



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

SEGMENTACIÓN DE COLOR EN IMÁGENES USANDO UNA CÁMARA
TÉRMICA

AUTOR

JORGE HERNAN CISNEROS MONTERO

AÑO

2020



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

SEGMENTACIÓN DE COLOR EN IMÁGENES USANDO UNA CÁMARA
TÉRMICA.

Trabajo de Titulación presentado en conformidad a los requisitos establecidos
para optar por el título de Ingeniero en Electrónica y Redes de Información.

Profesor Guía

MSc. David Fernando Pozo Espín

Autor

Jorge Hernan Cisneros Montero

Año

2020

DECLARACIÓN PROFESOR GUÍA.

“Declaro haber dirigido el trabajo, Segmentación de color en imágenes usando una cámara térmica, a través de reuniones periódicas con el estudiante Jorge Hernan Cisneros Montero, en el semestre 202020, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.



David Fernando Pozo Espín
Máster en Automática y Robótica.
C.I:1717340143

DECLARACIÓN PROFESOR CORRECTOR.

“Declaro haber revisado el trabajo, Segmentación de color en imágenes usando una cámara térmica, del estudiante Jorge Hernan Cisneros Montero, en el semestre 202020, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.



Wilmar Hernández Perdomo
Doctor Ingeniero en Electrónica
CI: 0151721016

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE.

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes”.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Jorge Hernan Cisneros', written over a horizontal line.

Jorge Hernan Cisneros Montero

CI:1723616924

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la vida y mi familia, a mi madre, padre, tía y hermano que son quienes cada día me impulsan a ir hacia adelante. A mis profesores, quienes me guiaron a la consecución de todos mis éxitos y muchos de los cuáles me brindaron su amistad. Por último, a mis amigos y compañeros quienes siempre me brindaron su ayuda dentro y fuera de las aulas.

DEDICATORIA

A Dios, a mi familia, por impulsarme a ser una mejor persona cada día. A mi madre, padre, tía y hermano por apoyarme siempre y a los que me acompañan desde “arriba” y me bendicen siempre permitiéndome lograr mis metas.

RESUMEN

Las cámaras térmicas son dispositivos que fueron desarrollados para actividades militares pero que han ganado espacio en muchos campos de aplicación como la industria, seguridad, salud, etc. Este tipo de artefactos captan la luz infrarroja la cuál es indiscernible para la visión humana y nos permite detectar seres, independientemente del grado de iluminación existente en el medio.

El trabajo de titulación descrito a continuación tiene como finalidad la reconstrucción de una imagen de calor en dos dimensiones, los puntos serán captados con la ayuda de la cámara MLX90640 de Adafruit, con un rango de obtención de temperaturas de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $300\text{ }^{\circ}\text{C}$. El arreglo de 24×32 sensores de temperatura que conforman la cámara seleccionada dan como resultado un arreglo de 768 mediciones infrarrojas de temperatura, las cuales posteriormente al ser graficadas dan origen a la imagen de calor.

El procesamiento de los datos empleando Python, con la ayuda del paquete OpenCV, arroja como resultado una escala de grises. Esta escala nos permite proceder con la segmentación de color, la que dará origen a una imagen segmentada en relación con los límites y contornos establecidos, siendo el objetivo que se desea obtener. Para una mejor interacción con el usuario se implementó una interfaz gráfica, mediante la cual se podrá establecer el parámetro para la temperatura mínima y máxima, además será posible visualizar la referencia del color con la temperatura asociada.

Finalmente, las mismas pueden ser guardadas para su uso en posteriores desarrollos.

ABSTRACT

Thermal cameras are devices that were developed for military activities but have gained space in many fields of application such as industry, security, health, etc. This type of artifacts captures infrared light which is indiscernible for human vision and allows us to detect beings, regardless of the degree of illumination in the environment.

The purpose of the titration work described below is to reconstruct a two-dimensional heat image, the points will be captured with the help of the Adafruit MLX90640 camera, with a temperature collection range of -40°C to 300°C . The array of 24×32 temperature sensors that make up the selected chamber result in an array of 768 infrared temperature measurements, which after being plotted give rise to the heat image.

Processing the data using Python, with the help of the package OpenCV results in grayscale. This scale allows us to proceed with color segmentation, which will give rise to an image segmented in relation to the established limits and contours, the objective to be obtained. For a better interaction with the user, a graphic interface was implemented, through which the parameter for the minimum and maximum temperature can be established, and it will also be possible to display the color reference with the associated temperature.

Finally, they can be saved for use in future developments.

ÍNDICE

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Introducción | 1 |
| | 1.1 Objetivo General | 7 |
| | 1.2 Objetivos específicos | 7 |
| | 1.3 Alcance | 7 |
| | 1.4 Justificación..... | 7 |
| 2 | Marco Teórico | 8 |
| | 2.1 Termografía..... | 8 |
| | 2.2 Imagen | 11 |
| | 2.3 Segmentación | 13 |
| | 2.4 Dispositivos para adquisición y procesamiento | 18 |
| 3 | Desarrollo e Implementación | 22 |
| | 3.1 Selección de software | 22 |
| | 3.2 Desarrollo..... | 24 |
| | 3.2.1 Implementación del sistema | 25 |
| | 3.2.2 Diseño de interfaz | 26 |
| | 3.2.3 Diseño estructural | 29 |
| 4 | Pruebas | 31 |
| | 4.1 Escenario 1 | 31 |
| | 4.2 Escenario 2 | 37 |
| 5 | Conclusiones y Recomendaciones | 44 |

| | |
|--------------------------|-----------|
| 5.1 Conclusiones..... | 44 |
| 5.2 Recomendaciones..... | 44 |
| Referencias | 46 |

1 Introducción

Al hablar de la tecnología de imágenes térmicas años atrás, en la década de los sesenta cuando la primera imagen térmica de una inspección de alto voltaje fue vendida, lo primero que venía a la mente de las personas eran sus posibles aplicaciones militares; hoy en día esto ha cambiado y hablar de dichas herramientas es hablar de diversas aplicaciones, no únicamente en el campo de la Ingeniería, sino que también en diferentes áreas de la ciencia. (Milán et al., 2015) A continuación, se menciona las diferentes ramas donde se evidencia la aplicación de estos dispositivos.

La industria es una de las áreas que ha aprovechado las ventajas que tiene el empleo de estos artefactos; las imágenes térmicas juegan un papel importante en lo que respecta al mantenimiento de equipos electrónicos, ya que permite desarrollar sistemas de detección ante posibles fallos en forma temprana (Robert et al., 2017). Así también, industrias pesadas en las cuales el control de la temperatura tanto del proceso de fabricación como de la maquinaria que interviene son de suma importancia. En aquellas fabricas donde la mayoría de las actividades de producción son automatizados, el mantener un control sobre la maquinaria representa un punto clave en el proceso, no únicamente para garantizar la calidad del producto final sino que también el bienestar de sus empleados (Wong et al., 2009).

Otro sector que requiere precisión y tiene baja tolerancia a los fallos es la industria de la construcción, la segmentación de imágenes de calor hacen posible la temprana identificación de zonas de fallo en diferentes materiales utilizados como el concreto (Abdel-Qader et al., 2008), o a su vez en materiales que requieren un calor uniforme y que la segregación de zonas de calor puede afectar su calidad como lo es el pavimento. Se pueden emplear para llegar a identificar de mejor manera estas zonas y así poder evitarlas. (Song et al., 2009)

La prevención de catástrofes naturales es uno de los objetivos que el hombre siempre ha perseguido, puesto que una detección temprana es fundamental para

la mitigación de los daños que esta puede causar; con esta finalidad las cámaras termográficas son empleadas en la rama de Geología. Desde el 2001 se han empleado técnicas de estudio que se basan en las imágenes emitidas por dichos dispositivos, análisis del Monte Etna, Stromboli, Vulcano y Panarea, han aportado al conocimiento y comprensión del proceso eruptivo de los volcanes (Lodato et al., 2008). La generación de mapas de calor detallados de los lagos de lava, fisuras volcánicas, conductos abiertos, entre otras características, aportan a su entendimiento; la ventaja que brinda el uso de estas tecnologías es que garantiza una visualización mayor de los detalles, esto a razón de que los sensores captan la radiación, mas no únicamente la luz de los cuerpos, a diferencia de una cámara normal.

De igual manera sistemas de seguridad basados en la captación de imágenes térmicas han sido desarrollados. Este tipo de cámaras, a diferencia de las comunes, trabajan bien en lugares de poca luz, teniendo en cuenta que no se basan en captar la luminosidad reflejada por los cuerpos, más bien capta la radiación en forma de calor que el mismo emite, por lo cual hace posible que sujetos sean captados en ausencia de luz (Wong et al., 2009) también se puede ver referida en (Eum et al., 2013).

Un tema de suma importancia es la detección de criminales mediante un mapa de huellas utilizando imágenes infrarrojas (Xu et al., 2020). Basándose en las leyes de la temperatura de Newton se logró estimar el tiempo al cual un sospechoso había abandonado la escena del crimen, esto a la larga aporta de manera significativa para que la policía cuente con más herramientas en la resolución de crímenes.

La agricultura es otra de las ramas que no se ha quedado atrás en el empleo de esta tecnología; en un mundo donde el principal recurso para nuestra sobrevivencia, el agua, se está agotando; la implementación sobre los sembríos de manera óptima y eficiente es uno de los principales cometidos (Martínez et al., 2017), utilizando la segmentación de color en las imágenes térmicas se logró analizar y determinar zonas en los cultivos en las cuales el agua era escasa.

Generalmente hablando, los cultivos requieren de: control de temperatura, monitoreo de la maduración de la fruta, la identificación de cuerpos extraños en las plantas, el análisis de agentes patógenos, entre otros puntos, y que a su vez estos sean lo mínimamente invasivos posibles; esto se ha logrado con técnicas que incluyen imágenes térmicas del medio. (Vadivambal & Jayas, 2011)

La apicultura ha llegado a ser beneficiada con el empleo de estos artículos, un ejemplo de esto en la detección de producto que puede estar adulterado, mediante la obtención de imágenes infrarrojas (Izquierdo et al., 2020).

Adicional, en el ámbito de la salud y medicina este tipo de tecnología ha tenido una gran acogida, esto a consecuencia de las múltiples detecciones de enfermedades que se puede realizar, incluso se puede decir que se podría llegar a aplicar para el diagnóstico temprano de enfermedades graves como el cáncer (Ekici & Jawzal, 2020). Este método posee la prelación de no ser invasivo y ser sin contacto, a su vez que permite un diagnóstico temprano. La aparición de tumores también es un mal que en varias ocasiones es difícil detectarlo, pero que a su vez una temprana identificación es de suma importancia para tener un tratamiento oportuno; para este diagnóstico las cámaras térmicas son de gran ayuda. (Umadevi et al., 2011).

Cabe recalcar que, debido a los acontecimientos de estos últimos meses, como es la aparición de un virus, este tipo de imágenes podría ser la respuesta para un diagnóstico oportuno de patologías como lo son el COVID19, en (Abdulrazaq et al., 2020) nos propone que por medio de un casco que ayudaría a evitar el contacto con la persona potencialmente infectada, permitiría su diagnóstico rápido tratando así de disminuir el esparcimiento del virus. Además, existen aplicaciones de la termografía en la detección del SARS como se ve en (Wang et al., 2004)

El procesamiento de imágenes comprende diferentes métodos aplicables a imágenes digitales con la finalidad de perfeccionarlas o a su vez de perfeccionar el análisis de datos obtenidos a partir de los mismos, razón por la cual estos

procedimientos han sido perfeccionados a lo largo del tiempo mediante diferentes algoritmos capaces de sintetizar la imagen de forma más rápida y precisa, para de esta manera utilizar este conjunto de técnicas en diferentes ramas de la ciencia como la medicina, la geología entre otras. En este apartado haremos referencia a algunas de ellas que se han considerado relevantes entre ellos trabajos presentados en la Universidad de las Américas.

La medicina ha tomado gran ventaja de estos procedimientos, de tal manera que la detección de enfermedades de riesgo como el cáncer, por ejemplo, puede realizarse de manera más eficiente, el cáncer de piel es uno de ellos, mismo que utilizando un método de análisis de imágenes de la piel que se cree afectada, (en este caso lunares o manchas) se compara el mismo con parámetros del modelo estándar ABCD del melanoma. (Márquez Díaz, 2020) Hoy en día uno de los temas más controversiales es la referente al virus COVID-19, un tema en el cual la detección oportuna y a bajo costo es crucial cuando se trata de salvar vidas, en base a esta necesidad, empleando el algoritmo llamado "*improved marine predators algorithm (IMPA)*" junto con "*Ranking-Based Diversity Reduction Strategy*" (que ayuda a un desempeño mucho más rápido) se ha llevado a cabo el análisis de imágenes resultantes de estudios de rayos x provenientes de pacientes portadores del virus, en el cual se puede apreciar que el virus al atacar a los pulmones provoca opacidades en su superficie, con una morfología redondeada y generalmente ubicados en la zona periférica del órgano. (Abdel-Basset et al., 2020)

Por otro lado, el poder identificar anomalías en el cuerpo humano, sobre todo en el interior, mediante la visualización de los órganos siempre ha sido del interés del hombre, es así que se ha desarrollado técnicas como visión Rayos X, ecografías, resonancias, sin embargo, es necesario una correcta interpretación de las imágenes que se llegan a obtener. Debido a lo cual se realizan investigaciones en las cuales se utiliza la segmentación de imagen para poder realizar detección de anomalías, un ejemplo de ellos es el análisis de imágenes 3D del corazón, mediante una metodología mejorada que se conoce como "*Anatomically Constrained Neural Networks (ACNNs)*". (Oktay et al., 2018)

Existen diferentes tipos de proyectos que toman ventaja de este método de segmentación para ayudar al ser humano y a la ciencia en general, por ejemplo, se ha logrado desarrollar sistemas en la Universidad de las Américas que, basándose en el seguimiento facial y mapeo del eje de los ojos, son capaces de procesar la imagen del rostro y generar una alerta para el conductor en caso de que el mismo presente somnolencia. (Revelo Rosero, 2019) Tiempo atrás el pensar que un dispositivo electrónico sería capaz de reconocer la cara, así como sus gestos resultaba casi imposible, sin embargo, hoy en día es una realidad, y la misma se ha ido mejorando año tras año; inclusive han sido implementados en los dispositivos de uso cotidiano como smartphones. Sin embargo, la verdadera ciencia detrás de todo esto es en sí el procesamiento de imágenes ya que sin ello resultaría imposible; incluso los vehículos aéreos no tripulados, las expediciones al espacio no serían posibles, ya que utilizan estos sistemas para tener la habilidad de captar datos de zonas específicas inclusive en tiempo real. (Gordillo Gordillo & Nacimba Coello, 2016) Al mismo tiempo esta tecnología se ha incorporado en la seguridad industrial, pasando a formar parte importante del proceso de detección de errores que puedan llegar a afectar la producción, pueden ser aplicados a sistemas de detección de posibles anomalías en estructuras que requieren alto cuidado, o incluso para clasificación de elementos de la estructura por su color, peso, medida; por caso se puede tomar el ejemplo de la clasificación de tubos utilizados en el embasamiento de GLP (gas licuado de petróleo). (Albuja Rivilla, 2020)

