



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**“ESTUDIO, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN
PROTOTIPO ELECTRÓNICO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE
PARÁMETROS DE CALIDAD EN NARANJA BLANCA
UTILIZANDO VISIÓN ARTIFICIAL.”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Dispositivo Tecnológico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTOR:

SANTIAGO RENAN REMACHE LLIGUISUPA

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**“ESTUDIO, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN
PROTOTIPO ELECTRÓNICO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE
PARÁMETROS DE CALIDAD EN NARANJA BLANCA
UTILIZANDO VISIÓN ARTIFICIAL.”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Dispositivo Tecnológico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTOR: SANTIAGO RENAN REMACHE LLIGUISUPA

DIRECTOR: ING. EDWIN VINICIO ALTAMIRANO SANTILLAN

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, Santiago Renan Remache Lliguisupa

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Santiago Renan Remache Lliguisupa, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 02 del Junio del 2022



Santiago Renan Remache Lliguisupa

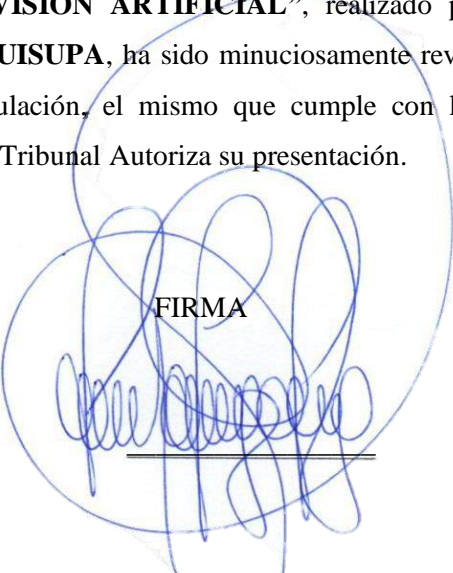
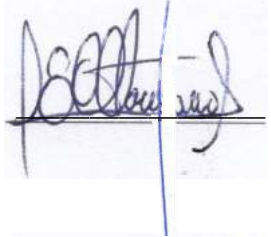
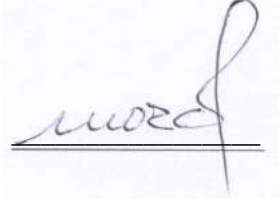
0604655225

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo: Dispositivo Tecnológico, **“ESTUDIO, DISEÑO E IMPLMETACIÓN DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE PARAMENTROS DE CALIDAD EN NARANJA BLANCA, UTILIZANDO VISIÓN ARTIFICIAL”**, realizado por el señor: **SANTIAGO RENAN REMACHE LLIGUISUPA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Jorge Luis Paucar Samaniego. Mgs. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-06-02
Ing. Edwin Vinicio Altamirano Santillán. Mgs DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN		2022-06-02
Ing. Franklin Geovanni Moreno Montenegro. Mgs. MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2022-06-02

DEDICATORIA

Este gran logro se lo dedico a mis padres por ser un ejemplo de perseverancia, por su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, por siempre confiar en mí, y especialmente por el esfuerzo que día a día hicieron para que a mis hermanos y a mí nunca nos falte nada, a mi familia y amigos por la confianza que siempre me tienen.

Santiago

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme las bendiciones para cumplir este gran reto, a mis padres por el amor y esfuerzo que hicieron para lograr mi objetivo, por ser personas humildes, perseverantes y trabajadoras, por cada consejo que me brindaron para ser una persona llena de valores. A mi hermano por apoyarme en todos los aspectos y por ser un amigo incondicional.

Agradecer al Ing. Edwin Altamirano director del trabajo de titulación que con su experiencia y conocimientos ha encaminado para que pueda terminar este trabajo con éxito.

Agradecer al Ing. Jorge Luis Paucar, quien me ha brindado su ayuda para poder culminar este trabajo de titulación.

Santiago

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	xvi
RESUMEN	xvii
ABSTRACT.....	xviii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL	6
1.1. Control de calidad de frutos.....	6
1.1.1. Norma NTE 2844 estándares para la naranja	6
1.1.2. ISO 22000:2005	7
1.1.3. CODEX STAN 245-2004	7
1.1.4. Usos de máquinas de control de calidad para naranjas	7
1.2. TIPOS DE NARANJAS.....	8
1.2.1. Valencia Late (Naranja Blanca).....	8
1.2.2. Naranja Navelina.....	9
1.2.3. Naranja Washington.....	10
1.2.4. Inteligencia Artificial.....	10
1.3. Visión artificial.....	11

1.3.1.	<i>Elementos de un sistema de visión artificial</i>	11
1.3.2.	<i>Fuentes de luz</i>	11
1.4.	Procesamiento Digital de Imágenes (PDI)	12
1.4.1.	<i>La imagen digital</i>	13
1.4.2.	<i>Etapas del procesamiento Digital de Imágenes</i>	13
1.4.2.1.	<i>Captura</i>	13
1.4.2.2.	<i>Pre-Procesamiento</i>	13
1.4.2.3.	<i>Segmentación</i>	13
1.4.3.	<i>Métodos de procesamiento de imágenes</i>	14
1.4.3.1.	<i>Método de la discontinuidad</i>	14
1.4.3.2.	<i>Método de Similitud</i>	14
1.4.3.3.	<i>Extracción de características</i>	15
1.4.3.4.	<i>Identidad de Objeto</i>	15
1.5.	Hardware	15
1.5.1.	<i>Raspberry PI</i>	16
1.5.2.	<i>Sensores</i>	17
1.5.2.1.	<i>Cámara</i>	18
1.5.2.2.	<i>Sensor inductivo</i>	18
1.5.2.3.	<i>Sensor Capacitivo</i>	18
1.5.2.4.	<i>Sensor Infrarrojo</i>	19
1.5.3.	<i>Actuadores del prototipo</i>	19
1.5.3.1.	<i>Servomotores</i>	19
1.6.	Software	19
1.6.1.	<i>SolidWorks</i>	19
1.6.2.	<i>SI Raspbian</i>	20
1.6.3.	<i>Python</i>	21
1.6.4.	<i>VNC Viewer</i>	22
1.6.5.	<i>Open CV</i>	22

CAPÍTULO II

2.	PROPUESTA Y DISEÑO DEL PROTOTIPO.....	24
2.1.	Requerimientos del prototipo.....	24
2.2.	Descripción del Prototipo clasificador de naranjas	24
2.3.	Componentes Hardware del prototipo	25
2.3.1.	<i>Placa de desarrollo Raspberry pi 4</i>	<i>25</i>
2.3.2.	<i>Servomotores.....</i>	<i>27</i>
2.3.3.	<i>Pantalla HMI.....</i>	<i>28</i>
2.3.4.	<i>Cámara Raspberry V2.1.....</i>	<i>29</i>
2.3.5.	<i>Motor DC para banda</i>	<i>30</i>
2.3.6.	<i>Sistema de iluminación.....</i>	<i>31</i>
2.3.7.	<i>Sensor de presencia.....</i>	<i>31</i>
2.4.	Diseño de la estructura del prototipo	33
2.4.1.	<i>Soporte para la cámara y la iluminación</i>	<i>33</i>
2.4.2.	<i>Contenedor de naranjas.....</i>	<i>34</i>
2.4.3.	<i>Ambiente de adquisición de imágenes.....</i>	<i>35</i>
2.5.	Diseño de la Banda Transportadora.....	35
2.5.1.	<i>Recubrimiento.....</i>	<i>35</i>
2.5.2.	<i>Motor.....</i>	<i>36</i>
2.6.	Diseño del sistema electrónico.....	37
2.7.	Algoritmo de selección de calidad de las naranjas	38
2.7.1.	<i>Diagrama por etapas del prototipo de selección de calidad de las naranjas.....</i>	<i>39</i>
2.7.2.	<i>Líneas de programación en Python para la captura de imágenes</i>	<i>39</i>
2.8.	Preprocesamiento de la imagen	40
2.8.1.	<i>Filtros utilizados en el preprocesamiento de la selección de la naranja.....</i>	<i>40</i>
2.8.1.1.	<i>Filtro de mediana.....</i>	<i>40</i>
2.8.1.2.	<i>Filtro Gaussiano.....</i>	<i>41</i>
2.8.2.	<i>Contraste de la imagen capturada</i>	<i>42</i>
2.9.	Segmentación de la imagen.	42
2.9.1.	<i>Binarización.....</i>	<i>42</i>

