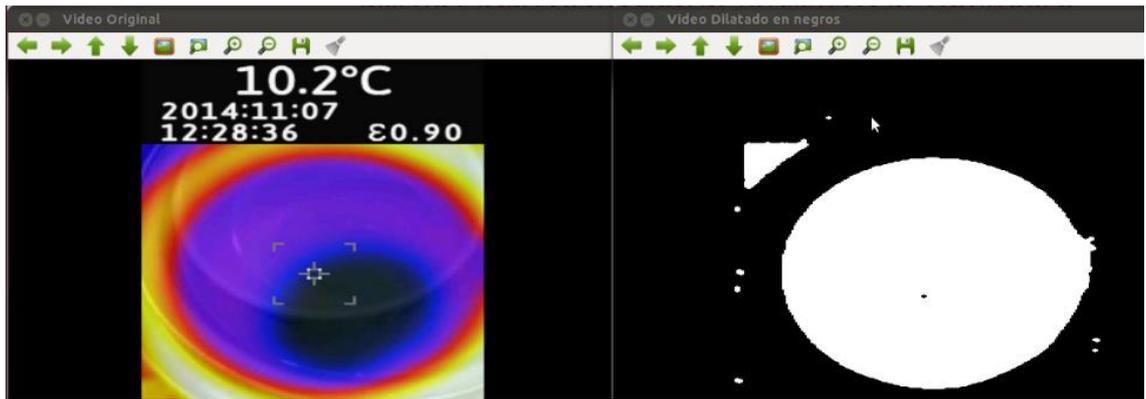


Figura 77: Video (Secuencia de un vaso de cerámica con hielo).

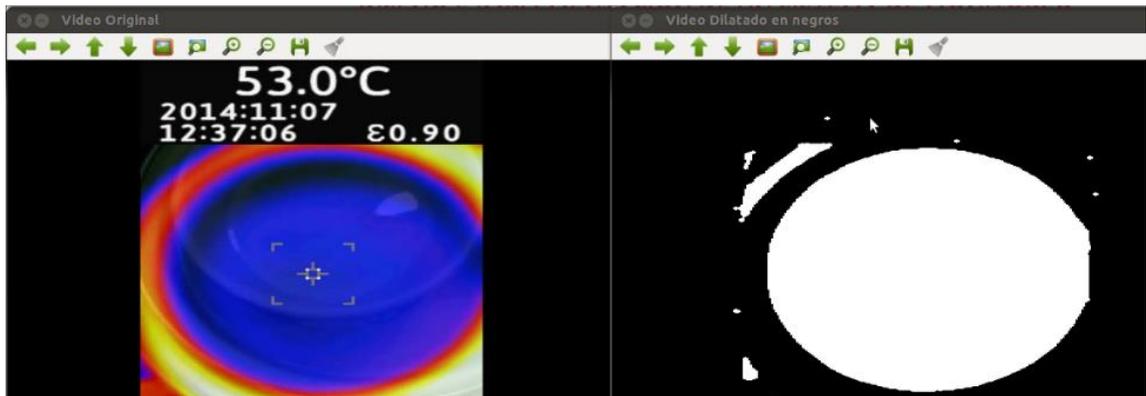


Figura 78: Video (Secuencia de un vaso de cerámica con hielo).

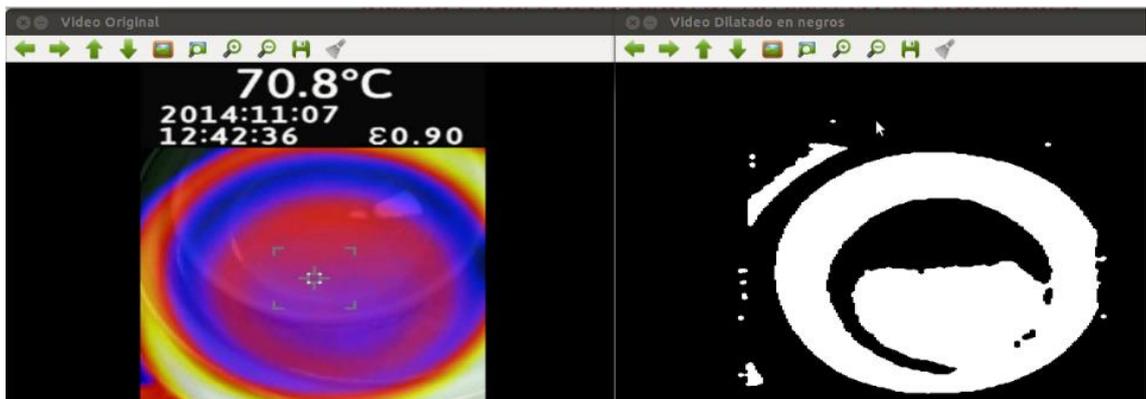


Figura 79: Video (Secuencia de un vaso de cerámica con hielo).