El mejoramiento de este tipo de algoritmos que facilitan la segmentación de imágenes va mucho más allá que la aplicación para un diagnóstico médico; por ejemplo, ha sido aplicada a imágenes obtenidas desde satélites lo cual resulta de suma importancia ya que se logra extraer gran cantidad de datos a partir de ellas, donde mediante la aplicación del método "*New Fuzzy Centroid Cluster*". Mediante el cual el proceso de clasificación de datos o clusterización se realiza de mejor manera. (Mantilla Santa Cruz, 2018) Encontrar una mejora en este proceso resulta muy importante ya que mientras mejor se pueda realizar la clasificación de los datos, mayores serán los detalles que se puedan diferenciar

a partir de la imagen. Como el caso del ultrasonido; este procedimiento es muy utilizado por su bajo costo y se emplea en diferentes áreas pero principalmente en la salud, en el área de diagnóstico y control, a pesar de que las imágenes que se llegan a obtener se ven altamente afectadas por el paso a través de los tejidos biológicos; a pesar de que existen segmentaciones en este proceso que se hacen a mano poco a poco se han desarrollado diferentes tipos de segmentación como por ejemplo: técnicas híbridas, técnicas de umbralización, métodos basados en regiones y métodos basados en contornos. (Castrillo Leal, 2017)

Sin duda alguna un tema que se encuentra hoy en auge y en desarrollo es la inteligencia artificial y junto con ello la visión artificial; campos de estudio en los cuales la fragmentación de datos es de suma importancia cuando de aumentar la precisión se trata. Esta precisión se ve afectada dependiendo el entorno que se analiza, por ejemplo, cuando los detalles en el medio son muy parecidos es difícil distinguir minuciosamente cada uno de sus detalles, razón por la cual en la actualidad diferentes en varias investigaciones lo que se busca es la mejora de métodos ya planteados, ya sea para disminuir el tiempo de ejecución, disminuir el uso de recursos o mejorar la especificación de los detalles. (Li et al., 2018)

En resumen, la segmentación de datos a partir de una imagen continuará en desarrollo por mucho tiempo, existen muchas áreas que todavía no cuentan con el aporte valioso de estos métodos; y más importante aún se pueden realizar mejoras, sobre todo en lo que se refiere a visión artificial. Ahora que esta tecnología llegó a la vida de las personas se quedará por mucho tiempo, puesto que como se puede ver ha aportado en diferentes temas de gran controversia en la actualidad, como es la detección de enfermedades de forma segura y a menor precio. A la medida que los artefactos tecnológicos como cámaras, sensores, etc. vayan mejorando, de igual manera se tendrá que buscar una mejora para estos algoritmos, pues las exigencias serán mayores.

1.1 Objetivo General

Realizar el procesamiento de imagen a partir de los datos adquiridos por una cámara térmica aplicado a segmentación de color.

1.2 Objetivos específicos

- Revisar los campos de aplicación de cámaras térmicas y su relación con la segmentación de color.
- Implementar algoritmos de segmentación de color.
- Realizar las pruebas del dispositivo en ambientes controlados.

1.3 Alcance

El documento plantea la adquisición de datos a través de una cámara térmica hacia un dispositivo para su posterior procesamiento mediante un algoritmo de visión artificial usando Python como lenguaje de programación.

El procesamiento que se ejecutará es la segmentación de imágenes basadas en color con la ayuda de un dispositivo para su procesamiento. Se realizarán las pruebas de segmentación de color en entornos controlados.

1.4 Justificación

La segmentación de imágenes es un proceso importante en el reconocimiento de imágenes principalmente en la identificación de objetos, reconocimiento de rostros e identificación de personas, animales, objetos y patrones específicos, estos datos son usados por programas que sirven para seguridad, vigilancia, y en áreas como la agricultura, la industria e investigación. (MathWorks, 2019)

Ante la necesidad de que cada vez se desarrollen mejores programas y aplicaciones que desarrollen reconocimientos con mayor eficacia y eficiencia estos sistemas han aumentado su capacidad exponencialmente y han ofrecido mejor manejo y capacidades mucho mejores. (Mordor, 2018)

El proyecto propuesto en este documento nos permitirá:

- Servir como base para una futura implementación de un sistema móvil que ayude a la asistencia de personal de rescate en la identificación de personas en áreas de difícil acceso y con poca visibilidad.

- Recopilar información sobre objetos y ayudar en la identificación de estos en futuras investigaciones, ayudando con sistemas ya entrenados en el reconocimiento de estos.

2 Marco Teórico

En esta sección se presenta una detallada reseña de las cámaras térmicas y sus aplicaciones y características, así como también, su funcionamiento. Se profundiza en la revisión de las características para la cámara escogida en el presente trabajo, así como también la teoría de imágenes con sus componentes. De igual manera, trataremos sobre la teoría de la segmentación del color, sus componentes, proceso, algoritmos y técnicas que se emplean.

2.1 Termografía

La termografía al ser una tecnología moderna se basa en la utilización de cámaras que evalúan y captan imágenes de la emisión de radiación infrarroja producida por los cuerpos sin exigir la presencia de luz visible. Esta radiación al ser producto de la temperatura asociada a la superficie del cuerpo, mediante la cámara brinda la posibilidad de cálculo y visualización de dicha temperatura” (Asociación de Profesores Amigos de la Ciencia Eureka (Cádiz, 2004)

A causa de esto y con el pasar del tiempo, la termografía se ha convertido en una técnica asequible para proyectos orientados a distintos sectores, lo que ha derivado en que varias compañías introduzcan diferentes soluciones de cámaras térmicas para satisfacer las necesidades de las distintas aplicaciones y así estar a la par de las necesidades de los usuarios, sean estas académicas o satisfagan a la industria. (Asociación de Profesores Amigos de la Ciencia Eureka (Cádiz, 2004)

Una cámara térmica no es más que aquella que nos da la posibilidad de medir la temperatura de cualquier objeto o lugar en un ambiente sin la necesidad de establecer contacto físico con el elemento de medición. Esto es posible debido a la irradiación de calor de los objetos que desprenden luz infrarroja la cual es

captada y cuantificada por medio de una escala de color para posteriormente reservar el color en cada píxel y finalizar con la composición de una imagen térmica. (Ferrer, 2020)

Este modelo de luz fue descubierto por William Herschel en el siglo XVIII y dedujo que es aquella localizada en un punto más lejano que la luz visible por el ser humano y consta de una temperatura más alta. (Ferrer, 2020)

Las cámaras térmicas constan de un sensor térmico, el cual cambia en función de la forma en que fue fabricado. El mencionado sensor capta las radiaciones emitidas y cambia la cantidad de fuerza eléctrica acorde con los cambios en los niveles de propagación de calor. Como consecuencia visible del mencionado desarrollo de transformación de energía se da lugar a lo que se conoce usualmente como termo grama o imagen térmica. (Rojas, 2020)

La parte principal de una cámara termográfica es el sensor térmico o micro bolómetro. Esta pieza es la encargada de calentarse al percibir la radiación y la transforma en fuerza eléctrica lo que permite la medición y comparación de temperatura, dando lugar a una imagen con color establecido para cada temperatura. (García, 2020)

Se pueden reconocer abundantes modelos que inspeccionan todo el ambiente o superficie de un objeto en sus imágenes térmicas, las mismas que son visualizadas en una escala de color monocromática, revelando así las zonas que contienen mayor radiación calórica con color blanco y por otro parte de negro las que contienen radiación en menor proporción, hallándose los valores de temperatura en los intervalos intermedios representados en la escala de grises entre los márgenes térmicos.

Cabe mencionar que, dichos colores no son una representación de la radiación infrarroja captada por la cámara, pero su uso es necesario para la representación e interpretación de las particularidades térmicas de un objeto para su posterior investigación y estudio. (Rojas, 2020)

Las cámaras presentan una clasificación mediante determinados parámetros en función de la tecnología aplicada o si son activas o pasivas.

- Refrigeradas: Estas cámaras térmicas son en su mayoría de uso militar y usan materiales como el telurio de cadmio, antimonio de indio, así como el mercurio.
- No refrigeradas: Son cámaras que hacen uso del óxido de vanadio y silicio amorfo como componentes y gracias a su posibilidad de trabajo en temperatura ambiente son más asequibles. (Ferrer, 2020)
- Activas: El principio de funcionamiento de estas cámaras se basa en la transmisión de radiación infrarroja por medio de un foco ubicado en la región interna de la cámara, el mismo que es capaz de proyectar luz y con esto realizar la captura de la imagen. (Ferrer, 2020)
- Pasivas: Las cámaras infrarrojas pasivas o termográficas son aquellas encargadas de percibir las radiaciones de la manera en que son emitidas por medio del objeto sometido a medición, convirtiéndose así en el prototipo que cuenta con mayor aceptación en el mercado. (Ferrer, 2020)

En el mercado actual tenemos algunos modelos de cámaras que son ofertadas de acuerdo con las necesidades del usuario. En la tabla 1 recogemos algunos de los modelos más relevantes a nuestra consideración dentro del trabajo presentado.

Tabla 1:

Comparativas cámaras

| Modelo | Precio | Rango | Resolución | Compatibilidad |
|----------------------------|---------------|--------------|-------------------|-----------------------|
| D6T-8L-09H (sensor) | 18 | 5 a 200 °C | 1x8 | C |
| Adafruit AMG8833 (cámara) | 40 | 0 a 80 °C | 8x8 | Arduino-phyton code |
| Adafruit MLX90640 (cámara) | 60 | -40 a 300 °C | 24x32 | Arduino-Phyton code |
| OMEGA OS137A-2-MA (SENSOR) | 300 | -16 a 260 °C | 10x1 | C |
| Amprobe IRC-120 (cámara) | 350 | -10 a 500 °C | 128x128 | USB |
| Hikvision DS-2TP21B-6AVFW | 600 | -20 a 550 °C | 640x480 | Ethernet |
| CorDEX MN4100 (cámara) | 615 | -10 a 120 °C | 640X480 | Modelo MODBUS |
| FLUKE PTi120 (cámara) | 700 | -20 a 150 °C | 120 x 90 | FlukeConnect, USB |

| | | | | |
|-----------------------------|-------|---------------|----------|------------------------------------|
| Seek SQ-AAA (cámara) | 800 | -40 a 330 °C | 320x240 | SeekViewApp, Wifi |
| FLIR E5-XT (cámara) | 1200 | -20 a 400 °C | 160x120 | Flir Tools |
| FLIR E95-24-14 | 1900 | -20 a 1000 °C | 160x120 | FLIR Tools Sw |
| Amperis IRDL708 (cámara) | 2000 | -40 a 2000 °C | 640x480 | USB Testo |
| Testo 872 (cámara) | 3782 | -30 a 650 °C | 320x240 | TermographyApp Wlan, Bluetooth, |
| Fluke Tix660 | 43299 | -40 a 1200 °C | 1024x768 | SD, USB |

Después de revisar varias cámaras que se ofrecen en el mercado dado el rango ofrecido, el precio y la compatibilidad del dispositivo con lenguajes de programación y dispositivos de procesamiento, se decide la utilización de la Adafruit MLX90640.

2.2 Imagen

Se puede definir a una imagen digital como la muestra bidimensional de una figura mediante el uso de bits. Partiendo de su resolución se puede decir que una imagen es estática o dinámica, además se puede aseverar que se trata de un gráfico rasterizado o de uno vectorial. (EcuRed, 2019a)

Además, de manera general hay la posibilidad de mencionar que una imagen, no es más que una matriz de puntos. En la cual si se pretende posicionar en un punto en específico se hará necesario el uso de una coordenada (x, y). Adicional a esto se puede mencionar que un punto está formado por una serie de bits, los cuales sirven para la representación del color. La cantidad de bits cambia de acuerdo con la calidad de la imagen. (Rubira, 2011)

- **Píxel:** Si hablamos de una imagen digital, el píxel es el punto más diminuto que forma parte de la mencionada imagen. Este es el encargado de representar valores específicos de bits concordantes con los modos de color asociados a la calidad de la imagen, de esta manera si se tratase de un modo de color que utiliza 8 bits se puede tomar 2 elevado a la octava potencia lo que daría lugar a 256 colores diferentes. A mayor cantidad de

píxeles contenidos en una imagen mayor será su resolución y de mayor calidad será la misma. (Barber, 2016)

- Modo de color: Un modo de color es el encargado de destinar la información referente al color a cada uno de los píxeles contenidos en una imagen. Existen algunos modos de color entre ellos RGB, escala de grises HSV entre otros. Es recomendable se “utilice el modo de color RGB para las imágenes web o de correo electrónico para reducir el tamaño del archivo y mantener la integridad del color” (Adobe, 2018)
- RGB: Este modo de color en particular emplea niveles de intensidad los cuales fluctúan entre 0 que está asociado al color negro y 255 asociado al color blanco, esto alineado con un valor de sus componentes RGB (rojo, verde, azul) en una imagen a color. (Adobe, 2018)
- Escala de Gris: La escala de grises es aquella muestra en la que los píxeles asociados a una imagen se representan usando un número que va acorde con su luminancia, esta varía de acuerdo con una escala que tiene como límites los colores negro y blanco a cada extremo. Si hablamos de escala de grises en el tratamiento digital de una imagen, se puede decir que este modo de color se implementa en cada píxel dentro de una serie de valores representado en tonalidad neutra. Si hacemos uso de imágenes de 8 bits, las mismas podrán tener valores entre 0 y 255. (Diccionario de fotografía y diseño, n.d.)
- Imagen rasterizada: Estas imágenes se las suele llamar como mapa de bits y están formadas por píxeles que constan de su color referido. Cabe destacar que en este apartado se encuentran las imágenes térmicas. (EcuRed, 2019a)
- Imágenes vectoriales: Estas imágenes hacen alusión a las figuras geométricas, mismas que son modeladas por fórmulas matemáticas y son interpretadas y procesadas por la tarjeta gráfica. (EcuRed, 2019a)
- Imágenes térmicas: Las imágenes térmicas son el producto final del desarrollo en el que se utiliza el número de radiación infrarroja de un objeto, el cual es interpretado como un valor de temperatura asociado a

pixeles de acuerdo con un mapa de color y su agrupación forma una imagen claramente definida. (EcuRed, 2019a)

2.3 Segmentación

Según (Gil et al., 2004), al mencionar la detección de artefactos o detalles en ambientes poco estructurados aplicando visión artificial, la segmentación juega un papel de suma importancia. Precisamente hablando, en temas muy diversos, obtener información del color mediante la segmentación se vuelve un punto clave; un ejemplo claro es el tratamiento de secuencias de video con el objetivo de llegar a identificar elementos o individuos en escenas que involucran movimientos, de igual manera se puede aplicar para el seguimiento de las mismas o “tracking”; por último, se puede llegar a identificar objetos con la finalidad de que los mismos puedan ser manipulados con robots.