2.9.1.1.	<i>Binarización en rango</i>	43
2.9.2.	<i>Detección de bordes de la naranja</i>	44
2.9.3.	<i>Aproximación del contorno a figuras geométricas</i>	45
2.10.	Métodos para medir el tamaño	45
2.10.1.	<i>Método para encontrar el diámetro de la naranja mediante el perímetro</i>	47
2.10.2.	<i>Método para encontrar el diámetro mediante el área</i>	47
2.10.3.	<i>Método para hallar el diámetro de la naranja mediante el borde inscrito en una circunferencia</i>	47
CAPÍTULO III		
3.	VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO	49
3.1.	Medición de diámetro usando el método del perímetro comparado con una medición manual	49
3.2.	Medición del diámetro de la naranja usando el método del área	56
3.3.	Medición del diámetro de la naranja usando el método de una circunferencia aproximada	60
3.4.	Prueba de precisión de la detección de color	65
3.5.	Consumo de energía del prototipo	69
CAPÍTULO IV		
4.	EVALUACION ECONÓMICA	72
4.1.	Relación Costo/beneficio	72
CONCLUSIONES		73
RECOMENDACIONES		74
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Comparación entre Raspberry pi 4 y Tinker Board 2s	26
Tabla 2-2:	Características del servomotor	28
Tabla 3-2:	Características de la pantalla 3,5plg para Raspberry pi	29
Tabla 4-2:	Características técnicas de la cámara para Raspberry pi	30
Tabla 1-3:	Categorización de la norma NTE2844	50
Tabla 2-3:	Mediciones con el método del perímetro y mediciones manuales	51
Tabla 3-3:	Mediciones con el método del área y mediciones manuales	57
Tabla 4-3:	Mediciones con el método de la circunferencia y mediciones manuales	62
Tabla 5-3:	Diferentes aspectos de coloración	67
Tabla 6-3:	Resultados obtenidos	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Diseño propuesto para el prototipo electrónico para el monitoreo y control de calidad de naranjas.	4
Figura 2-1:	Naranja tardía	9
Figura 3-1:	Naranja navelina.....	9
Figura 4-1:	Naranja Whashintong.....	10
Figura 5-1:	Iluminación Frontal.	12
Figura 6-1:	Iluminacion Lateral.	12
Figura 7-1:	Segmentación orientada a bordes.	14
Figura 8-1:	Segmentación orientada a regiones	15
Figura 9-1:	Raspberry pi.....	16
Figura 10-1:	Puertos GPIO.	17
Figura 11-1:	Funcionamiento del sensor inductivo	18
Figura 12-1:	Entorno grafico de SolidWorks.	20
Figura 13-1:	Entorno grafico de CURA.	20
Figura 1-2:	Tarjeta de desarrollo Raspberry pi 4 B	26
Figura 2-2:	Servomotor MG996r	27
Figura 3-2:	Pantalla de 3,5 plg para Raspberry.....	28
Figura 4-2:	Cámara de Raspberry pi.....	29
Figura 5-2:	Tipos de cámara según su distancia focal y angulo de visión.....	30
Figura 6-2:	Sistema de iluminación del prototipo.....	31
Figura 7-2:	Circuito del sensor de presencia.....	32
Figura 8-2:	Sensor de presencia.....	32
Figura 9-2:	a)PCB del Sensor de presencia b) Circuito acoplado al prototipo.....	33
Figura 10-2:	Diseño del soporte para la cámara y la iluminación	34
Figura 11-2:	Contenedor de naranjas.....	34
Figura 12-2:	Mesa de adquisición de imágenes	35
Figura 13-2:	Fuerzas que intervienen en la banda trasportadora.....	37
Figura 14-2:	Esquema electrónico del Prototipo.....	37
Figura 15-2:	Librerías necesarias para procesar imágenes.....	39
Figura 16-2:	a) Imagen con filtro de mediana b) imagen sin filtro	41
Figura 17-2:	a) Imagen con filtro gaussiano b) imagen sin filtro	41
Figura 18-2:	a) Imagen a escala de grises b) Histograma de la imagen	42

Figura 19-2:	a) Imagen con fallos umbralizada b) Imagen con fallos	43
Figura 20-2:	a) Imagen a escala de grises b) Imagen Umbralizada.....	43
Figura 21-2:	a) Imagen en RGB b) Imagen binarizada por rango.....	44
Figura 22-2:	Imagen con borde	44
Figura 23-2:	Imagen con borde mejorado.....	45
Figura 24-2:	Código para encerrar en una circunferencia el objeto	45
Figura 25-2:	Imagen encerrada por una circunferencia	45
Figura 26-2:	Objeto de referencia.....	46
Figura 27-2:	Objeto segmentado	46
Figura 28-2:	Objeto medido manualmente	47
Figura 1-3:	Anillo de luz	50
Figura 2-3:	a) Medición manual b)Medición por el método del perímetro	51
Figura 3-3:	Desfase de borde.....	55
Figura 4-3:	a) Medición manual b)Medición por el método del área.....	56
Figura 5-3:	Borde inscrito en una circunferencia.....	61
Figura 6-3:	a) Medición manual b)Medición por el método de la circunferencia	61

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1:	Etapas del procesamiento digital.....	13
Gráfico 2-1:	Etapas de un sistema de control	17
Gráfico 1-2:	Descripción del proceso del dispositivo.....	24
Gráfico 2-2:	Diagrama de flujo para el Prototipo	38
Gráfico 3-2:	Etapas del procesamiento de imágenes mediante visión artificial.....	39
Gráfico 1-3:	Resultado del error de la muestra del método del perímetro	55
Gráfico 2-3:	Resultado del error de la muestra del método del área	60
Gráfico 3-3:	Resultado del error de la muestra del método de la circunferencia	65

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-2: Calculo de torque necesario para el servo.	27
Ecuación 2-2: Ecuación para el cálculo de potencia del motor.....	36
Ecuación 3-2: Ecuacion para hallar el diámetro conociendo el perímetro.	47
Ecuación 4-2: Ecuación para hallar el diámetro conociendo el área.....	47
Ecuación 3-2: Ecuacion para hallar el diámetro conociendo el radio de la circunferencia.....	47

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Manual de usuario.

ANEXO B: Código del Algoritmo.

ANEXO C: Proceso de implementación.