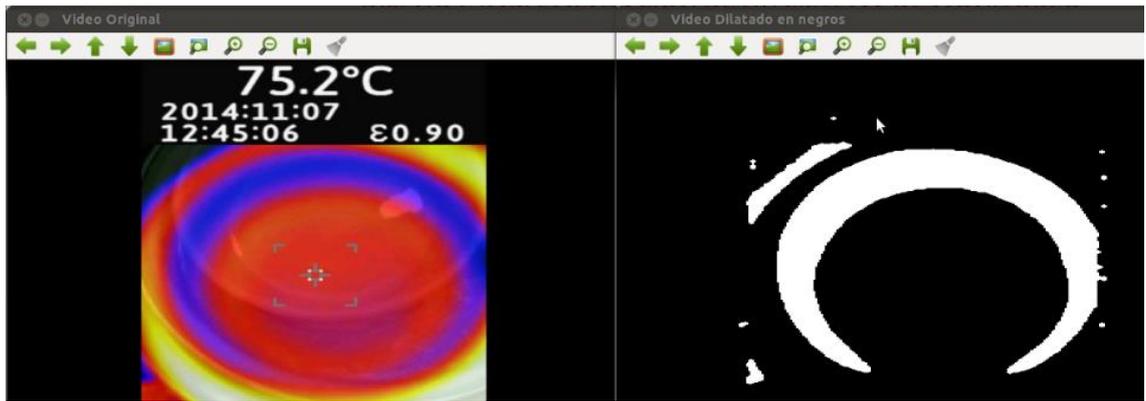


Figura 80: Video (Secuencia de un vaso de cerámica con hielo).

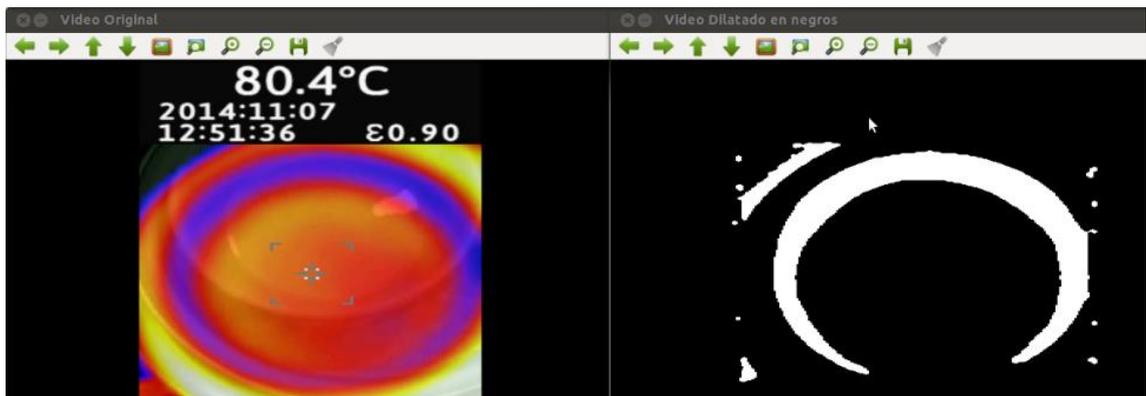


Figura 81: Video (Secuencia de un vaso de cerámica con hielo)

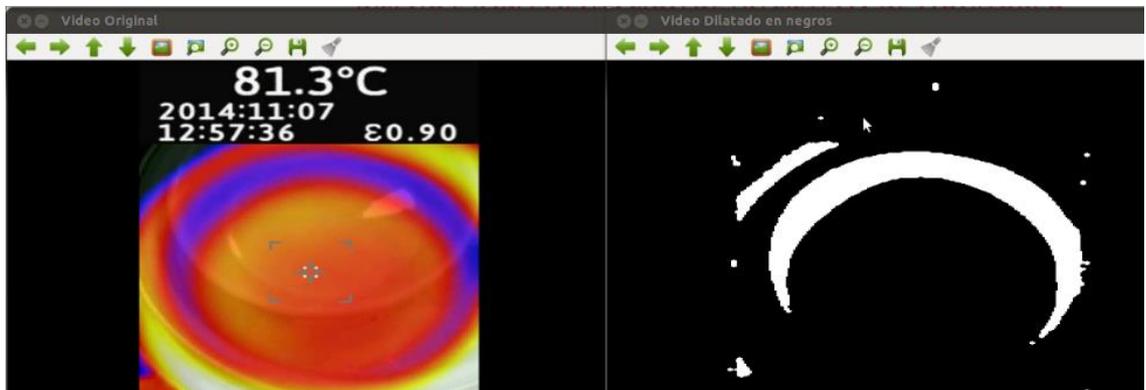


Figura 82: Video (Secuencia de un vaso de cerámica con hielo).