La segmentación de imágenes forma parte de las etapas del procesamiento digital de imágenes, el cual se lo puede ver ilustrado en la figura 1.

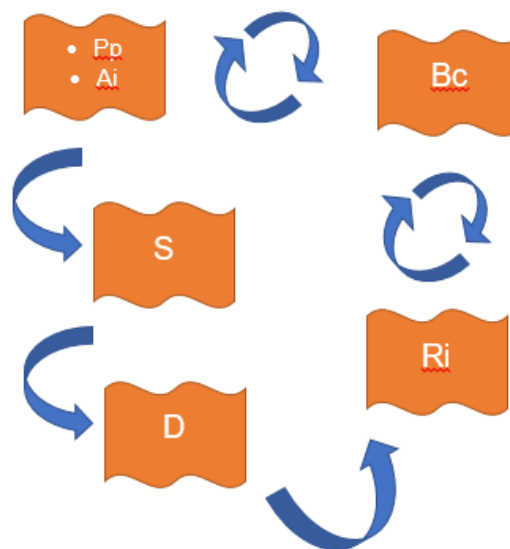


Figura 1. Pp: Pre procesado; Ai: Análisis de Imágenes; S: Segmentación; D: Descripción; Bc: Base de conocimiento; Ri: Reconocimiento e interpretación. Etapas del procesamiento digital de imágenes. Basado en (Palomino, Nora La Serna & Concha, n.d.)

Una de las definiciones de segmentación menciona que es un procedimiento mediante el cual una figura es dividida en secciones u objetos, esto se lleva a cabo con la premisa de disociar las regiones que son de provecho de las demás, así también otra definición nos dice que la segmentación se basa en la clasificación de píxeles en concordancia con el tipo de estos y la clase de cada uno. (Palomino, Nora La Serna & Concha, n.d.)

Las partes más relevantes en el proceso de segmentación en una imagen son entre otras:

- **Luminancia:** Es la encargada de especificar el valor de luz emitida que pasa por un plano o que es reflejada con un ángulo particular. Además, describe cuantitativamente la energía luminosa que el ojo humano es capaz de percibir. Este concepto nos representa que la luminancia es indicada por la cantidad de brillo de la luz que sale del emisor o que es reflejada fuera del plano. (Konica Minolta Sensing Americas, 2020)
- **Textura:** Este concepto no se limita únicamente a como se le llama al aspecto externo de la estructura de los materiales, sino también al procedimiento que se puede aplicar sobre un área por medio de elementos. Un ejemplo es la textura visual, la cual es una muestra ilustrada mediante dibujos, pinturas, fotografías o arte. Las mismas que son perceptibles de manera visual y es por eso de su nombre. (EcuRed, 2019b)

Los algoritmos que posibilitan la segmentación, se fundamentan principalmente en dos propiedades fundamentales asociadas a los valores del nivel de gris, la discontinuidad y similitud. (Palomino, Nora La Serna & Concha, n.d.)

- **Discontinuidad:** Para ser ejecutada esta propiedad se hace necesario el centrarse en la división de una imagen basándose principalmente en los cambios de nivel de gris. Existen varios contenidos relevantes al momento de la implementación de esta propiedad, entre ellos la localización de

puntos aislados, descubrimiento de líneas y localización de bordes.(Palomino, Nora La Serna & Concha, n.d.)

- Similaridad: Para ser ejecutada esta propiedad se hace necesario el centrarse en la división de una imagen basándose principalmente en las áreas donde el nivel de gris es regular. De igual manera que en la discontinuidad, existen varios contenidos relevantes al momento de tratar acerca de esta propiedad, entre ellos la umbralización, el incremento de la región, segmentación y unificación de regiones.(Palomino, Nora La Serna & Concha, n.d.)

Al pasar de los años diferentes técnicas de segmentación han sido perfeccionadas, mismas que se pueden asociar en: técnicas orientadas al pixel, a los bordes y a las regiones.(Palomino, Nora La Serna & Concha, n.d.). A continuación, se describen de que tratan estas técnicas:

- Técnicas orientadas al píxel: Dentro de esta técnica la más popular se denomina Watershed o línea divisoria de aguas, misma que se basa en encontrar los mínimos niveles de gris existentes en una imagen y que se van aumentando de manera gradual asemejando a verter agua en un valle, hasta encontrar los valles vecinos. (Palomino, Nora La Serna & Concha, n.d.)

Esta es una técnica de segmentación que tiene como fundamento a la morfología matemática, la cual realiza la extracción de límites y regiones existentes en una imagen. Del mismo modo, a Watershed se la considera como una técnica de segmentación que se fundamenta en regiones, esto adecuado a que la clasificación que tienen sus píxeles se realiza en concordancia con su cercanía espacial, el gradiente de sus grises y la igualdad de sus texturas. En consecuencia, se conoce a esta técnica como orientada a la detección de contornos a la vez que también se orienta al crecimiento de regiones. (La et al., 2010)

- Técnicas orientadas a los bordes: El procedimiento para realizar la extracción de bordes a una imagen está orientado en la diferencia que se halla al probar una misma característica en dos regiones contiguas, dando

lugar a la presencia de un borde. Así mismo, estos bordes se pueden clasificar de acuerdo con algunos parámetros como la anchura, el ángulo de la pendiente de su variación, y el eje de su punto medio. Genéricamente, se hace posible determinar diferentes clases de bordes o contornos, entre otros: línea, escalón, rampa y tipo tejado. Para la detección de desajustes se hace uso de derivadas de primer orden donde es necesario utilizar el operador gradiente, así como en derivadas de segundo orden es necesaria la utilización del operador laplaciano. (Palomino, Nora La Serna & Concha, n.d.)

- Técnicas orientadas a las regiones: Esta técnica hace uso de características espaciales de las imágenes para conseguir la segmentación de estas, esto hace alusión a que la imagen es dividida en regiones vinculadas, mismas que tienen características distintas que sirven de diferenciador entre ellas. Resumiendo, se puede afirmar que la intención de esta técnica es la de extraer objetos que se puedan tratar de manera individual en una imagen. (Palomino, Nora La Serna & Concha, n.d.)

En el presente trabajo de titulación se hace uso de la umbralización (threshold) que a partir del momento se usará de manera indistinta, el cuál es uno de los contenidos relevantes de la propiedad de similaridad. A continuación, se describe el método de umbralización.

Se define como el método más sencillo para realizar el proceso de segmentación. Se puede mencionar que una de sus aplicaciones es el separar regiones pertenecientes a una imagen que se correspondan con objetos que son de interés para su análisis. Esto se logra gracias a alteraciones en la intensidad entre los píxeles asociados a objetos y aquellos asociados al fondo. Con el objetivo de discriminar los píxeles que son de interés de los demás, se hace necesario el cotejo entre los valores asociados a la intensidad de píxeles y un umbral (determinado a discreción del problema a descifrar). Cuando finalmente se realice dicha discriminación, se puede fijar un valor determinado a los mismos

para distinguirlos de manera que se acomode a nuestra exigencia. (Sites Google, n.d.)

Existen 5 tipos de operaciones con la función *threshold* en OpenCV de acuerdo con (Procesamiento De Imágenes en OpenCV, s.f.). A continuación, se presentan estos tipos de operaciones, los cuales utilizan las ecuaciones que son las mismas mostradas en: (Sites Google, n.d.)

I. Umbral binario: Este se expresa de acuerdo con:

$$dst(x,y) = \begin{cases} maxVal & \text{if } src(x,y) > thresh \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (\text{Ecuación 1})$$

donde:

- thresh: umbral fijo;
- maxVal: Valor máximo;
- dst(x,y): valor de intensidad final del píxel ubicado en la posición x,y;
- src(x,y): valor de intensidad inicial del píxel ubicado en la posición x,y;

En la ecuación 1 se detalla que de darse el caso de una intensidad de píxel superior al src, entonces se procede a fijar una nueva intensidad de píxeles con el Valor máximo. Caso contrario, los píxeles se fijan en 0.

II. Umbral binario invertido: Este se expresa de acuerdo con:

$$dst(x,y) = \begin{cases} 0 & \text{if } src(x,y) > thresh \\ maxVal & \text{otherwise} \end{cases} \quad (\text{Ecuación 2})$$

En la ecuación 2 se detalla que de darse el caso de una intensidad del píxel es superior al thresh, entonces se procede a fijar una nueva intensidad de píxeles con valor 0. Caso contrario, los píxeles se fijan en Valor máximo.

III. Truncar: Este se expresa de acuerdo con:

$$dst(x,y) = \begin{cases} threshold & \text{if } src(x,y) > thresh \\ src(x,y) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (\text{Ecuación 3})$$

En la ecuación 3 se detalla que de darse el caso en el que el valor máximo de intensidad es *thresh*, si *src* es mayor, entonces se procede a truncar su valor.

IV. Umbral a cero: Este se expresa de acuerdo con:

$$dst(x, y) = \begin{cases} src(x, y) & \text{if } src(x, y) > thresh \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (\text{Ecuación 4})$$

En la ecuación 4 se detalla que de darse el caso en el que *src* sea inferior al *thresh*, entonces se procede a fijar un nuevo valor de píxel a 0.

V. Umbral a cero invertido: Este se expresa de acuerdo con:

$$dst(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{if } src(x, y) > thresh \\ src(x, y) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (\text{Ecuación 5})$$

En la ecuación 5 se detalla que de darse el caso en el que *src* sea mayor al *thresh*, entonces se procede a fijar un nuevo valor de píxel a 0.

2.4 Dispositivos para adquisición y procesamiento

En este apartado, se presenta una especificación exhaustiva de los elementos de hardware a utilizarse:

I. Adafruit MLX90640

Esta cámara térmica como se indica en su página oficial es ideal para proyectos de visión de calor que sean asequibles, la versión adquirida dispone de un campo de visión de 110x70 grados, aunque existe de igual manera una versión de 55x35, la única diferencia entre estas es el largo de su lente con 5.7 mm y 11.25mm respectivamente. El rango de temperatura medible va desde los -40°C a 300°C con una precisión de +- 3°C en el rango de 0 a 100 °C. Y el rango de temperatura en el que trabaja la cámara es de -40°C - 85°C. (Adafruit, 2020)

Además, tiene una velocidad de muestreo máxima de 16 Hz, aunque teórica de 32 Hz y consume 23 mA de promedio, sus medidas son 25.7mm x 17.7mm x 16.0mm y tiene un peso de 3.5g / 0.1oz. (Adafruit, 2020)

Esta cámara funciona sobre I2C y es compatible tanto con Arduino como con Python gracias a las librerías propias de Adafruit y además gracias a su regulador de 3.3V por lo que se puede alimentar hasta a 5V para su correcto funcionamiento. La manera de operar de este sensor es basa en la lectura consecutiva en dos ocasiones de cada trama por lo que se puede ver un efecto similar al de una mesa de ajedrez en la imagen. Y, gracias a que en la placa tiene conectores STEMMA QT no es necesario utilizar soldadura para realizar una conexión directa con Raspberry o Arduino o cualquier otra placa compatible con las librerías del fabricante. (Adafruit, 2020)

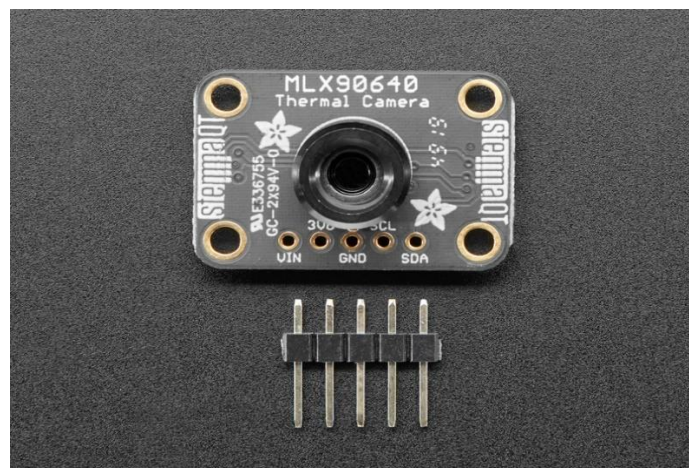


Figura 2. Adafruit MLX90640. Tomado de (Adafruit, 2020)

La cámara Adafruit MLX90640 tiene acceso a 5 pines para su funcionamiento de acuerdo con Adafruit. (Adafruit, 2020)

- VIN: Es el pin de alimentación que tiene un regulador de voltaje de 3 VDC y en el que se pueden conectar de 3 – 5VDC.
- 3V: Es el pin de salida de 3.3V y que puede brindar hasta 100mA
- GND: Es la tierra común para el circuito.
- Los puertos I2C son dos SCL y SDA:

- SCL: Es el pin de reloj del I2C y que cuenta con una resistencia de pullup de 4.7k
- SDA: Es el pin de datos de I2C y se conecta con el del microcontrolador para transmisión de datos. Igual cuenta con su resistencia pullup de 4.7k.

II. Raspberry Pi 3B+

La RaspBerry PI 3B+ es la versión final de la tercera generación de SBC de la Raspberry Foundation. Esta cuenta con un procesador quad core a 1.4Ghz, LAN de doble banda Wireless y es una de las soluciones más utilizadas en la ejecución de proyectos embebidos y proyectos accesibles y portables. (Foundation, 2018)

Este dispositivo cuenta con las siguientes especificaciones técnicas de acuerdo con (Foundation, 2018)

Consta de un Broadcom BCM2837B0 y Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC que traba a 1.4GHz, en el apartado de RAM tiene 1GB LPDDR2 SDRAM. Utiliza conectividad inalámbrica a 2.4GHz y 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac Wireless LAN, además de Bluetooth 4.2. Para conectividad física utiliza Gigabit Ethernet sobre USB 2.0 con un throughput máximo de 300 Mbps. Consta de 40 pines de GPIO. Tiene un conector de tamaño completo HDMI, cuatro puertos USB 2.0, un puerto CSI para conectar la cámara propia de Raspberry Pi, un puerto para display para la conexión de pantallas táctiles y un puerto para Micro SD donde se carga el sistema operativo y sirve como dispositivo de almacenamiento. Se alimenta por una entrada a 5V y 2.5 A DC o también por medio de PoE.

Como se menciona consta de GPIO que sirven para entradas y salidas generales. El mismo que tiene 40 pines configurables tanto como entradas como salidas tal como se ilustra en la figura 3.