ANEXO D: Piezas modeladas del prototipo

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

AC: Alternating Current

CPU: Central Processing Unit

CSI: Camera Serial Interface

DC: Direct Current

DSI: Display Serial Interface

GB: Giga Byte

GPIO: General Purpose Input Output

GPU: Graphics Processing Unit

HMI: Human Machine Inteface

IA: Inteligencia Artificial

INEN: Instituto Nacional Ecuatoriano de Normas

ISO: International Organization for Standardization

LAN: Local Area Network

LCD: Liquid Crystal Display

NTE: Norma Técnica Ecuatoriana

OPENCV: Open Computer Vision

PCB: Printed Circuit Board

PDI: Procesamiento Digital de Imágenes

RAM: Random Access Memory

RGB: Red Green Blue

SD: Secure Digital

SSH: Secure Shell

USB: Universal Serial Bus

VNC: Virtual Network Computing

VPN: Virtual Private Network

RESUMEN

En este trabajo de titulación consistió en diseñar e implementar un prototipo electrónico para la identificación de parámetros de calidad en la naranja blanca utilizando visión artificial. Para esto, se diseñó un ambiente controlado acoplado a una banda transportadora para poder seleccionar las naranjas por medio de un algoritmo usando visión artificial desarrollado en Python, donde se usó la librería especializada para visión artificial que es openCV en una tarjeta embebida Raspberry pi cuatro B, el cual se usó también para poder controlar los diferentes actuadores que conforma el prototipo. El proceso se inicia soltando una naranja y mediante la banda transportadora le ubicamos de tal forma que pueda capturar una foto para posteriormente preprocesarla segmentarla y procesarla para adquirir información de cada una de las naranjas, teniendo de referencia un objeto se mide el diámetro, el otro parámetro es el color de la naranjas para lo cual se selecciona las naranjas que tengan un color uniforme de maduración y con un margen de tolerancia de 5% en el total de su superficie, con estos parámetros se decide si la naranja es apta o no para la comercialización. Mediante las pruebas realizadas para este prototipo se obtuvo que el prototipo tiene un margen de error del 1,3% para la medición del diámetro que corresponde a 1,5mm aproximadamente dependiendo de cada naranja, para la selección del color y las imperfecciones con un error de 3% con relación a una selección manual, esto con un consumo de energía de 23W. En base a las pruebas realizadas se concluye que el algoritmo con el método de inscribir el borde de la naranja en una circunferencia es el más apropiado para esta aplicación. Se aconseja incorporar un sistema de lavado de naranjas previo al prototipo para mejorar el proceso y la efectividad del algoritmo.

Palabras clave: <PROTOTIPO ELECTRÓNICO> <VISIÓN ARTIFICIAL>
<PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES> <AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS>
<BANDATRANSPORTADOR>.

1231-DBRA-UTP-2022



ABSTRACT

The present degree work consisted in the design and implementations of an electronic prototype for the identification of quality parameters for white oranges using artificial intelligence. For this, a controlled environment was designed coupled to a conveyor belt to be able to select the oranges by means of an algorithm using artificial vision in which OpenCV specialized library for artificial vision was used in a Raspberry pi four B embedded card, which was also used to control different actuators that make up the prototype. The process begins by releasing an orange through the conveyor belt and it is placed in such a way that it can capture a photo to later pre-process it, segment it and process it to acquire information on each of the oranges, having one object as a reference, the diameter is measured. Other parameter is the color of the orange for which, oranges that have a uniform color of ripeness and with a tolerance margin of 5% in the total surface are selected. With these parameters, it is decided if the orange is suitable or not for commercialization. Through the tests carried out for this prototype, it was obtained that it has a margin of error of 1.3% for the measurement of the diameter that corresponds to approximately 1.5 mm depending on each orange, for the selection of the color and the imperfections with an error of 3% in relation to a manual selection and with a power consumption of 23W. Based on the tests carried out, it is concluded that the algorithm with the method of inscribing the edge of orange in a circumference is the most appropriate for this application. It is advisable to incorporate an orange washing system prior to the prototype to improve the process and the effectiveness of the algorithm.

Key words: <ELECTRONIC PROTOTYPE> <ARTIFICIAL VISION> < DIGITAL IMAGE PROCESSING> < AUTOMATION OF PROCESSES > <CONVEYOR BELT>



Lic. Nelly Padilla P. Mgs.

0603818717

INTRODUCCIÓN

Nuestro país posee un gran potencial en el sector de producción de frutas por su diversidad de climas y su ubicación estratégica para el cultivo y exportación y ha venido incrementando este sector productivo llegando a exportar ochenta millones de dólares. El sector agrícola es uno de los más importantes para el desarrollo del país sin embargo la producción, manejo de la fruta, transporte, selección, empaquetado se lleva a cabo de forma manual lo que lo convierte en una cadena altamente ineficiente por los tiempos y el mal manejo de los frutos por parte de los productores, distribuidores y exportadores, esto les ha llevado a buscar la forma de mejorar sus procesos para el manejo adecuado de las frutas en vista de eso se ve la necesidad de buscar una forma de control de calidad electrónico. (Arreaga Gómez 2017)

En los últimos años los avances tecnológicos han influido en la agricultura, por lo que han cambiado considerablemente para bien el modo del trabajo de los agricultores, investigadores y todo el personal del sector agrícola. El sector agrario no está alejado de la evolución tecnológica y se puede afirmar que pronto se generalizara el uso de la informática, la inteligencia artificial y la robótica en la agricultura. Inclusive en los países más pobres están impulsando el cambio del conocimiento agrícola y de los sistemas de la información.

El cultivo de naranjas es muy importante en nuestro país ya que es un negocio rentable pero no es aprovechado de una forma eficiente por que básicamente sus procesos de selección de calidad son manuales y el tiempo que toma afecta notablemente a su rentabilidad. La producción no se mercantiliza en su totalidad siguiendo un proceso englobado por una serie de etapas como el acopio y transporte. Un estudio realizado en la Universidad Técnica de Babahoyo concluye que los productores de naranja tienen poca asistencia técnica por parte de las instituciones encargadas del sistema agrícola, así como un nulo apoyo de organizaciones de desarrollo, por lo que este trabajo pretende buscar una solución viable para la selección de calidad de las naranjas usando visión artificial para los productores locales y así puedan aumentar su competitividad con una inversión razonable. (Campelo Valle 2020)

La creciente demanda de frutas de excelente calidad para el consumo local y la exportación en nuestro país ha fomentado a la creación de nuevas técnicas de visión por computadora en la inspección de calidad de los productos agrícolas lo que ha llevado a la necesidad de encontrar una alternativa a métodos manuales de inspección para eliminar el contacto con el producto y aumentar la fiabilidad e introducir flexibilidad a las líneas de control e incrementar la productividad y competitividad de los negocios que se dedican a esta actividad económica. El control de calidad suele ser visual y llevada a cabo por personas con experiencia sin embargo se

trata de tareas repetitivas propensas a errores lo que conlleva a pérdidas económicas, pero pueden ser automatizadas usando técnicas de visión artificial. Por lo general los sistemas artificiales de control de calidad no solo pueden sustituir a la inspección manual, sino que también permiten mejorar sus capacidades. Los sistemas de control de calidad para las frutas requieren imágenes mediante una cámara digital, las que se someten a un procesamiento previo para posteriormente ser inspeccionadas usando un algoritmo recursivo y de etiquetado mediante una computadora o sistemas embebidos calculando así defectos, áreas dañadas etc.(Larcher et al. 2016)

En varias Universidades del país se han realizado trabajos de titulación dedicadas al control de calidad de frutas mediante visión artificial y han tenido como resultado un 94% de similitud al control realizado por personas expertas en calidad de frutas además que los sistemas superan en velocidad al control realizado por humanos. Estos trabajos han tenido éxito en selección de frutas usando tanto visión artificial con luz visible como con visión artificial multiespectral. En las encuestas realizadas a los productores de estos frutos concuerdan en invertir en estos procesos para agilizar el control de calidad de sus productos y a largo plazo es un ahorro de tiempo y dinero. (Negrete y Llaguno 2017)

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué es necesario para el estudio, diseño e implementación de un prototipo electrónico de identificación de parámetros de calidad de naranja blanca en tiempo real utilizando visión artificial?