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones.

- Se cumplió con el objetivo principal del proyecto, el cual consiste en el diseño e implementación de un sistema de monitoreo de temperatura corporal y ambiental aplicando procesamiento de imágenes térmicas utilizando software libre OpenCV
- Con la implementación del proyecto se logró verificar la hipótesis, ya que se implementó un sistema que permite medir cualitativamente la temperatura corporal y ambiental, con el uso de una cámara termográfica que tiene software propio y también que tiene prestación para el software libre. Por la limitación de la cámara no se logró realizar la medida cuantitativa de la temperatura, sin embargo queda una guía y un apoyo para futuras investigaciones con cámaras con mayores prestaciones.
- A pesar de su alto costo de la cámara termográfica ofrece una gran cantidad de ventajas para futuras investigaciones como prevenir el sobrecalentamiento de equipos electrónicos y realizar un mantenimiento preventivo.
- OpenCV es un conjunto de librerías que puede ser adaptada y acoplada a varios lenguajes de programación, en el desarrollo del proyecto se utilizó librerías específicas para el procesamiento de imágenes como son: imgproc, highgui, core y calib3d.
- Opencv es una poderosa herramienta en el procesamiento de imágenes y videos, permite cargar la imagen o video en su matriz de colores RGB, transformar cada pixel en diferentes extensiones como lo son en negros, en HSV (HUE, SATURATION, VALUE), en

grayscale. También permite mostrar la imagen en ventanas propias de OpenCV.

- Al correr bajo una plataforma de Open Source como lo es Ubuntu, la facilidad de encontrar programas que permitan la operatividad y fusión con OpenCV es amplia. Como ejemplo el uso de Qt Creator, uno de los programas de desarrollo de GUI (Interfaz Gráfica de Usuario) más simples y usado con mayor frecuencia por los programadores de C, C++, Java, Android.
- Qt creator es de fácil implementación de código que corre bajo la plataforma básica de C++, hace que este programa pueda ser utilizado por programadores de mínimo, medio o alto nivel de conocimiento.
- Se ha comprobado la viabilidad del uso de las librerías gráficas Qt Creator como una herramienta de desarrollo potente y versátil para la realización de interfaces grafica de usuario GUI.
- El formato de imagen HSV, es una gran herramienta para el procesamiento de imágenes térmicas ya que permite la conversión de cada pixel de valores RGB (RED, GREEN, BLUE), a valores de HSV obteniendo así un pixel de tonalidad simple que puede estar presentada en rojo, naranja, amarillo, verde, azul o violeta, haciendo de esta manera más fácil el filtrado de un espectro de temperatura.
- Al realizar el procesamiento de imágenes térmicas se verifico que el filtro de Canny es uno de los mejores métodos para la detección de contornos.
- La cámara VT-04 permite seis formas de visualizar el espectro térmico, las primera en formato de grises (Negro representa baja temperatura, blanco representa alta temperatura), la segunda aunque

también en formato de grises (Blanco representa baja temperatura, negro representa alta temperatura), La tercera, cuarta y quinta forma están dadas en formatos multicolores (azul para bajos valores de temperatura, y amarillo para altas temperaturas) y la sexta en un formato de espectro de rojos (el rojo granate representa la temperatura baja y el rojo carmesí representa la temperatura más alta).

- Al desarrollar un video sobre imágenes térmicas se utilizó la configuración de captura por intervalos de tiempo de la cámara Fluke Vt04 la cual ayudo a la creación de imágenes por secuencia y analizar que sucede con la temperatura del objeto en los lapsos de tiempo ingresados.

4.2. Recomendaciones.

- Para realizar el diseño y la implementación de un algoritmo, se debe hacer un previo análisis utilizando diagramas de flujo de las diversas funciones que tendrá el programa.
- Para realizar la programación de un algoritmo es necesario tomar en cuenta las adaptaciones ya que para cada librería y lenguaje de programación es necesario llamar a las librerías en base al funcionamiento de cada uno de ellos.
- Para el procesamiento de las imágenes térmicas se debe tomar en cuenta algunas operaciones de transformación de RGB a HSV para el tratamiento de imágenes en Tonalidades (HUE), saturación (Saturation) y valor (Value).
- Para el desarrollo de cualquier tipo de programación guiarse en tutoriales, libros, artículos, revistas que estén desarrollados en inglés

y facilitara un trabajo fácil y rápido ya que algunas limitantes se encuentran en tutoriales en español.