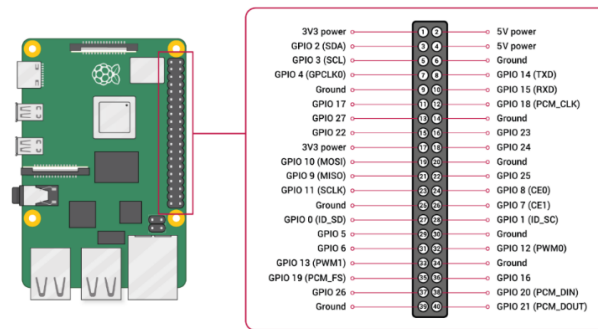


Figura 3. GPIO Raspberry Pi 3B+. Tomado de (Foundation, 2018). Raspberry Pi is a trademark of the Raspberry Pi Foundation

Dentro de estos están las siguientes distribuciones de pines de acuerdo con (Foundation, 2018).

- Voltaje: 2 pines de 3V3, pines de ground.
- Outputs: Son pines configurables a estado alto (3.3V) o bajo (0V).
- Inputs: Son pines con la misma funcionalidad que los outputs.
- PWM: Los pines para modulación de pulso se encuentran disponibles en GPIO12, GPIO13, GPIO18, GPIO19.
- SPI: Cuenta con el SPI0 Y SPI1 asignados de la siguiente manera.
 - ✓ SPI0: MOSI (GPIO10); MISO (GPIO9); SCLK (GPIO11); CE0 (GPIO8), CE1 (GPIO7)
 - ✓ SPI1: MOSI (GPIO20); MISO (GPIO19); SCLK (GPIO21); CE0 (GPIO18); CE1 (GPIO17); CE2 (GPIO16)
- I2C: Están los pines de datos y de reloj y los EEPROM asignados de la siguiente manera.
 - ✓ Datos: (GPIO2); Reloj (GPIO3)
 - ✓ Datos EEPROM: (GPIO0); Reloj EEPROM (GPIO1)
- Serial: Los puertos de TX y RX en GPIO14 Y GPIO15 respectivamente.

(Foundation, 2018)

3 Desarrollo e Implementación

En esta sección se detalla el desarrollo llevado a cabo para la implementación del prototipo propuesto en este trabajo, tanto en software como en hardware. Además, se brinda una breve descripción del proceso de adquisición y segmentación de las imágenes con la cámara térmica MLX90640 de Adafruit y la implementación de una interfaz gráfica en Python con ayuda de PyQt5, la cual nos permite seleccionar el rango de temperatura para la segmentación de nuestra imagen con la ayuda de la Raspberry Pi 3B+.

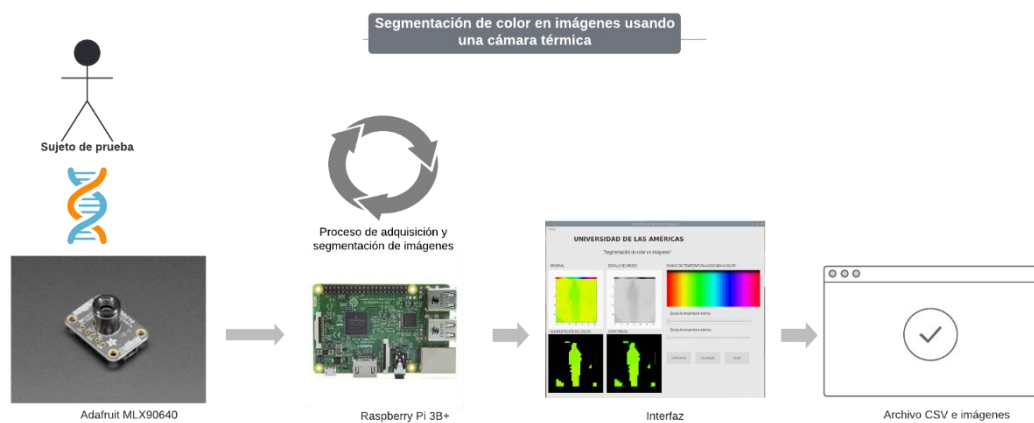


Figura 4. Diagrama de bloques del sistema implementado

3.1 Selección de software

El proceso de selección de cada elemento utilizado en la realización de prototipo se hizo con la intención de ajustarse a diversos criterios de funcionamiento del prototipo, la accesibilidad a los materiales, la dificultad de uso, y el mantener bajo costo. A continuación, se menciona el proceso de implementación del software usado en el prototipo. La principal consideración que se realizó en esta selección fue una cámara térmica que se ajuste los criterios antes mencionados.

En este apartado se describen los elementos usados para el apartado de programación y software del prototipo utilizado en segmentación de color en imágenes.

I. Python

Python es un lenguaje de programación potente que tiene un aprendizaje sencillo. Usa estructuras de datos eficaces y de gran nivel enfocados en la programación orientada a objetos de manera sencilla pero segura. Su dinamismo hace posible su rápido crecimiento y lo vuelve perfecto para el desarrollo multiplataforma y multinivel. “ (Van Rossum, 2009)

Este lenguaje de programación fue seleccionado debido a su gran aceptación a nivel multiplataforma, su adaptabilidad a muchos proyectos de toda índole, su potencia y facilidad a la hora de realizar procesos orientados a la visión artificial.

II. PyQT5

Se trata de un binding que corresponde a la biblioteca gráfica Qt usada en su mayoría para la implementación y diseño en Python de interfaces gráficas. (Aponte Sierra, 2018)

Fue seleccionado debido a su fácil uso y por ser compatible con Raspberry Pi. Además, debido a la posibilidad de diseñar de manera gráfica la interfaz y no únicamente en línea de código a diferencia de otros como Tkinter.

III. SolidWorks

Es un software que se basa en ayudar a realizar diseños por computadora asistidos, este permite que piezas y conjuntos sean modelados, y que sea probable la extracción de planos y otra información técnica necesaria en el proceso de producción”. (Lázaro, 2014) Este software se usa para diseñar una pieza adaptando así el hardware en un solo prototipo en 3D.

IV. Eric

Erick es un editor e IDE escrito en Python que está basado en un cross platform Qt UI, el mismo que está basado en Python 3 y permite el uso de diferentes características gracias a sus plugin integrados.

V. OpenCV

“La librería OpenCV proporciona un marco de trabajo de alto nivel para el desarrollo de aplicaciones de visión por computador en tiempo real: estructuras de datos, procesamiento y análisis de imágenes, análisis estructural, etc. Este marco de trabajo facilita en gran manera el aprendizaje e implementación de distintas técnicas de visión por computador, tanto a nivel docente como investigador, aislando al desarrollador de las peculiaridades de los distintos sistemas de visión”. (Arevalo et al., 2004)

3.2 Desarrollo

En este apartado se aprecia todas las etapas del desarrollo del prototipo de segmentación de color en imágenes usando una cámara térmica en sus partes tanto de hardware como de software. Se ha dividido este desarrollo en tres secciones en las que se indican los apartados de implementación del sistema, diseño de interfaz y diseño estructural.

Las conexiones de hardware (cámara Adafruit MLX90640 y la Raspberry Pi 3B+) se muestran en la figura 5.

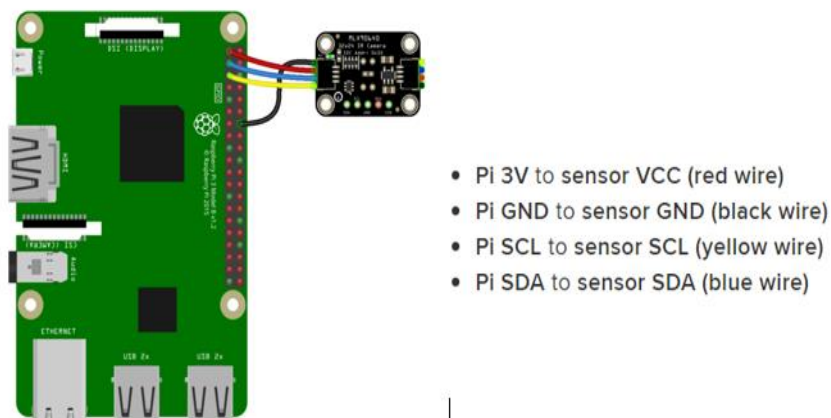


Figura 5. Conexiones de hardware. (Adafruit, 2020) Raspberry Pi is a trademark of the Raspberry Pi Foundation

3.2.1 Implementación del sistema

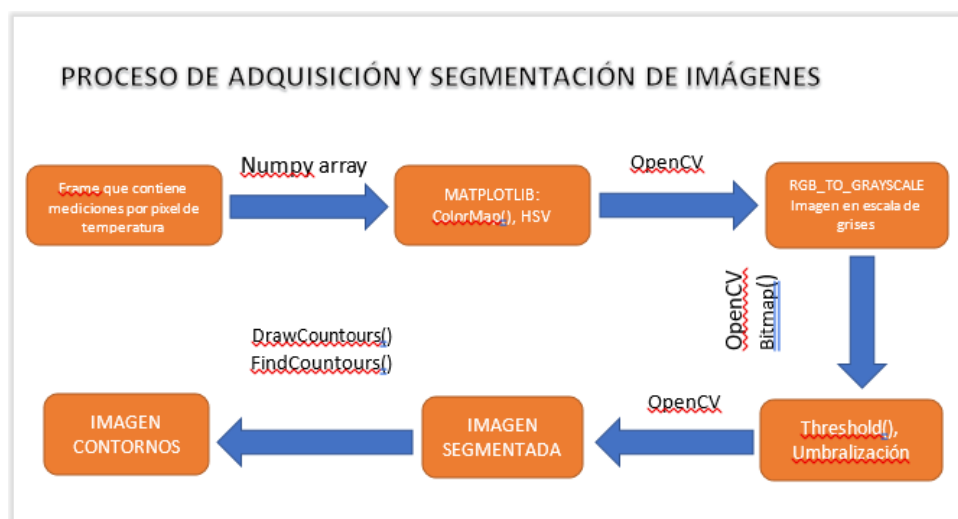


Figura 6. Diagrama de bloques del proceso de adquisición y segmentación de imágenes

Para esta sección se parte del código de muestra que es proporcionado por el fabricante. Para empezar, por medio de la librería Numpy se realiza un arreglo 24x32, que almacene el total de muestras que nos brinda la cámara y mostrarlo como una imagen de la dimensión antes mencionada.

Después, gracias a Matplotlib y la función ColorMap(), se ingresa el arreglo antes mencionado en la función como un parámetro y el mapa de color cíclico “hsv”, el cual da como salida la imagen térmica de tamaño 24x32.

Posterior a obtener la imagen se hace uso de OpenCV y se implementa la propiedad imread para importar la imagen a utilizarse, seguido de cvtColor que ayuda en la transformación de la imagen a escala de grises. Luego de obtener esta imagen en escala de grises se realiza la máscara para el proceso de segmentación con inRange que recibe como atributos la imagen en escala de grises y un rango mínimo y máximo de color representado en RGB.

El resultado de este proceso se usa de atributo para la función bitwise que permite realizar el análisis por píxel con la máscara y asociar el color.

Después de lo cual se realiza el *threshold* (umbralización) con la función del mismo nombre y que da como salida la imagen segmentada.

Por último, se hace uso de la función `findContours` para identificar los contornos y con la función `drawContours` se dibuja todos los contornos identificados y se muestra el resultado de estos en diferentes cuadros para ver las cuatro imágenes que se tiene como salida: la original, escala de grises, imagen segmentada y segmentación con contornos. Todo este proceso se encuentra ilustrado en la Figura 7.

3.2.2 Diseño de interfaz

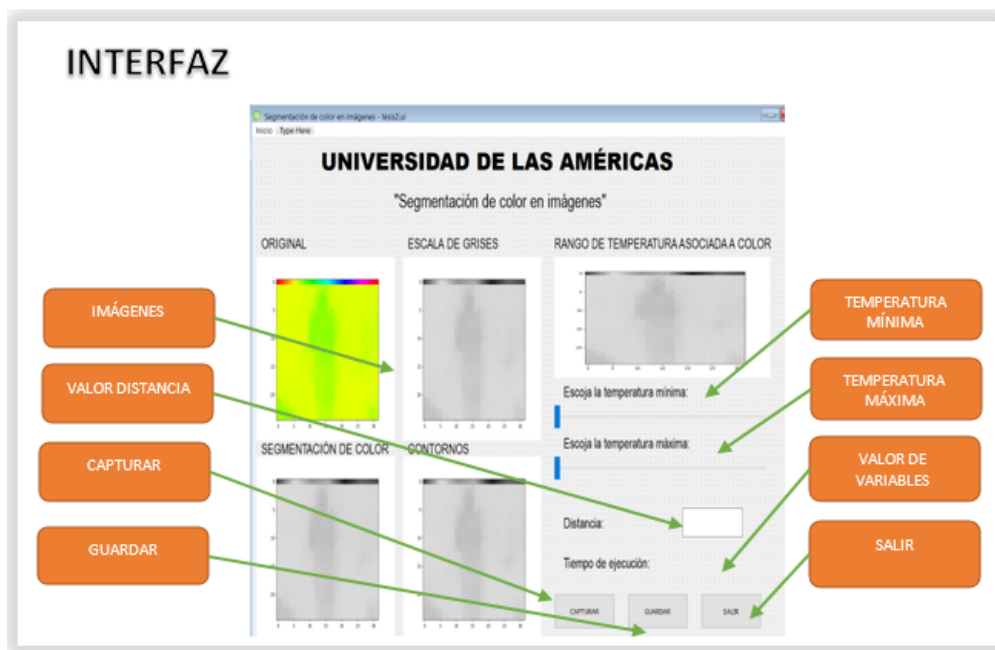


Figura 7. Diagrama de bloques del proceso de funcionamiento de la interfaz

Para el diseño de esta interfaz se usa el software “PyQt designer” mismo que ayuda a la realización de mockups y posterior interfaz gráfica final.

Este software cuenta con una interfaz intuitiva que permite arrastrar widgets hacia la pantalla principal y distribuirlos de la manera deseada con ayuda del ratón desde la región izquierda del programa, además de la posibilidad de cambiar sus propiedades en el recuadro a la derecha del programa brindando infinitas posibilidades de edición y personalización.