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Así como la población aumenta también aumenta la demanda de alimentos haciendo que las empresas dedicadas a esta actividad busquen procesos más rápidos de selección de calidad para suplir con la demanda de los consumidores y el cultivo de frutas no es la excepción por lo que cada vez más se ha investigado métodos de control de calidad y en los últimos años ha tomado fuerza, la presencia de nuevas tecnologías en la agricultura principalmente en Europa se han mejorado la selección de calidad en las frutas. La exigencia de la demanda de los frutos cítricos exige cada vez más mayor calidad en el producto, el control por máquinas jamás será mejor que el realizado por humanos, pero se puede lograr una aproximación y con una velocidad superior a la humana, por ejemplo, en España está muy avanzado el uso de tecnologías para el control de calidad de estos frutos ya que es una actividad muy importante en ese país por lo que invierten mucho dinero en hacer ese proceso más eficiente y rápido. Un estudio realizado en España en UJI se usó un sistema para seleccionar diferentes cítricos mediante visión artificial con una velocidad

hasta de 10 frutas por segundo con una similitud de 94% con relación al control humano. (Negrete y Llaguno 2017)

En una investigación realizada por el servicio de investigación agrícola en España se utilizó un sistema de visión artificial para identificar defectos superficiales en manzanas como moretones, donde las imágenes en escala de grises detectaron los defectos mediante áreas oscuras. El método se basa en rotar las manzanas frente a la cámara mientras se ven varias imágenes y la prueba se realizó con 54 manzanas Pink Lady con 56 defectos, el sistema detectó 52 lo que es un 94%, mientras proporcionaba 2 falsos positivos. La presencia de defectos en la piel de las frutas afecta en la calidad y precio ya que los consumidores asocian la calidad con el aspecto que tiene por esta razón las empacadoras exigen que sistemas más complejos que sean capaces de detectar defectos en la piel sin reconocerlos erróneamente como el tallo de la fruta. Sin embargo, más allá de detectar los defectos, también es necesario conocer que tipos de defectos están dañando el producto para poder separar lo podrido o gravemente dañado que deben ser rechazados, de otros que contienen daños leves que solo afecta a su apariencia y también es necesario identificar si está contaminado por alguna plaga que pueda llegar a afectar al resto de las frutas en buen estado. Hoy en día el costo de procesamiento es cada vez más bajo lo que conlleva a un mejor procesamiento de los datos en menor tiempo en consecuencia se pueden usar mejores imágenes y algoritmos más complejos. La mayoría de los sistemas de visión por computadora se utilizan para la inspección automática de la calidad de alimentos, pero se limitan al campo visible al ojo humano sin embargo la información no visible como los infrarrojos o los ultravioletas pueden proporcionar más información para saber de daños que no se pueden detectar a simple vista. En el Centro de Agro Ingeniería, Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias se realizó una clasificación de cítricos mediante la identificación de objetos comunes usando visión artificial multiespectral y los resultados mostraron que aumentando la información no visible puede mejorar la detección de antracnosis un 86% mediante el uso de imágenes NIR y la precisión del moho verde se incrementó del 65% al 94% mediante el uso de imágenes de fluorescencia. (Negrete y Llaguno 2017)

En Latinoamérica el país más avanzado en cuanto a usar visión artificial para la selección de frutos cítricos es Brasil ya que la naranja es un producto de gran importancia en su economía y el segundo mayor exportador del mundo. En Colombia se ha realizado un prototipo que usa visión artificial para seleccionar mandarinas donde se alcanzó una fiabilidad del 98% y se mejoró el error de 18% que es controlado por personas a un 14,6% que es controlado por el sistema implementado. (Lorente 2016)

Sin embargo, en nuestro país el uso de tecnología en los procesos de selección de calidad mediante visión artificial se enfoca a otros tipos de frutos mientras que para las naranjas es escasa, en vista de esa necesidad por parte de los productores y procesadoras de cítricos que han ido aumentando su producción, los procesos manuales de selección se ve cada vez más obsoleto por esta razón es necesario implementar métodos de automatizar como sistemas electrónicos con visión artificial, por lo que este trabajo de investigación está orientado a suplir esta necesidad controlando la fruta bajo normas de calidad que rige a nuestro país y entregando un producto de calidad. (Arreaga Gómez 2017)

JUSTIFICACIÓN APLICATIVA

En este estudio se pretende diseñar un prototipo capaz de seleccionar naranjas mediante visión artificial como se ve en la figura 1-1. mediante una cámara digital que envíe los datos a un sistema embebido y este a su vez realice una serie de acciones como: transporte las frutas mediante una cinta transportadora hacia la cámara digital para procesar la imagen y decidir si está en buen o en mal estado la naranja y mediante el uso de un algoritmo de visión artificial implementado para clasificar y monitorear la calidad de la fruta y mostrar en un HMI para que el operario pueda supervisar el proceso periódicamente.

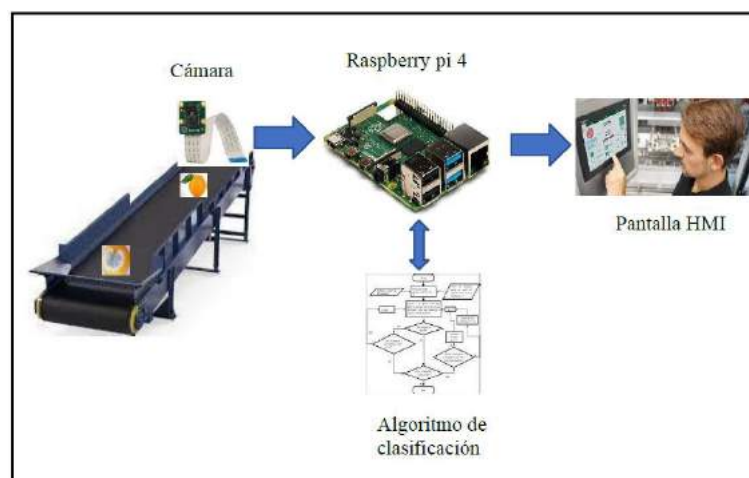


Figura 1-1. Diseño propuesto para el prototipo electrónico para el monitoreo y control de calidad de naranjas.

Realizado por: Remache.S(2021).

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Estudiar, diseñar e implementar un prototipo electrónico de monitoreo y selección de calidad de naranjas en tiempo real utilizando visión artificial.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar la norma que rigen los parámetros a ser monitoreados y controlados por el prototipo electrónico mediante visión artificial.
- Determinar la cámara adecuada para el estudio de la implementación del prototipo electrónico de monitoreo y selección de calidad de naranjas mediante visión artificial en tiempo real.
- Establecer el algoritmo adecuado que debe cumplir el prototipo electrónico para la selección de calidad de la naranja.
- Evaluar el prototipo electrónico a implementarse para que cumpla con los requerimientos planteados.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

En el presente capítulo se hace una revisión bibliográfica de los aspectos tomados en cuenta para llevar a cabo el trabajo de investigación. Se analiza conceptos generales en el control de calidad naranjas y las normas que intervienen en el proceso, además también hace énfasis al procesamiento digital de imágenes, donde se describen cada una de sus etapas y técnicas de procesamiento, finalmente se determina el hardware y software necesarios para implementar el prototipo para el control de calidad de naranjas.