- Es necesario tener en cuenta para próximas investigaciones si se las realiza con instrumentos de medida como las cámaras térmicas se recomienda ingresar a las páginas web de acuerdo a las marcas de dichas cámaras, ya que se podrían presentar actualizaciones de firmware que podrían traer beneficios para el manejo y el funcionamiento de las cámaras.
- Hay que tener en cuenta la emisividad de la cámara, ya que de este parámetro se basa la lectura y medición de temperatura; En la cámara VT-04 se puede escoger entre una emisividad de 0 a 1, la recomendada por el fabricante es de 0.9 para este tipo de cámaras.
- Se debe tener en cuenta que como en todo programa de C++ que se va a desarrollar es necesario incluir las librerías a utilizar, OpenCV al ser una librería de C++ no es la excepción, por lo tanto siempre se debe declarar la librería que se va utilizar (`#include </usr/local/include/opencv2/highgui/highgui.hpp>,imgproc.hpp, core.hpp, calib3d.hpp`).
- Es recomendable que si se va a instalar Ubuntu o cualquier software libre, esta instalación se lo haga en lenguaje inglés, ya que es bueno familiarizarse con este idioma, puesto que la mayoría de tutoriales o artículos científicos están realizados en inglés.
- Es necesario si se trabajar con la configuración de captura por intervalos de tiempo se los realicé con objetos fijos con lo que podremos analizar de mejor manera el cambio de temperatura que ocurre y procesar de mejor manera la imagen en el sistema (OpenCV)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] W. R. E. A. W. R. C. González, Digital Image Processing, London: Taylor & Francis Group, 1993..
- [2] A. Gramajo, «Téoria del Color,» 1 Junio 2015. [En línea]. Available: http://mcteoriacolor.blogspot.com/2015_06_01_archive.html. [Último acceso: 13 10 2015].
- [3] D. R. Wainschenke, «Procesamiento digital de imagen,» Optativa Área Procesamiento de señales, 2001.
- [4] L. E. P. Maestre, Fundamentos de procesamiento de imágenes, Universidad de Baja California: Universitaria, 2005.
- [5] O. Estrada, «Espectro electromagnético,» [En línea]. Available: http://www.espectrometria.com/espectro_electromagntico. [Último acceso: 13 10 2015].
- [6] L. Y. N. Duarte, Principios basicos de la termografía Infrarroja y su utilización como tecnica para mantenimiento predictivo, Universidad pontificia Bolivariana, 2001.
- [7] F. Corporation, «Termómetro visual de infrarrojos Fluke VT04,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.fluke.com/fluke/eces/termometros/termometros-por-infrarrojos/fluke-vt04.htm?pid=77085>. [Último acceso: 13 10 2015].
- [8] S. B. E. M. G. García, «Reconocimiento de objetos a partir de imágenes termográficas,» 27 9 2012. [En línea]. Available: http://oa.upm.es/14013/1/PFC_SARA_BILBAO_EGUREN.pdf. [Último acceso: 13 10 2015].
- [9] E. O. P. R. Lidia Yaneth Neita Duarte, Principios básicos de la termografía infrarroja, Universidad Bolivariana, 2011.

- [10] T. y. s. Aplicaciones, «Termografía y sus Aplicaciones,» [En línea]. Available: <http://www.nivelatermografia.net/termografia>. [Último acceso: 13 10 2015].
- [11] Elvatron, «NUEVO Termómetro VT04 FLUKE,» [En línea]. Available: <http://electronica.elvatron.com/?p=1699>. [Último acceso: 13 10 2015].
- [12] R. Martinez, «El rincón de Linux,» 1998. [En línea]. Available: <http://www.linux-es.org/>. [Último acceso: 13 10 2015].
- [13] C. Ltd, «Build your cloud strategy with Ubuntu,» [En línea]. Available: <http://www.ubuntu.com/>. [Último acceso: 13 10 2015].
- [14] F. Morozov, «OpenCV,» 2015. [En línea]. Available: <http://opencv.org/>. [Último acceso: 13 10 2015].
- [15] A. K. Gary Bradski, Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library, O'Reilly, 2008.
- [16] S. Brahmhatt, Practical OpenCV, HAND SON PROJECT FOR COMPUTER VISION ON THE WINDOWS, LINUX AND RASPBERRY PI PLATFORMS, 2013, 2013.
- [17] Q. COMPANY, «THE IDE qt creator,» [En línea]. Available: <http://www.qt.io/ide/> . [Último acceso: 13 10 2015].
- [18] D. G. Gutiérrez, Tutorial de Qt4 Designer y QDevelop, 2008.
- [19] F. Corporation, «Manual Cámara Fluke VT04,» [En línea]. Available: <http://www.farnell.com/datasheets/1810435.pdf>. [Último acceso: 27 10 2015].
- [20] F. Coporation, «Manual Cámara Fluke VT04,» [En línea]. Available: <http://www.farnell.com/datasheets/1810435.pdf>. [Último acceso: 03 11 2015].

ANEXOS