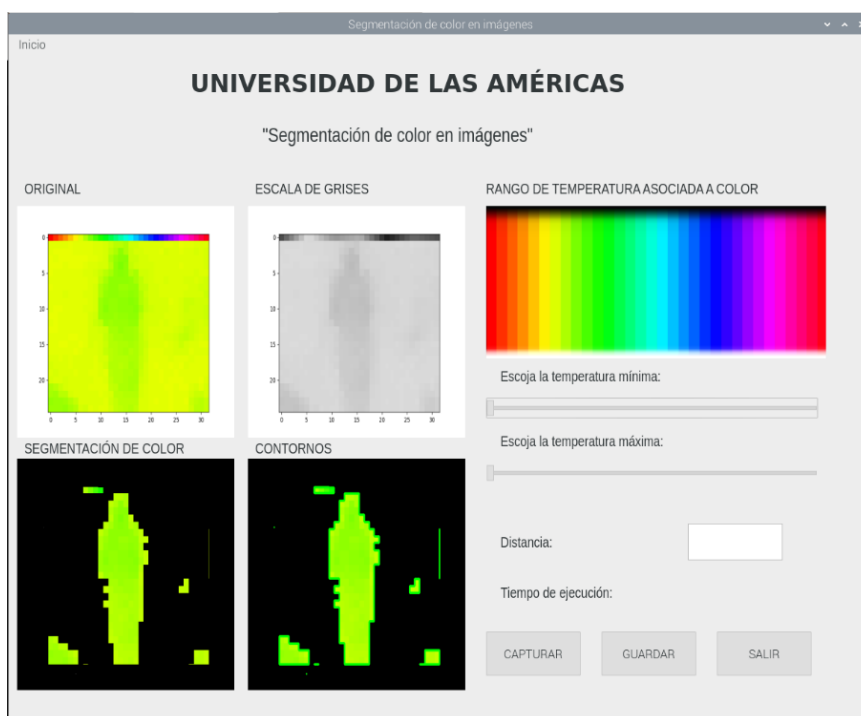


Figura 8. Interfaz gráfica en PyQT5

Para realizar pruebas al diseño final de la interfaz se hace uso del comando:

```
pyuic5 -x "filename".ui -o "filename".py
```

Este comando permite transformar la interfaz que tiene extensión ".ui" y pasarlo a un ".py" para que por medio del software eric se puedan agregar las funcionalidades a cada uno de los widgets utilizados. En el software eric se abre el archivo y se agregan las funcionalidades a cada botón, slider, label, entre otros.

Para los botones se hace uso del evento `onClicked()`, el cual permite realizar una acción en el momento de realizar un clic sobre el botón.

En el evento antes mencionado del primer botón "CAPTURAR" se incluye el código del proceso de adquisición y segmentación de imágenes, cuyo diagrama de bloques está ilustrado en la Figura 6.

De igual manera para el botón "GUARDAR" en su evento `onClicked()` se incluye la creación de nuestro csv con las variables que son guardadas y las imágenes en el fichero dispuesto para ello como se ilustra en la figura 9.



Figura 9. Diagrama de bloques del proceso de la función guardar

Por otro lado, en el botón “SALIR” en su evento `onClicked` se incluye la salida del programa.

Para los horizontal sliders se hace uso de su evento `valueChanged()` y en él se incluye la traducción de grados de temperatura a su color para la segmentación de la imagen en los rangos escogidos por el usuario, se toma en cuenta el valor mínimo y máximo escogidos para tal efecto, y se retornan estos valores para ser usados en el código principal de adquisición y segmentación de imágenes. Para los labels en donde se muestran texto se hace uso de `setValue()`, el cual permite la representación de las variables escogidas y puedan ser visualizadas por el usuario.

Por otro lado, para los labels en donde se muestran imágenes se hace uso de `setPixmap()` que nos ayuda a asignar una imagen desde archivo a nuestro label y con esto se brinda la posibilidad de representar las imágenes obtenidas por medio del proceso de segmentación de la imagen junto a la imagen original como se ilustra en la Figura 25.

3.2.3 Diseño estructural

En este apartado se revisan las piezas en 3D diseñadas que forman la parte estructural del prototipo y que fueron diseñadas en el programa SolidWorks.

- ✓ Tapa de la carcasa: En la Figura 10, se muestra la tapa terminada para la adaptación de un ventilador a nuestra Raspberry y evitar problemas de sobrecalentamiento. Además, tiene un conducto para manejar los cables de conexión de la cámara térmica

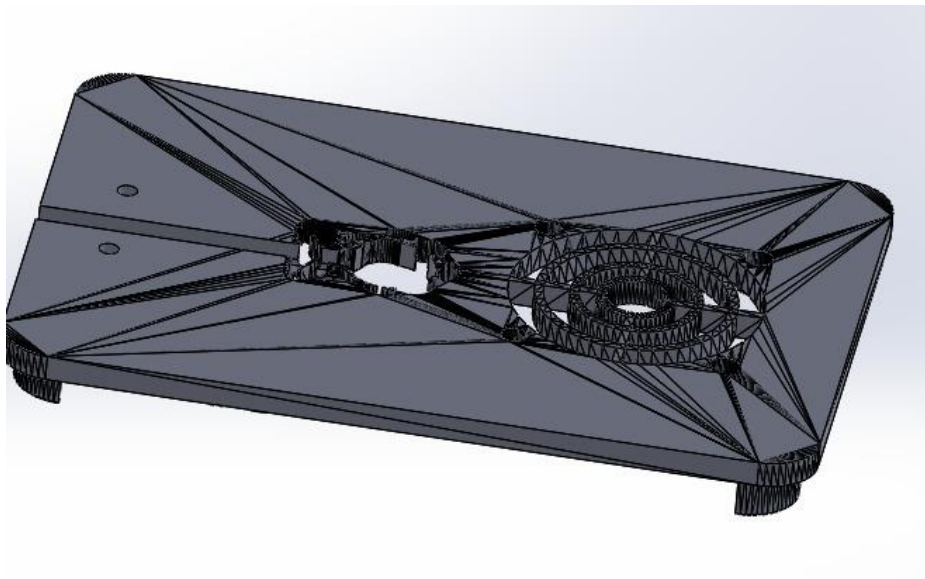


Figura 10. Vista aérea de tapa de carcasa Raspberry Pi

- ✓ Adaptador de cámara para tapa: Para esta pieza se realiza una caja donde reposa la cámara y así se mantiene estable durante las mediciones, en la Figura 11 se muestra como está diseñada para ser montada en la tapa.

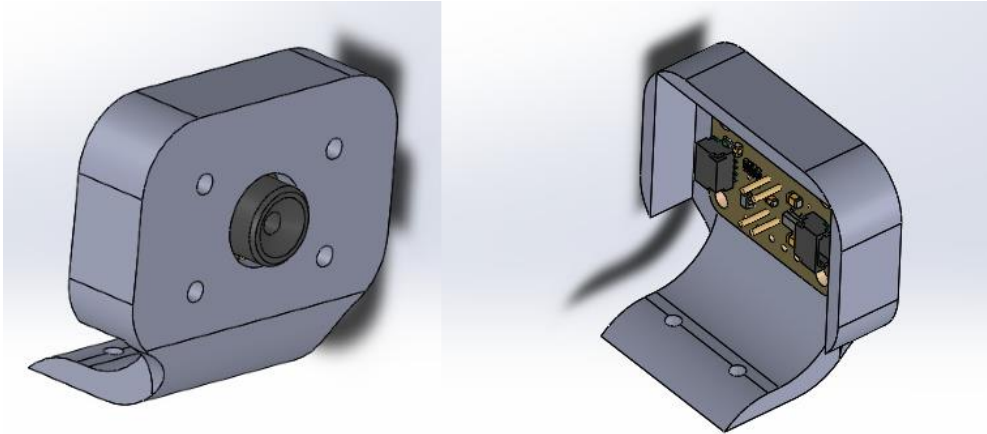


Figura 11. Adaptador de cámara

Con estas dos piezas se realiza un ensamblaje de las piezas antes mencionadas. Lo que, nos da como resultado lo ilustrado en la Figura 12.

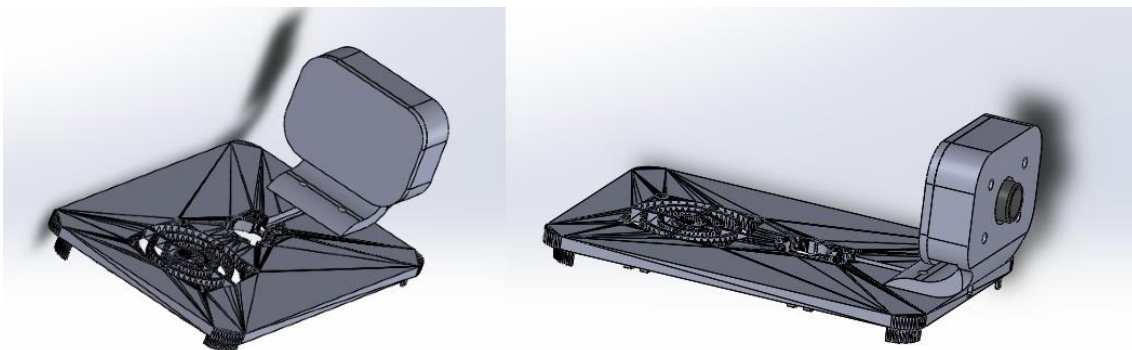


Figura 12. Ensamblaje de las piezas

4 Pruebas

En esta sección, como último paso se realizó pruebas en diferentes escenarios donde se tomó como parámetros de análisis: la distancia y el entorno de prueba controlado (ambiente en interiores y exteriores).

Los rangos de temperatura utilizados para las pruebas de segmentación están en función de un instrumento de referencia utilizado para verificar las mediciones. Se usó un termómetro infrarrojo digital que tiene un rango de temperatura de 34 °C a 42 °C por lo que se limitaron las pruebas a personas dentro de estos rangos.

4.1 Escenario 1

Como primer escenario se escogió un ambiente de hogar, en el cual se encuentra mobiliario típico como mesas, sillas, sillones entre otros. El escenario tiene dimensiones: 3.1m x 3.1m, mismo que se ilustra en la Figura 13.



Figura 13. Escenario 1

Se realizan varias pruebas en este ambiente con los parámetros descritos en las Tablas 2, 3 y 4. Todos respaldados con evidencia fotográfica. Estas pruebas son:

I. Prueba 1

Tabla 2:

Comparativa de resultado de pruebas

| Parámetros | Instrumento comercial | Sistema de medición |
|-------------------------|------------------------------|----------------------------|
| Distancia a persona (m) | 0.5 | 0.3 |
| Temperatura (Celsius) | 36.4 °C | 32.26 °C |
| Ambiente | Indoor | Indoor |
| Mínimo (Celsius) | | 23.33 °C |
| Máximo (Celsius) | | 32.26 °C |

Se realiza la captura de datos obteniendo una imagen térmica y su imagen en escala de grises mismas que se ilustran en la Figura 14.

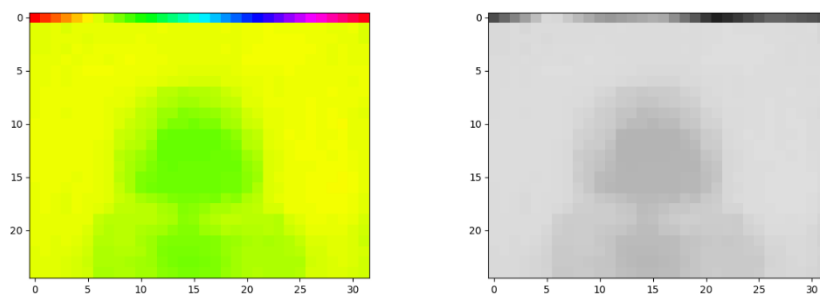


Figura 14. Imagen térmica y escala de grises de prueba 1

Posterior a esto se realiza la segmentación de la imagen e identificación de contornos, obteniendo una imagen segmentada junto a la misma imagen con contornos identificados. Las mencionadas se ilustran en la Figura 15.

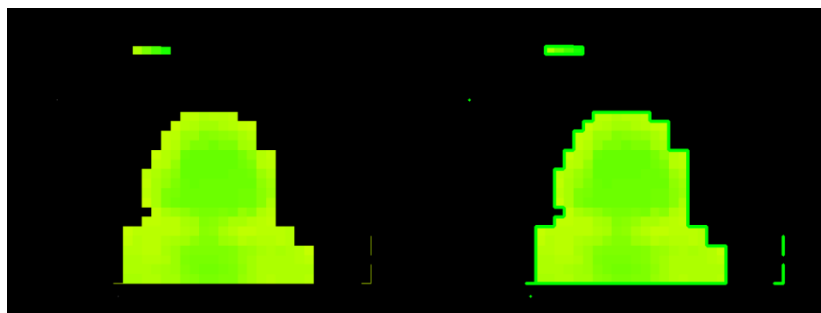


Figura 15. Imagen térmica segmentada y segmentada con contornos correspondiente a la prueba 1.

Todas estas imágenes junto a los valores de temperatura, distancia y tiempo de ejecución son mostradas en la interfaz gráfica como se ilustra en la figura 16.

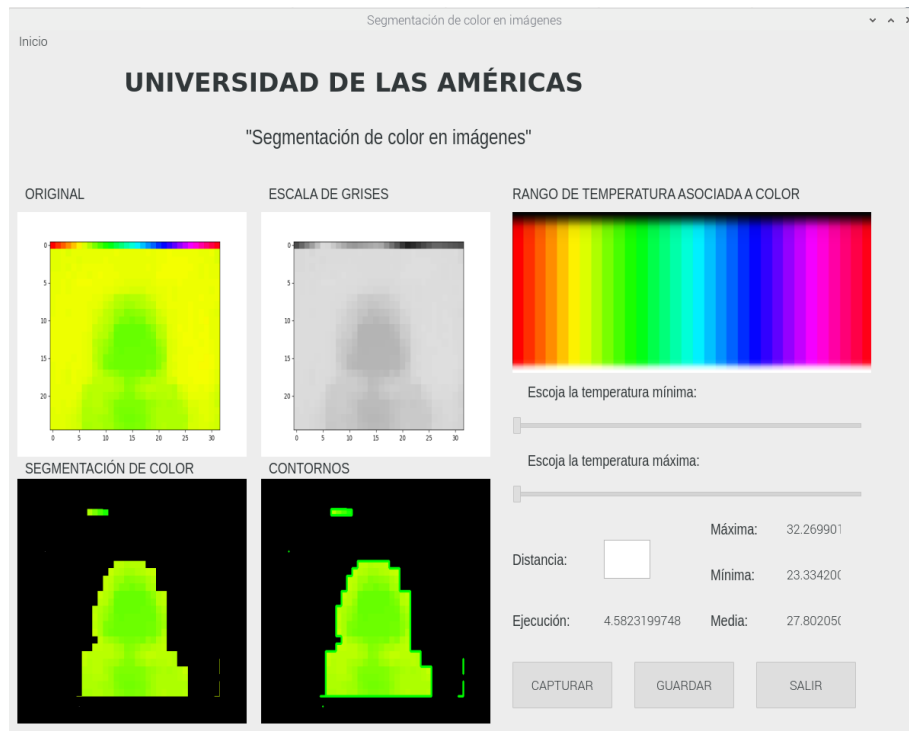


Figura 16. Interfaz gráfica del sistema correspondiente a la prueba 1.

II. Prueba 2

Tabla 3:

Comparativa de resultado de pruebas

| Parámetros | Instrumento comercial | Sistema de medición |
|-------------------------|------------------------------|----------------------------|
| Distancia a persona (m) | 0.5 | 0.5 |
| Temperatura (Celsius) | 36.5 °C | 29.47 °C |
| Ambiente | Indoor | Indoor |
| Mínimo (Celsius) | | 22.12 °C |
| Máximo (Celsius) | | 29.47 °C |

Se realiza la captura de datos obteniendo una imagen térmica y su imagen en escala de grises mismas que se ilustran en la Figura 17.