1.1. Control de calidad de frutos

En la actualidad los procesos de control de calidad de las frutas son muy necesario debido al ser productos orgánicos se pueden alojar paracitos que son nocivos para la salud de los consumidores como, por ejemplo: hongos, bacterias, virus, sustancias nocivas, etc. Por estas razones los productores, comercializadores y consumidores exigen procesos de control de calidad cada vez más eficientes y rápidos, acorde con el incremento del consumo y de la población, por lo que en la actualidad se han recurrido a métodos de selección de calidad más autónomos basados en visión artificial. En la Universidad de ciencias Agrarias de Argentina han desarrollado un sistema de control de calidad la para la fruta granada que es originario de Irán pero en la actualidad se cultiva también en Latinoamérica y demuestran que el cambio de temperatura en la fruta afecta en la consistencia de la fruta.(Leila A. Gimenez 1 , Beatriz G. Varela , Nilda D. Vignale 2020)

El control de calidad de las frutas se lo viene realizado bajo normas que rigen ciertos parámetros que debe tener las frutas para que sean aptas al consumo humano, internacionalmente la norma que rige es la ISO 9001 para el mejoramiento de la calidad, también en cada país se encuentra un instituto de normas que regulan la calidad según sus necesidades y requerimientos propios. (Atalaya Salcedo 2017)

1.1.1. Norma NTE 2844 estándares para la naranja

La normativa NTE INEN 2844 es una adopción modificada de la norma internacional CODEX STAN 245-2004, norma para la naranja. Esta norma se aplica a las variedades comerciales obtenidas de Citrus sinensis, osbeck, Rutaceae que habrá que suministrar frescas al consumidor, después de acondicionamiento y envasado. Además, se excluyen naranjas destinadas a la elaboración industrial. Esta norma también cuenta con requisitos mínimos como son: estar enteras, estar sanas, estar limpias, estar libre de plagas, exentas de humedad anormal, estar *exentas*

de cualquier olor o sabor extraño, estar libre de daños por congelación, exentas de indicios de resequeidad y exenta de magulladuras. También de desglosa en varios criterios como son madurez, coloración, contenido mínimo de zumo, homogeneidad.(Delgado López y Villaprado Mejía 2018).

1.1.2. ISO 22000:2005

Esta norma rige a nivel internacional calidad y gestión de inocuidad alimentaria que permite establecer e implementar procedimientos estándar para lograr el objetivo de un control de calidad en los alimentos.(Pacheco Patiño 2017) .

Un estudio en Colombia establece que la norma 22000 conlleva a una constante estratégica para mejorar la competencia de empresas e industria de alimentos, donde el análisis realizado indica que las empresas más pequeñas necesitan un adecuado continuo manejo de este sistema para lograr resultados positivos. Por otro lado, la inocuidad alimenticia trae beneficios para las empresas ya que permite desarrollar mejoras continuas de distintas áreas, además de generar menos desperdicios y ayudar mundialmente a evitar enfermedades que están vinculados directamente con la gestión alimenticia. (Ballesteros 2021)

1.1.3. CODEX STAN 245-2004

La norma que rige a nivel internacional la calidad de la naranja es CODEX STAN 245-2004 en las que se basan las normas de cada país y acoplándola para las necesidades propias, esta norma aplica para las variedades comerciales de la naranja como es: Citrus sinesis, Osbeck, Rutaceae. Esta norma excluye a las naranjas destinadas a la elaboración industrial.

1.1.4. Usos de máquinas de control de calidad para naranjas

Un estudio publicado en la revista iberoamericana de Tecnología postcosecha evalúa manualmente la calidad de naranjas de la variedad valencia, lo que lo convierte en un proceso demoroso no apto para usarlo a nivel industrial, lo que se pretende con este prototipo es acelerar el control de los parámetros que rigen la calidad como son el tamaño, el color, la uniformidad ya que de estos se derivan varios parámetros más directamente relacionados como son la acidez la cantidad de azúcar y la cantidad de jugo.(Ariza Flores et al. 2010)

Un estudio realizado en España por la Universidad Politécnica de Valencia que utiliza una red neuronal convolucional de regresión han demostrado ser un método potencial para la detección de cítricos para automatizar el proceso de clasificación a altas velocidades. Para que el aprendizaje sea efectivo se tiene que usar la mayor cantidad de imágenes posibles para tener una *mejor* interpretación y además una mayor precisión esta herramienta ha convertido una opción viable

para seleccionar la calidad de naranjas y dependiendo del grado de complejidad de la red neuronal será el tiempo que le tome aprender siendo este, minutos, horas, o inclusive días enteros.(Senén 2019)

Un estudio realizado en Colombia en el año 2017 fue presentado en la revista de la asociación Colombiana de ciencia y tecnología realizaron un prototipo de un sistema de visión artificial para la clasificación de naranjas producida en el departamento del Quindío donde realizaron un sistemas de visión artificial que puede ser utilizado en la realización de medidas de color que indican la madurez de la naranja de forma sencilla, rápida, no invasiva en tiempo real y a bajo costo lo que permitirá a los cultivadores, comercializadores y procesadores de naranja, asumir una gestión en el manejo y manipulación más adecuado para llegar a tener productos de calta calidad y aceptación por parte de los consumidores y así facilitando la entrada de nuevos mercados locales e internacionales además de incrementar su productividad con los mismos recursos.(Torres y Navarro 2018)

Hasta el momento de la realización de este trabajo, no se han presentado máquinas o sistemas de control de naranjas usando visión artificial en nuestro país, por lo que es importante explotar este campo de la investigación para ayudar a nuestros agricultores para que puedan competir de mejor manera ya sea a nivel local como si se requiere abrir plazas en los mercados internacionales.

1.2. TIPOS DE NARANJAS

La naranja como el resto de los cítricos viene del continente asiático, inicialmente de un sabor amargo, que posteriormente fueron introducidos en la península ibérica por los árabes en el siglo X, donde adquirió un sabor más dulce y se produjeron las primeras variedades como la citrus sinesis conocida actualmente como naranja y la citrus reticulada conocida actualmente como mandarina, posteriormente en el siglo XVI aparecen nuevas variedades de naranja que se detallan a continuación.

1.2.1. Valencia Late (Naranja Blanca)

Esta variedad de naranjas pertenece al grupo de las naranjas blancas que hacia dónde va dirigido este trabajo por la razón que es la más usada para la exportación en el ecuador esta naranja se caracteriza por tener abundante jugo.(Varela Solórzano 2015)



Figura 2-1. Naranja tardía

Fuente:(Senén 2019)

1.2.2. Naranja Navelina

Más conocida en Ecuador como Naranja lima es la especie que se recoge más temprano porque su piel es muy fina. Una de las ventajas es fácil de pelar, así como también la consistencia de su pulpa es buena que permite comerla sin derramar su jugo. (Varela Solórzano 2015)



Figura 3-1. Naranja Navelina

Fuente: (Senén 2019)

1.2.3. Naranja Washington

Esta naranja es una de más antiguas y más usadas, pero en los últimos años ha ido disminuyendo su importancia y puede recogerse desde comienzos de noviembre por lo que resulta una variedad muy temprana.(Varela Solórzano 2015)

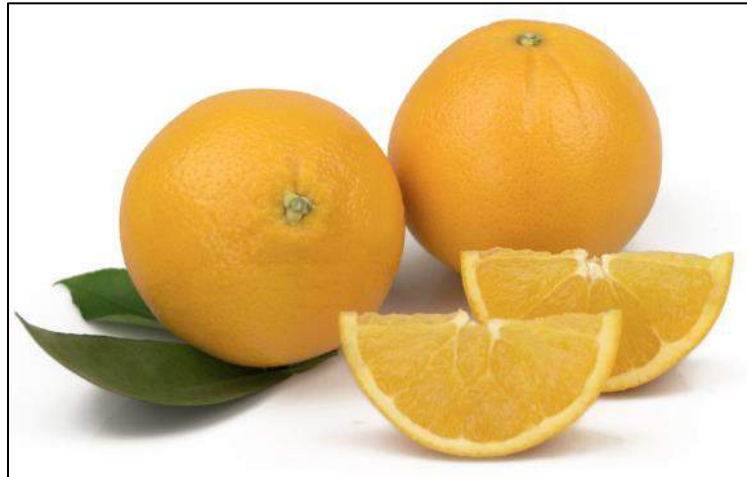


Figura 4-1: Naranja Washington

Fuente:(Senén 2019)

1.2.4. Inteligencia Artificial

A lo largo de la historia las personas se han interesado en encontrar mecanismos, maquinas, artefactos que puedan realizar las tareas cotidianas y que nos faciliten el día a día por este motivo en la actualidad los sistemas de visión artificial nos ayudan en este propósito ya que pueden tomar decisiones y reconocer y solucionar tareas.

Según Nilsson *“La Inteligencia Artificial (IA), es una definición muy amplia y un tanto circular, tiene por objeto el estudio del comportamiento inteligente en las máquinas. A su vez, el comportamiento inteligente supone percibir, razonar, aprender, comunicarse y actuar en entornos complejos. Unas de las metas a largo plazo de la IA es el desarrollo de máquinas que puedan hacer todas las cosas igual, o quizá incluso mejor, que los humanos”*(Nilsson 2001)

Las nuevas tecnologías de inteligencia artificial han ido mejorando en los últimos años por lo que en la actualidad pueden realizar tareas que estaban reservadas únicamente a los humanos por lo que cada vez van realizando tareas más complejas y actualmente usadas en la industria por lo que en el futuro nos depara interactuar directamente humanos con máquinas para realizar tareas en conjunto.(Rouhiainen 2018).

1.3. Visión artificial

Eliot García define la visión artificial por computador como “la capacidad que permite a las máquinas ver, extraer información de las imágenes digitales, resolver alguna tarea o entender la escena que están visionando”. La visión artificial en la actualidad tiene varias aplicaciones en diferentes campos como comprobar defectos de productos en la industria también en la medicina la visión artificial es muy usada en la actualidad, otro uso es el reconocimiento de cosas según se necesite en algún campo específico.(García 2002)

La gran capacidad de procesamiento informático en la actualidad ha permitido el desarrollo de nuevas técnicas de visión artificial y su crecimiento exponencial ha convertido en un tema de investigación juntamente con otras disciplinas como es la agricultura en varios aspectos como es la agricultura de precisión o procesos de selección de calidad de productos cosechados.(Russo et al. 2018)

En un sistema de visión artificial una cámara actúa como el ojo humano y el procesador con los algoritmos actúan como el cerebro de esta forma identifican objetos que intervienen a su entorno.

1.3.1. Elementos de un sistema de visión artificial

Los sistemas de visión artificial manejan dos etapas principales que son la etapa de adquisición de imágenes y la etapa de procesamiento de imágenes que cada etapa integra los siguientes elementos:

1.3.2. Fuentes de luz

Una parte fundamental dentro del visón artificial es la iluminación ya que la cámara es un sensor que recepta la cantidad de luz que rebota en los objetos por lo que un entorno correctamente iluminado generara imágenes más útiles y sin perdidas de información para que los algoritmos puedan trabajar de mejor manera, para reducir el inconveniente de una mala iluminación existen varias técnicas de iluminación como son:

- **Iluminación frontal:** Esta técnica de iluminación es la más usada y consiste en iluminar el objeto en la misma dirección en la que la cámara se encuentra enfocando de esta manera se reducen las sombras, pero como desventaja tiene que los objetos más claros provocan un brillo excesivo. En la figura 5-1 se muestra cómo actúa la iluminación frontal.(BNCVISION 2017)



Figura 5-1. Iluminación Frontal
Fuente: (BNCVISION 2017)

- **Iluminación lateral:** Para esta técnica colocamos la cámara en frente del objeto y la fuente de luz la colocamos lateral al objeto, esta técnica es usada para darle más realce a ciertas características específicas del objeto en la Figura 6-1 podemos ver la aplicación de la iluminación lateral.(BNCVISION 2017)

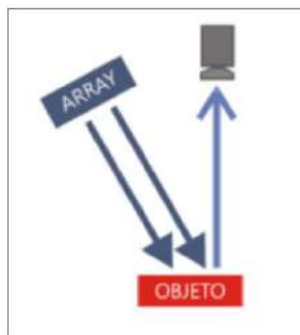


Figura 6-1. Iluminación Lateral.
Fuente: (BNCVISION 2017)

- **Iluminación estructura o láser:** Esta técnica es más usada para conocer las distancias de los objetos y pueden realizar mapas 3d con un barrido de luz láser también es usada en aplicaciones de corte. (BNCVISION 2017)

1.4. Procesamiento Digital de Imágenes (PDI)

El procesamiento de imágenes consiste en modificar ciertos pixeles de una imagen para resaltar información valiosa y también para eliminar ruido y características irrelevantes que no aporte ninguna información.

Según Domínguez Torres nos dice que el procesamiento de imágenes tiene varias aplicaciones como el pronóstico de clima que utilizan imágenes tomado por satélites para procesar y predecir el clima. Otro campo donde se utiliza el procesador de imágenes es la medicina en el campo de la imagenología medica que consiste en resaltar información importante para que los médicos puedan ver con mejor claridad los defectos o alteraciones en los órganos, mediante el

procesamiento de imágenes se puede obtener con precisión el tamaño de los órganos, defectos, tumores, que sirve para diagnosticar enfermedades.(Dominguez Torres 2010)

1.4.1. La imagen digital

Una imagen digital es la representación de un entorno en tres dimensiones a una matriz de píxeles de dos dimensiones, existe varios sistemas en los que se puede representar una imagen como son: RGB, HSV que son las más utilizadas en el procesamiento de imágenes.

Una imagen puede representarse mediante una función de dos dimensiones $f(x, y)$ donde X y Y son coordenadas en el plano y f es la intensidad de gris en ese punto. Cuando (X,Y) y f son todos finitos la función es una imagen digital, y cada elemento se denomina pixel. Las imágenes en dos dimensiones son el resultado de una proyección en perspectiva de un escenario de tres dimensiones. (Constante y Gordón 2015)

1.4.2. Etapas del procesamiento Digital de Imágenes

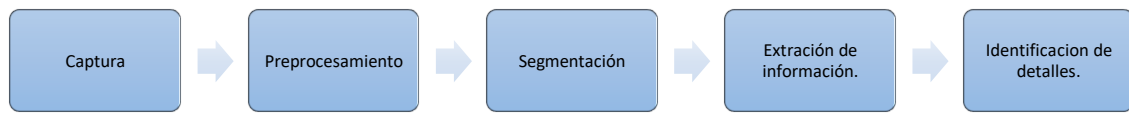


Grafico1-1. Etapas del procesamiento digital de imágenes

Realizado por: (Remache.S,2021)

1.4.2.1. Captura

Como primer paso, queremos capturar muchas muestras que muestren claramente el objeto de destino en la imagen. Luego evaluamos las imágenes para ver qué tan claramente muestran el objeto objetivo. (Constante y Gordón 2015)

1.4.2.2. Pre-Procesamiento

En esta etapa la imagen previamente capturada pasa a la memoria, y posteriormente al procesador donde se puede aplicar distintas técnicas de preprocesador que permitan sacar a la luz características necesarias y requeridas por el usuario para su posterior interpretación.(Lozano Mantilla y Orduz Rodriguez 2015)

1.4.2.3. Segmentación

Es un proceso en el cual se toma una imagen para dividirla en varias partes y tomar solo las partes de interés, con esto se obtiene otras imágenes a partir de la imagen original. Este proceso se basa

en principios importantes como discontinuidad orientado a bordes o de similitud orientado a regiones.(Lozano Mantilla y Orduz Rodriguez 2015)

1.4.3. Métodos de procesamiento de imágenes

El procesamiento digital de imágenes tiene como objetivo resaltar información en las imágenes, modificando ciertos pixeles que nos permitan identificar detalles, formas, puntos de interés que nos aporte con información para ellos existen varios métodos para procesar una imagen.