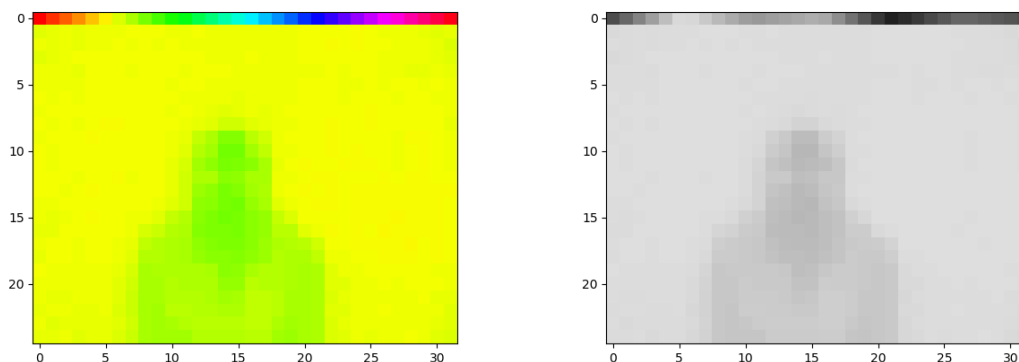


Figura 17. Imagen térmica y escala de grises de prueba 2

Posterior a esto se realiza la segmentación de la imagen e identificación de contornos, obteniendo una imagen segmentada junto a la misma imagen con contornos identificados. Las mencionadas se ilustran en la Figura 18.

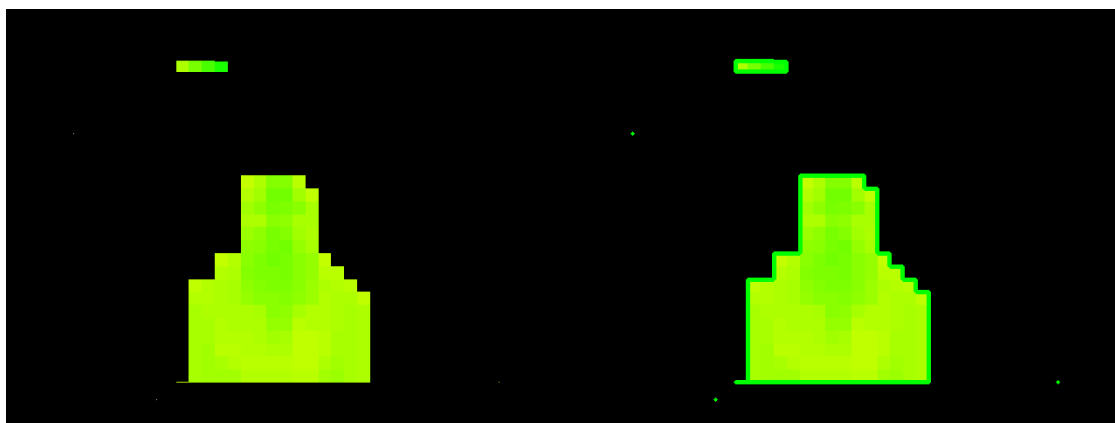


Figura 18. Imagen térmica segmentada y segmentada con contornos correspondiente a la prueba 2.

Todas estas imágenes junto a los valores de temperatura, distancia y tiempo de ejecución son mostradas en la interfaz gráfica como se ilustra en la figura 19.

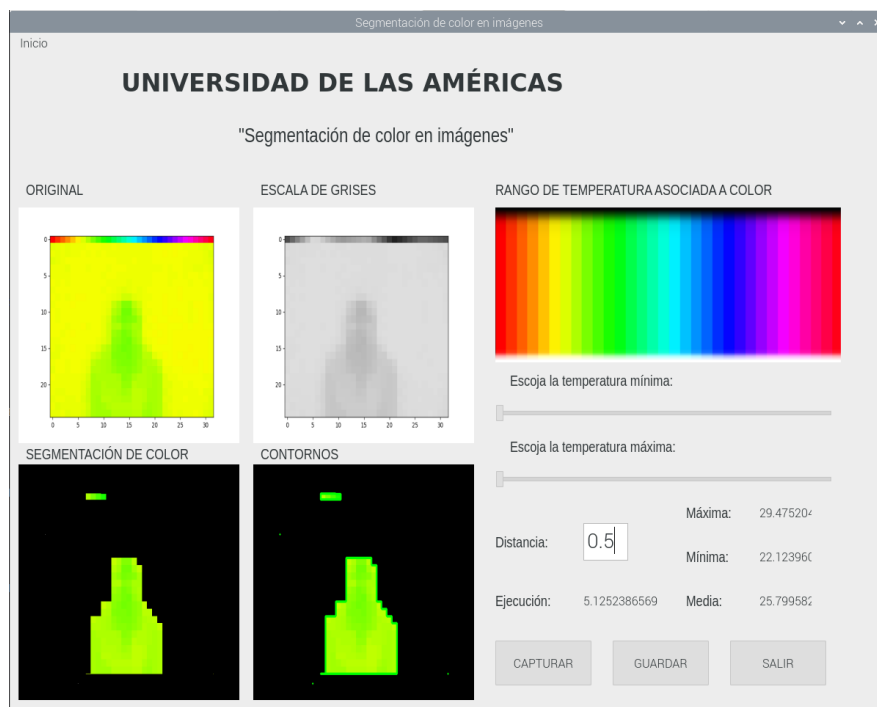


Figura 19. Interfaz gráfica del sistema correspondiente a la prueba 2.

III. Prueba 3

Tabla 4:

Comparativa de resultado de pruebas

| Parámetros | Instrumento comercial | Sistema de medición |
|-------------------------|-----------------------|---------------------|
| Distancia a persona (m) | 0.5 | 1 |
| Temperatura (Celsius) | 36.1 °C | 30.75 °C |
| Ambiente | Indoor | Indoor |
| Mínimo (Celsius) | | 21.94 °C |
| Máximo (Celsius) | | 30.75 °C |

Se realiza la captura de datos obteniendo una imagen térmica y su imagen en escala de grises mismas que se ilustran en la Figura 20.

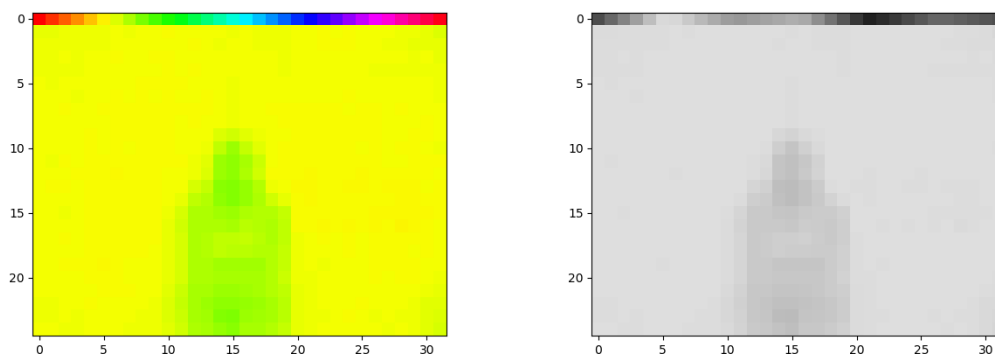


Figura 20. Imagen térmica y escala de grises de prueba 3.

Posterior a esto se realiza la segmentación de la imagen e identificación de contornos, obteniendo una imagen segmentada junto a la misma imagen con contornos identificados. Las mencionadas se ilustran en la Figura 21.



Figura 21. Imagen térmica segmentada y segmentada con contornos correspondiente a la prueba 3.

Todas estas imágenes junto a los valores de temperatura, distancia y tiempo de ejecución son mostradas en la interfaz gráfica como se ilustra en la figura 22.

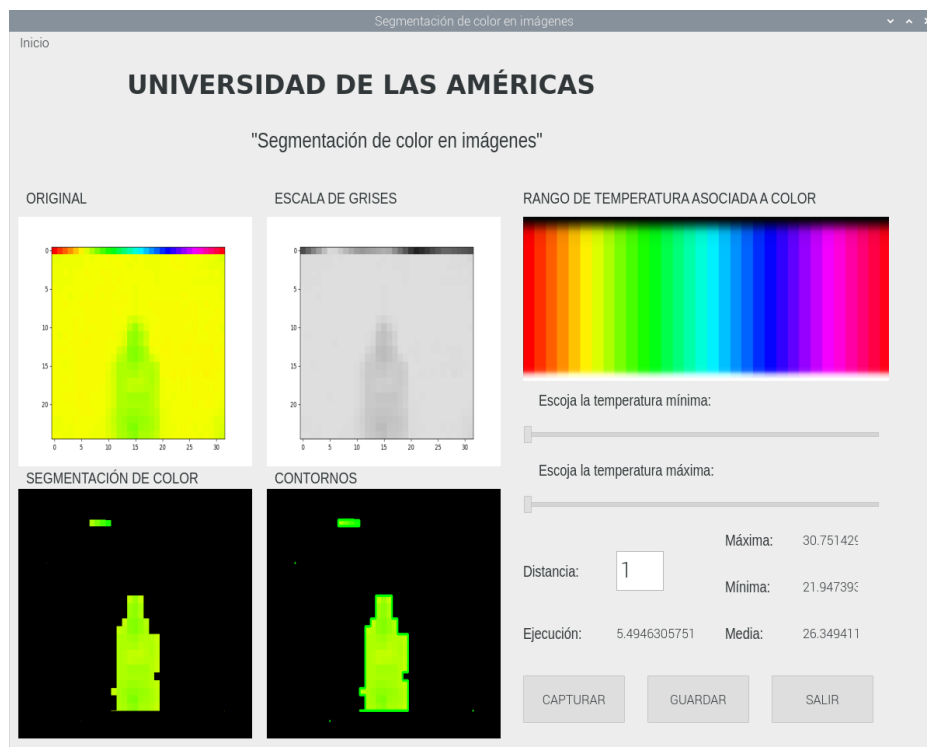


Figura 22. Interfaz gráfica del sistema correspondiente a la prueba 3.

4.2 Escenario 2

Como segundo escenario se escogió un ambiente exterior, el cual se encuentra en la azotea de una casa. En él se puede apreciar una bodega. El escenario tiene dimensiones 5.6m x 10m, mismo que se ilustra en la Figura 23.



Figura 23. Escenario 2

Se realizan varias pruebas en este ambiente con los parámetros descritos en las Tablas 5, 6 y 7. Todos respaldados con evidencia fotográfica.

I. Prueba 1

Tabla 5:

Comparativa de resultado de pruebas

| Parámetros | Instrumento comercial | Sistema de medición |
|-------------------------|------------------------------|----------------------------|
| Distancia a persona (m) | 0.5 | 2 |
| Temperatura (Celsius) | 36.1° | 26.56° |
| Ambiente | Outdoor | Outdoor |
| Mínimo (Celsius) | | 21.42° |
| Máximo (Celsius) | | 26.55° |

Se realiza la captura de datos obteniendo una imagen térmica y su imagen en escala de grises mismas que se ilustran en la Figura 24.

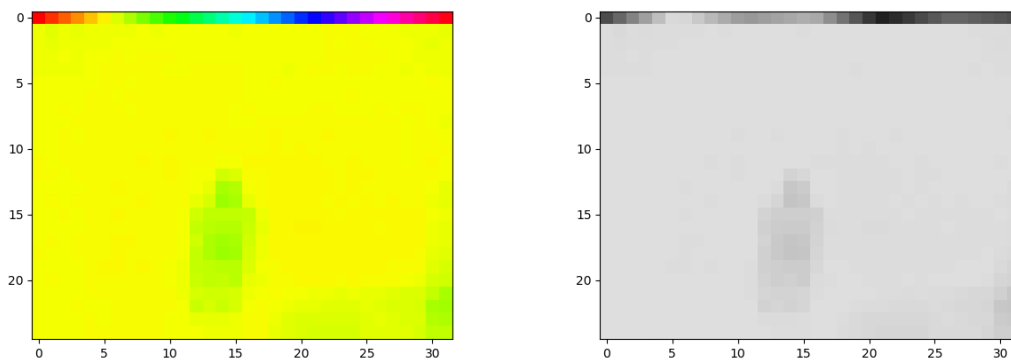


Figura 24. Imagen térmica y escala de grises de prueba 1.

Posterior a esto se realiza la segmentación de la imagen e identificación de contornos, obteniendo una imagen segmentada junto a la misma imagen con contornos identificados. Las mencionadas se ilustran en la Figura 25.

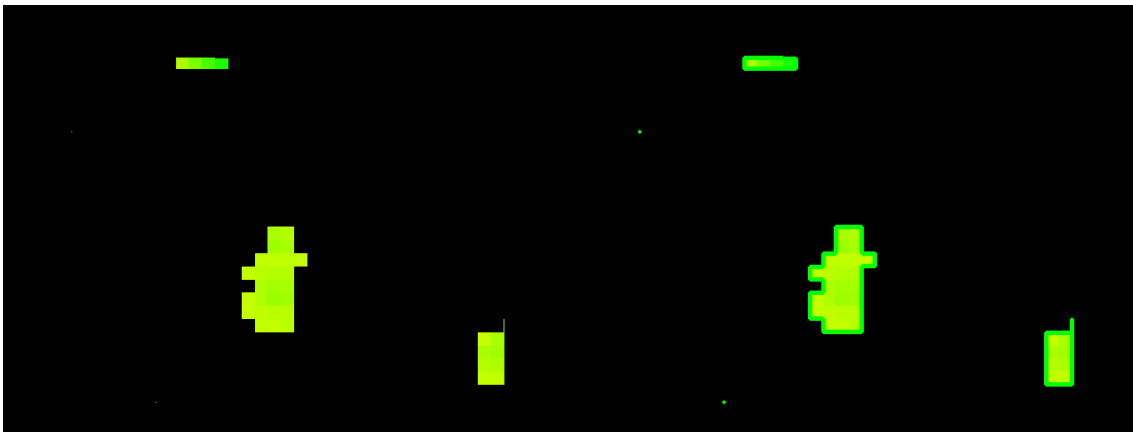


Figura 25. Imagen térmica segmentada y segmentada con contornos correspondiente a la prueba 1.

Todas estas imágenes junto a los valores de temperatura, distancia y tiempo de ejecución son mostradas en la interfaz gráfica como se ilustra en la figura 26.