1.4.3.1. Método de la discontinuidad

Este método consiste en dividir la imagen basándose en los cambios de nivel a escala de grises, lo que logramos con este cambio es la presencia de un borde, este proceso es importante porque suministra información de los objetos de la imagen para las siguientes etapas, en otras palabras, para la extracción de características e identificación de los objetos como se muestra en la figura 7-1. Para poder detectar los bordes en la imagen se emplea derivadas de primer orden al ser una función vectorial se usa el operador gradiente, mientras que para las derivadas de segundo orden se utiliza el operador Laplaciano.(Lozano Mantilla y Orduz Rodriguez 2015)

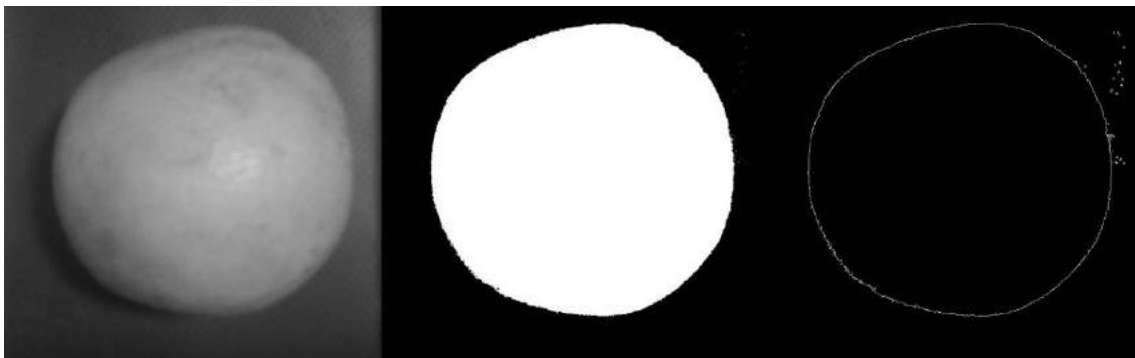


Figura 7-1. Segmentación orientada a bordes.

Realizado por: (Remache.S,2021)

1.4.3.2. Método de Similitud

Esta técnica se centra en regiones utilizando propiedades espaciales, es decir que la imagen está dividida en regiones conexas como se lo puede ver en la figura 8-1 en donde cada región tiene propiedades o características diferentes, este método separan los objetos que se encuentren en una imagen para que sean parte de forma independiente.



Figura 8-1. Segmentación orientada a regiones.

Fuente: (Saquina y Andrade 2019)

1.4.3.3. Extracción de características

La imagen es dividida en imágenes nuevas con el objetivo de extraer características que proporcionen alguna información útil para poder diferenciar unos objetos de otros. Para extraer las características de las imágenes se aplican técnicas o descriptores basadas en:

- Segmentación basada en color, textura o forma.
- Contornos describiendo las formas basadas en formas geométricas.
- Esquinas u orillas. (Constante y Gordón 2015)

1.4.3.4. Identidad de Objeto

Se basa en la identificar un objeto basado en un modelo, de manera que pueda establecer una relación entre el objeto y el modelo comparando con la base de datos que se encuentra en el sistema.

El objetivo de este proceso es etiquetar a través de algoritmos de reconocimiento, se debe identificar los objetos que han sido segmentados de la imagen u darles una etiqueta. (Constante y Gordón 2015)

1.5. Hardware

El conjunto de partes tangibles que pueda captar la imagen, procesarla y dar una orden para realizar alguna tarea es el Hardware que detallaremos cada parte utilizada en este trabajo también es necesario hacer un análisis de que tarjeta de desarrollo se adapta mejor a las necesidades que hemos planteado en este trabajo.

Revisando y comparando las características de cada una de estas tarjetas vemos que la capacidad de procesamiento de la Raspberry pi es muy superior lo que nos viene bien para aplicaciones en tiempo real.

1.5.1. Raspberry Pi

Es una placa pequeña que en su interior contiene varios elementos que constituyen un computador común, siendo esta tarjeta capaz de comportarse como un ordenador de tamaño reducido, ya que a esta se pueden conectar otros dispositivos tales como: teclado, mouse, cámaras, pantalla entre otros como se puede ver en la figura 9-1. Considerando su tamaño otras de las ventajas que posee es la facilidad para transportar y usar, además de su bajo costo y consumo. (Salcedo-Tovar 2015)

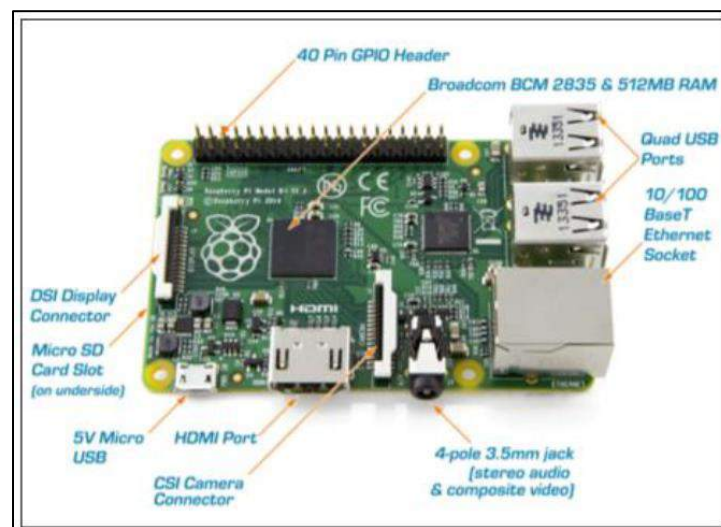


Figura 9-1. Raspberry Pi

Fuente:(Raspberrypi.org 2021)

A continuación, se detalla cada uno de estos puertos:

- **Memory Card Slot:** En este puerto se colocará la tarjeta Micro SD, la cual contiene el sistema operativo instalado.
- **Conector Micro USB:** Es el conector mediante el cual se alimentará la placa a 5VDC y 1.8A.
- **CSI Camera Serial Interface:** Este puerto es específico para conectar el Módulo de Cámara Pi de la Raspberry.
- **DSI Display Serial Interface:** Permite conectar una pantalla LCD, siendo un puerto serie de alta velocidad.
- **Puerto de Audio mini-jack:** Para la salida de audio
- **Puertos USB:** Posee cuatro puertos USB 2.0, a los cuales se puede conectar cualquier tipo de dispositivo.
- **Puerto Ethernet:** Permite a la placa Raspberry acceder a Internet mediante una red LAN Ethernet.
- **HDMI Port:** Salida de video y audio.
- **Puertos GPIO:** La tarjeta Raspberry cuenta con 40 pines de entrada y salida de

propósito general como se muestra en la figura 10-1, estos pines trabajan a 3.3VDC.

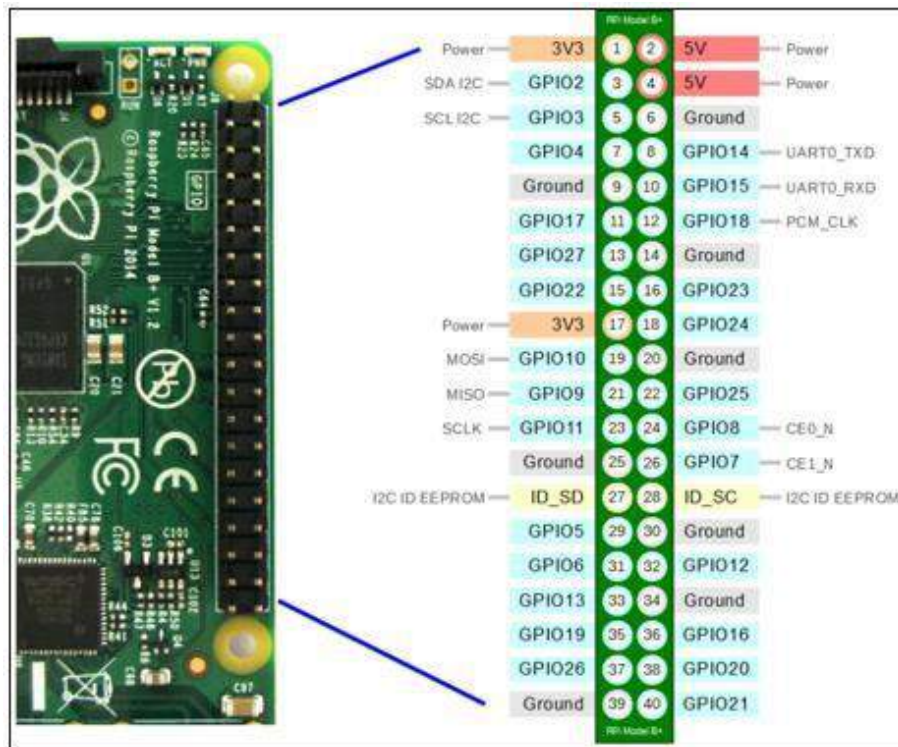


Figura 10-1. Puertos GPIO

Fuente: (Raspberrypi.org 2021)