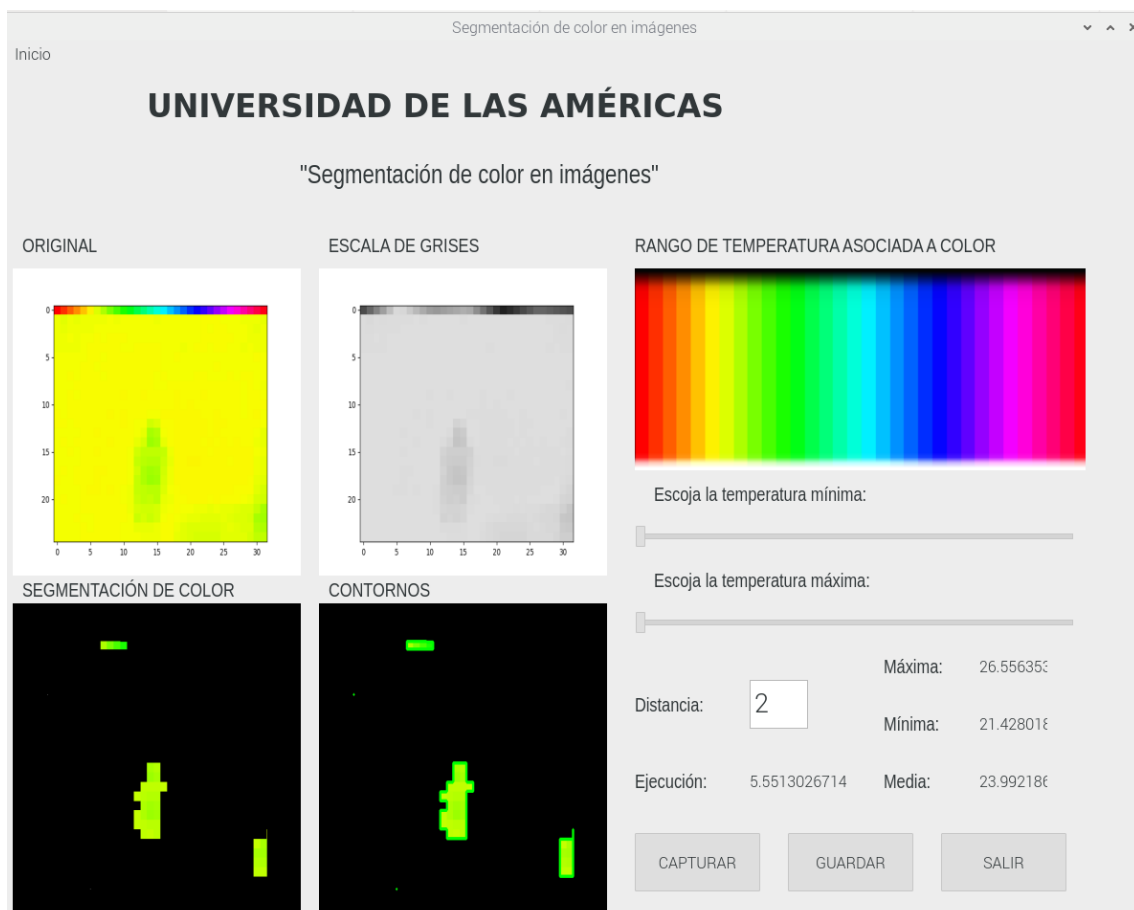


Figura 26. Interfaz gráfica del sistema correspondiente a la prueba 1.

II. Prueba 2

Tabla 6:

Comparativa de resultado de pruebas

| Parámetros | Instrumento comercial | Sistema de medición |
|-------------------------|------------------------------|----------------------------|
| Distancia a persona (m) | 0.5 | 3 |
| Temperatura (Celsius) | 36.5° | 24.88° |
| Ambiente | Outdoor | Outdoor |
| Mínimo (Celsius) | | 21.32° |
| Máximo (Celsius) | | 24.88° |

Se realiza la captura de datos obteniendo una imagen térmica y su imagen en escala de grises mismas que se ilustran en la Figura 27.

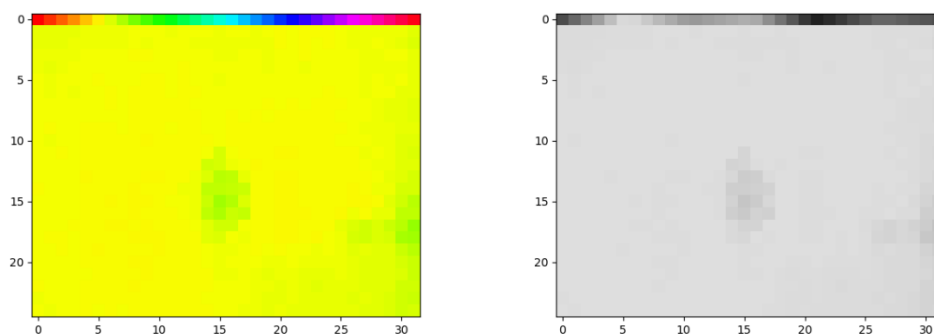


Figura 27. Imagen térmica y escala de grises de prueba 2.

Posterior a esto se realiza la segmentación de la imagen e identificación de contornos, obteniendo una imagen segmentada junto a la misma imagen con contornos identificados. Las mencionadas se ilustran en la Figura 28.

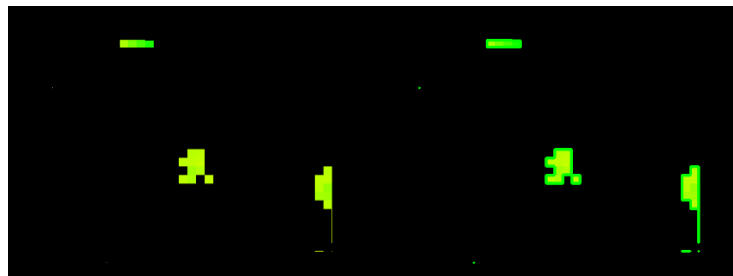


Figura 28: Imagen térmica segmentada y segmentada con contornos correspondiente a la prueba 2.

Todas estas imágenes junto a los valores de temperatura, distancia y tiempo de ejecución son mostradas en la interfaz gráfica como se ilustra en la figura 29.

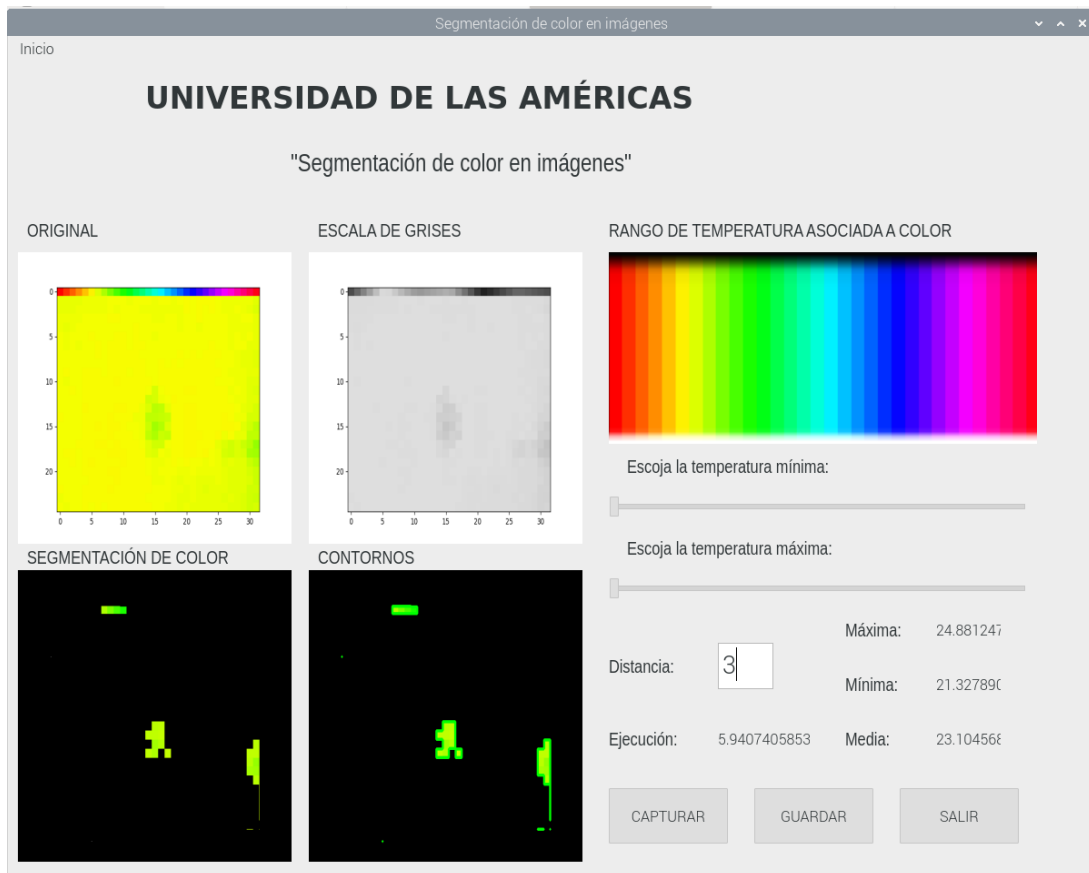


Figura 29. Interfaz gráfica del sistema correspondiente a la prueba 2.

III. Prueba 3

Tabla 7:

Comparativa de resultado de pruebas

| Parámetros | Instrumento comercial | Sistema de medición |
|-------------------------|------------------------------|----------------------------|
| Distancia a persona (m) | 0.5 | 4 |
| Temperatura (Celsius) | 36.9° | 29.36° |
| Ambiente | Indoor | Indoor |
| Mínimo | | 21.46° |
| Máximo | | 29.36° |

Se realiza la captura de datos obteniendo una imagen térmica y su imagen en escala de grises mismas que se ilustran en la Figura 30.

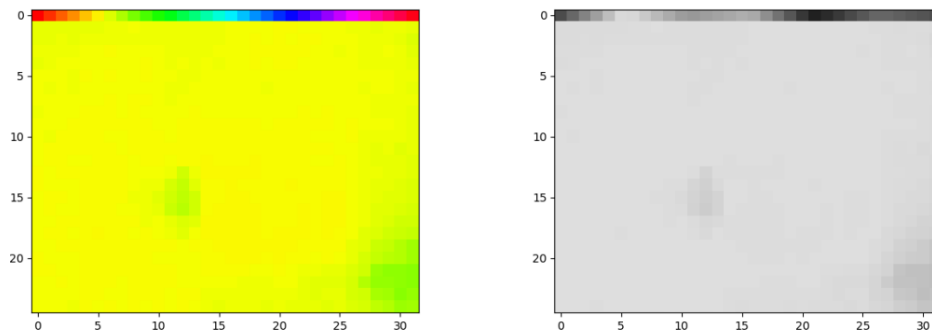


Figura 30. Imagen térmica y escala de grises de prueba 3.

Posterior a esto se realiza la segmentación de la imagen e identificación de contornos, obteniendo una imagen segmentada junto a la misma imagen con contornos identificados. Las mencionadas se ilustran en la Figura 31.

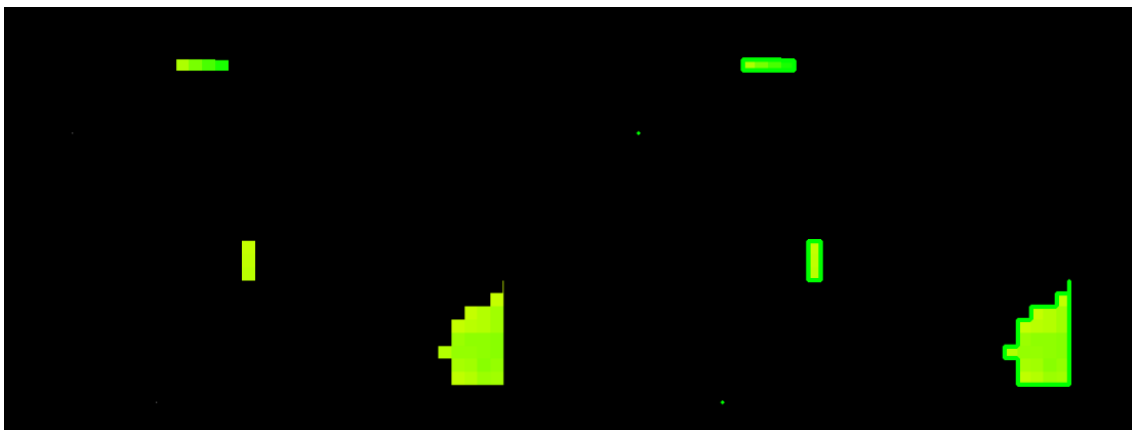


Figura 31. Imagen térmica segmentada y segmentada con contornos correspondiente a la prueba 3.

Todas estas imágenes junto a los valores de temperatura, distancia y tiempo de ejecución son mostradas en la interfaz gráfica como se ilustra en la figura 32.

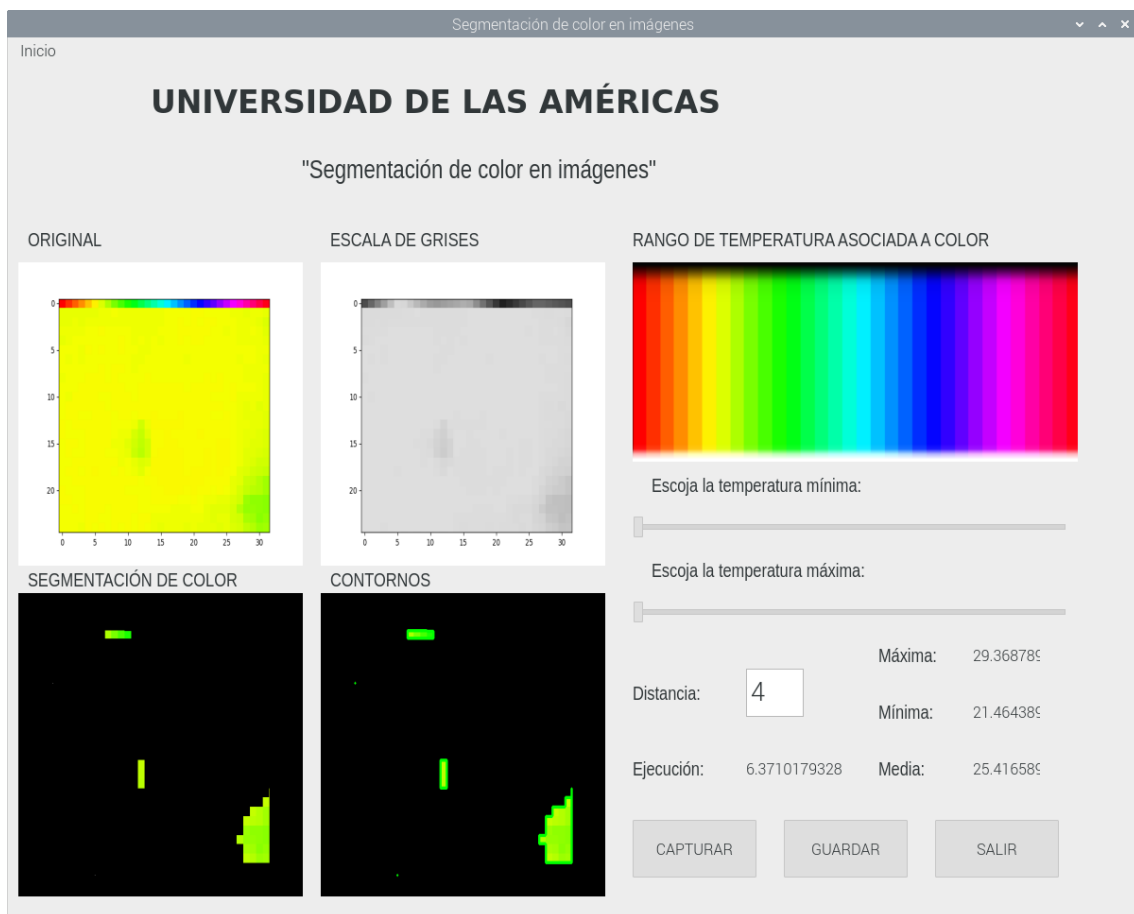


Figura 32. Interfaz gráfica del sistema correspondiente a la prueba 3.

5 Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

Las mediciones realizadas con el sistema implementado permiten obtener datos de temperatura de una persona dentro de un rango de 20°C a 36°C en sus valores máximos y mínimos dando una media dentro de estos rangos lo cual, comparando con un dispositivo comercial de medición de temperatura basado en tecnología infrarroja presenta un error de $\pm 3^\circ\text{C}$. Este error se encuentra asociado y está dentro de lo esperado, debido a que la cámara térmica en sus especificaciones menciona que se tiene ese rango de error. Estos resultados tuvieron un comportamiento lineal con pendiente constante negativa hasta los cuatro metros de distancia, fuera de ese rango no se distingue la imagen a segmentar del fondo y el valor de temperatura no es fiable.

Haciendo un análisis del estado del arte y después de una revisión bibliográfica con el presente documento se puede verificar que las imágenes térmicas tienen diferentes campos de aplicación, los que más se destacan: la industria, la seguridad, la agricultura, la salud.

Entre las distintas técnicas de segmentación la umbralización presentó resultados favorables como se muestran en el presente trabajo y cumple con los objetivos y características.

5.2 Recomendaciones

Para futuras mejoras se recomienda la implementación del mismo sistema con una cámara con mayor resolución y realizar un análisis de selección o comparativa de funcionamiento con alternativas de SBC (*single board computers*) o incluso microcontroladores.

Basado en las pruebas realizadas, se constató que existe un calentamiento excesivo en el procesador de la Raspberry Pi 3B+, por lo cual se recomienda agregar un mecanismo de enfriamiento y además utilizar adaptadores originales para la alimentación con el fin de evitar problemas eléctricos.

Se recomienda usar una sola carpeta para contener todos los programas y recursos asociados al trabajo y así evitar complicaciones.

Para poder corroborar de manera más precisa los datos obtenidos una opción es la de utilizar instrumentos comerciales de mejores características.

Referencias

- Abdel-Basset, M., Mohamed, R., Elhoseny, M., Chakraborty, R. K., & Ryan, M. (2020). A Hybrid COVID-19 Detection Model Using an Improved Marine Predators Algorithm and a Ranking-Based Diversity Reduction Strategy. *IEEE Access*, 8, 79521–79540. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2990893>
- Abdel-Qader, I., Yohali, S., Abudayyeh, O., & Yehia, S. (2008). Segmentation of thermal images for non-destructive evaluation of bridge decks. *NDT & E International*, 41(5), 395–405. <https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2007.12.003>
- Abdulrazaq, A. P. D. M., Zuhriyah, H., Al-Zubaidi, S., Karim, S., Ramli, R., & Yusuf, E. (2020). NOVEL COVID-19 DETECTION AND DIAGNOSIS SYSTEM USING IOT BASED SMART HELMET. *International Journal of Psychosocial Rehabilitation*, 24, 2296–2303. <https://doi.org/10.37200/IJPR/V24I7/PR270221>
- Adafruit. (2020). *Adafruit MLX90640 24x32 IR Thermal Camera Breakout - 110 Degree FoV*. <https://www.adafruit.com/product/4469>
- Adobe. (2018). *Modos de Color*. <https://helpx.adobe.com/mx/photoshop/using/color-modes.html#:~:text=Modo de color RGB,de una imagen en color.>
- Albuja Rivilla, R. W. (2020). *Implementación de un prototipo con raspberry PI para el reconocimiento de color y peso marcado en los cilindros de GLP para una empresa envasadora* [Universidad de las Américas]. <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/12106>
- Aponte Sierra, S. E. (2018). *Ambiente visual para el aprendizaje de los conceptos básicos asociados a la geometría*. [Escuela Colombiana de Ingeniería]. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/810>
- Arevalo, V., González, J., & Ambrosio, G. (2004). LA LIBRERÍA DE VISIÓN

ARTIFICIAL OPENCV APLICACIÓN A LA DOCENCIA E INVESTIGACIÓN.
Aplicación a La Docencia e Investigación, 61–66.
<http://mapir.isa.uma.es/varevalo/drafts/arevalo2004lva1.pdf>

Asociación de Profesores Amigos de la Ciencia Eureka (Cádiz, S. (2004). Revista eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias. In *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias - 2016*, 13 (3) - pp. 617-627. Asociación de Profesores Amigos de la Ciencia Eureka.
<http://hdl.handle.net/10498/18501>

Barber, F. (2016). *¿QUÉ ES UN PIXEL Y CUÁL ES SU FUNCIÓN EN FOTOGRAFÍA DIGITAL?* CocoSchool. <https://www.cocoschool.com/pixel-funcion-fotografia-digital/>

Castrillo Leal, Y. (2017). Evaluación de técnicas de segmentación de imágenes de ultrasonido por crecimiento de regiones /.
<Http://Biblioteca.Utb.Edu.Co/Notas/Tesis/0072989.Pdf>, 39.
<https://repositorio.utb.edu.co/handle/20.500.12585/1724#.XyMwbpATwNg>.
 mendeley

Diccionario de fotografía y diseño. (n.d.). *Escala de grises (grayscale)*. FotoNostra. <https://www.fotonostra.com/glosario/escalagrisesgrayscale.htm>

EcuRed. (2019a). *Imagen Digital*. https://www.ecured.cu/Imagen_digital

EcuRed. (2019b). *Textura (Artes visuales)*. EcuRed. [https://www.ecured.cu/index.php?title=Textura_\(Artes_visuales\)&action=history](https://www.ecured.cu/index.php?title=Textura_(Artes_visuales)&action=history)

Ekici, S., & Jawzal, H. (2020). Breast cancer diagnosis using thermography and convolutional neural networks. *Medical Hypotheses*, 137.
<https://doi.org/10.1016/j.mehy.2019.109542>

Eum, H., Lee, J., Yoon, C., & Park, M. (2013). Human action recognition for night vision using temporal templates with infrared thermal camera. *2013 10th*

International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI), 617–621. <https://doi.org/10.1109/URAI.2013.6677407>

Ferrer, V. (2020). *Cámaras Térmicas: Tipos y Marcas*. <https://vicentferrer.com/camaras-termicas/>

Foundation, R. P. (2018). *Raspberry Pi 3 Model B+*. RaspBerry Pi Foundation. <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>

García, C. (2020). *Las 4 mejores cámaras termográficas baratas y de calidad*. <https://www.4mejores.com/las-4-mejores-camaras-termograficas-baratas-y-de-calidad/>

Gil, P., Torres, F., & Ortiz, F. G. (2004). Detección de objetos por segmentación multinivel combinada de espacios de color. In *XXV Jornadas de Automática* (Vol. 25, Issue February). <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/2179>

Gordillo Gordillo, V. R., & Nacimba Coello, C. F. (2016). *Procesamiento de imágenes usando Raspberry PI* [Universidad de las Américas]. <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/5823>

Izquierdo, M., Lastra-Mejías, M., González-Flores, E., Cancilla, J. C., Pérez, M., & Torrecilla, J. S. (2020). Convolutional decoding of thermographic images to locate and quantify honey adulterations. *Talanta*, 209. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2019.120500>

Konica Minolta Sensing Americas, I. (2020). *Luminancia vs Iluminancia*. <https://sensing.konicaminolta.us/mx/blog/luminancia-vs-iluminancia/>

La, N., Palomino, S., & Concepción, L. P. (2010). Watershed: un algoritmo eficiente y flexible para segmentación de imágenes de geles 2-DE. *Revista De Investigación De Sistemas E Informática - Universidad Nacional Mayor De San Marcos*, 7(2), 7. http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/Publicaciones/risi/2010_n2/v7n2/a04

v7n2.pdf

- Lázaro, A. (2014). *Simulación con SolidWorks* (Empresa Editora Macro EIRL (ed.); 1st ed.). Empresa Editora Macro EIRL. https://books.google.es/books?hl=es&lr=lang_es&id=J7kuDgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA7&dq=Solidworks&ots=2hSPOw3sFw&sig=46rr6w0aMOV1ydgp u4l1uxj2U58#v=onepage&q=Solidworks&f=false
- Li, Y., Zhang, J., Gao, P., Jiang, L., & Chen, M. (2018). Grab Cut Image Segmentation Based on Image Region. *2018 IEEE 3rd International Conference on Image, Vision and Computing (ICIVC)*, 311–315. <https://doi.org/10.1109/ICIVC.2018.8492818>
- Lodato, L., Spampinato, L., Harris, A. J. L., Dehn, J., James, M. R., Pecora, E., Biale, E., & Curcuruto, A. (2008). Use of Forward Looking InfraRed thermal cameras at active volcanoes. *Istituto Nazionale Di Geofisica e Vulcanologia*. https://www.earth-prints.org/bitstream/2122/9990/1/Use_of_Forward_Looking....pdf
- Mantilla Santa Cruz, L. J. (2018). *Segmentación de imágenes provenientes de satélites usando un algoritmo Fuzzy-Probabilístico* [Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6010%09>
- Márquez Díaz, J. E. (2020). Deep Artificial Vision Applied to the Early Identification of Non-Melanoma Cancer and Actinic Keratosis. *Computación y Sistemas*, 24(2). <https://doi.org/10.13053/cys-24-2-2901>
- Martínez, J., Egea, G., Agüera, J., & Pérez-Ruiz, M. (2017). A cost-effective canopy temperature measurement system for precision agriculture: a case study on sugar beet. *Precision Agriculture*, 18(1), 95–110. <https://doi.org/10.1007/s11119-016-9470-9>
- MathWorks. (2019). *Pricing American Basket Options by Monte Carlo Simulation*.

- Support MatLab Documentation.
<https://la.mathworks.com/help/finance/examples/pricing-american-basket-options-by-monte-carlo-simulation-1.html>
- Milán, E. G., Salazar, E., Domínguez, E., Iborra, O., de la Fuente, J., & de Córdoba, M. J. (2015). *NEUROTERMOGRAFÍA Y TERMOGRAFÍA PSICOSOMÁTICA*. Fundación Internacional artecittà.
<https://books.google.es/books?id=P8AGCQAAQBAJ>
- Mordor. (2018). *Thermal Imaging Systems Market - Growth, Trends. And forecast (2019-2024)*. Mordor Intelligence.
<https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/global-thermal-imaging-systems-market-industry>
- Oktay, O., Ferrante, E., Kamnitsas, K., Heinrich, M., Bai, W., Caballero, J., Cook, S. A., de Marvao, A., Dawes, T., O'Regan, D. P., Kainz, B., Glocker, B., & Rueckert, D. (2018). Anatomically Constrained Neural Networks (ACNNs): Application to Cardiac Image Enhancement and Segmentation. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 37(2), 384–395.
<https://doi.org/10.1109/TMI.2017.2743464>
- Palomino, Nora La Serna, & Concha, U. R. (n.d.). *Técnicas de Segmentación en Procesamiento Digital de Imágenes*. 55.
http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/risi/2009_n2/v6n2/a02v6n2.pdf
- Revelo Rosero, J. H. (2019). *Implementación de una alarma basada en la detección de somnolencia para conductores de vehículos mediante visión artificial* [Universidad de las Américas].
<http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/11580>
- Robert, S. G., Bizon, N., & Oproescu, M. (2017). Predictive maintenance of electronics systems based on analysis with thermographic camera and fuzzy graphs. *Proceedings of the 9th International Conference on Electronics*,

- Computers and Artificial Intelligence, ECAI 2017, 2017-Janua*, 1–4.
<https://doi.org/10.1109/ECAI.2017.8166410>
- Rojas, J. (2020). *Cámaras térmicas: cómo funcionan, tipos y marcas de seguridad*. Tecnoseguro.
<https://www.tecnoseguro.com/analisis/pro/camaras-termicas-como-funcionan-tipos-marcas-seguridad>
- Rubira, J. (2011). *Tratamiento de imágenes I: Escala de grises*. Genbeta.
<https://www.genbeta.com/desarrollo/tratamiento-de-imagenes-i-escala-de-grises>
- Sites Google. (n.d.). *Procesamiento De Imágenes en OpenCV*. Retrieved August 8, 2020, from
<https://sites.google.com/site/cg05procesamientodeimagenes/home/threshold-umbralizacion>
- Song, J., Abdelrahman, & Eric, A. (2009). Use of a Thermal Camera during Asphalt Pavement Construction. *Civil, Architectural and Environmental Engineering Faculty Research & Creative Works*, 58.
http://www.dot.nd.gov/divisions/materials/research_project/ndsu0801final.pdf
- Umadevi, V., Raghavan, S. V., & Jaipurkar, S. (2011). Framework for estimating tumour parameters using thermal imaging. *Indian Journal of Medical Research*, 134(11), 725–731. <https://doi.org/10.4103/0971-5916.91012>
- Vadivambal, R., & Jayas, D. S. (2011). Applications of Thermal Imaging in Agriculture and Food Industry—A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 4(2), 186–199. <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0333-5>
- Van Rossum, G. (2009). *Tutorial Python*. 55. <http://ralsina.me/static/tutorial-8.pdf>
- Wang, W., Zeng, Y., Ma, D., Jin, Z., Wu, H., Yuan, C., Yuan, Y. E., Liu, Z., Wang, C., & Qi, H. (2004). Clinical study on using thermal texture maps in SARS

diagnosis. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology - Proceedings*, 26 VII, 5258–5264. <https://doi.org/10.1109/iembs.2004.1404469>

Wong, W. K., Tan, P. N., Loo, C. K., & Lim, W. S. (2009). An effective surveillance system using thermal camera. *2009 International Conference on Signal Acquisition and Processing, ICSAP 2009*, 13–17. <https://doi.org/10.1109/ICSAP.2009.12>

Xu, Z., Wang, Q., Li, D., Hu, M., Yao, N., & Zhai, G. (2020). Estimating departure time using thermal camera and heat traces tracking technique. *Sensors (Switzerland)*, 20(3). <https://doi.org/10.3390/s20030782>