1.5.2. Sensores

Vivimos en un mundo de sensores. Podemos encontrar diferentes tipos de Sensores en nuestros hogares, oficinas, autos etc. trabajando para hacernos la vida más fácil encendiendo las luces detectando nuestra presencia, ajustando la temperatura de la habitación, detectando humo o fuego, haznos un delicioso café, abre puertas de garaje tan pronto como nuestro coche esté cerca de la puerta y muchas otras tareas.

El ejemplo del que estamos hablando aquí es el sistema de piloto automático en aeronaves. Casi todas las aeronaves civiles y militares tienen la función de sistema de control de vuelo automático o, a veces, se denomina piloto automático (Grafico 2-1).



Grafico 2-1. Etapas de un sistema de control

Fuente: (Reyes 2007)

1.5.2.1. Cámara

Para la elección de la cámara se requiere que tomar en cuenta varios aspectos muy importantes como son: la cantidad de píxeles, la longitud de onda requerida, velocidad de muestreo, protocolo de comunicación y velocidades de transmisión de datos.(Guerrero Aguirre, Jimena y Giraldo 2014) El sensor de imagen para la visión artificial es la cámara digital la cual contiene un sensor que detecta el reflejo de la luz en los objetos, las cámaras digitales poseen una malla de sensores cada uno se denomina píxel que puede detectar un solo color a la vez de tal modo que se genera una matriz de colores que se puede procesar por un computador. Actualmente las cámaras son capaces de tomar fotos a una velocidad muy alta y de tomar video en tiempo real por lo que se puede utilizar en tareas repetitivas y cansadas para el ojo humano.(García 2002)

1.5.2.2. Sensor inductivo

El sensor inductivo se utiliza para detectar la proximidad de piezas o materiales metálicos en un rango de distancia que va desde 1mm hasta los 75mm y consta de una bobina para generar un campo magnético de alta frecuencia como se muestra en la Figura 11-1. Si hay un objeto de metal cerca del campo magnético cambiantes la corriente fluirán en el objeto.(Torres 2011)

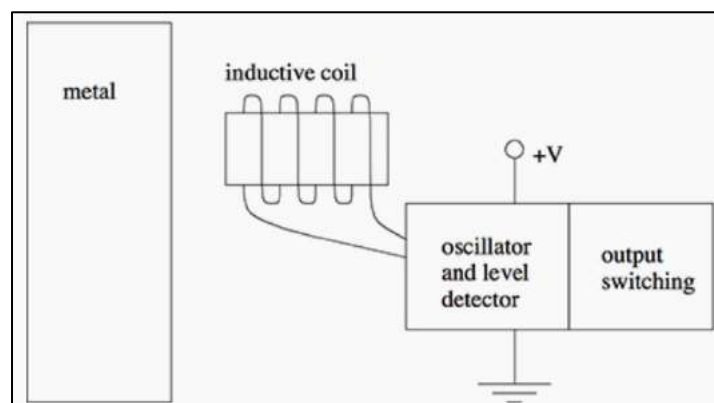


Figura 11-1. Funcionamiento del sensor inductivo.

Fuente: (Csanyi 2020)

1.5.2.3. Sensor Capacitivo

Los sensores capacitivos permiten detectar la presencia de objetos sin contacto por su funcionamiento se basa en alterar el campo eléctrico producido por el sensor por lo que al acercarse un objeto ese campo se altera y el sensor actúa para indicar una presencia.(Torres 2011)

1.5.2.4. Sensor Infrarrojo

El sensor infrarrojo consiste en un emisor y un receptor que puede servir para medir distancias, o a su vez puede funcionar para detectar presencia usándolo como barrera cuando el objeto interrumpe el camino entre el emisor y receptor. (Torres 2011)

1.5.3. Actuadores del prototipo

Para el prototipo que se desea implementar es preciso usar actuadores eléctricos ya que se requiere mantener el control total del movimiento, dentro de este grupo se encuentran los motores de corriente directa, servomotores, electroválvulas entre otros.

1.5.3.1. Servomotores

Este es un tipo de motores a los cuales se puede controlar tanto su velocidad como su posicionamiento, los servomotores no giran 360 grados como los motores comunes, solo giran su eje de 0 a 180 grados y debido a esto sus movimientos son controlados, en su interior están compuestos por un motor de corriente continua y una caja de engranajes la cual permite fijar al motor en una posición determinada y por esa razón son muy usados en la robótica.

1.6. Software

En este apartado se detalla todas las aplicaciones software que usamos para llevar a cabo este prototipo.

1.6.1. SolidWorks

SolidWorks es un software que permite el diseño, desarrollo y animación de estructuras y modelos en 3D aplicada a la ingeniería, para poder ensamblar de una forma más cómoda, también permite exportar los diseños en archivos que puedan ser impresos en 3D como se muestra en la figura 12-1. En este prototipo se usa varias piezas impresas en 3D para lo cual se usa otro software que convierte el diseño a un archivo que pueda ser segmentado por capas para que una impresora 3D sea capaz de imprimir. en este caso el software usado es CURA como se muestra en la figura 13-1.

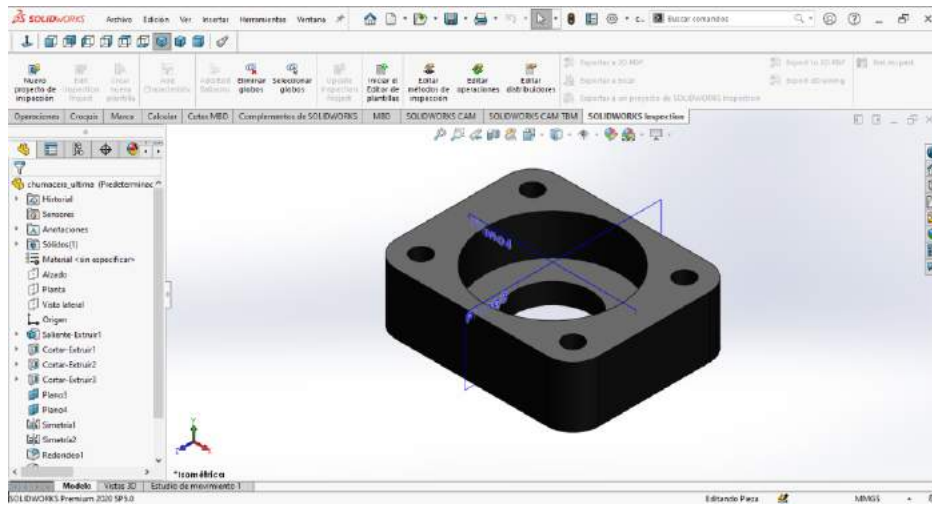


Figura 12-1. Entorno Gráfico de SolidWorks.

Realizado por: (Remache.S,2021).

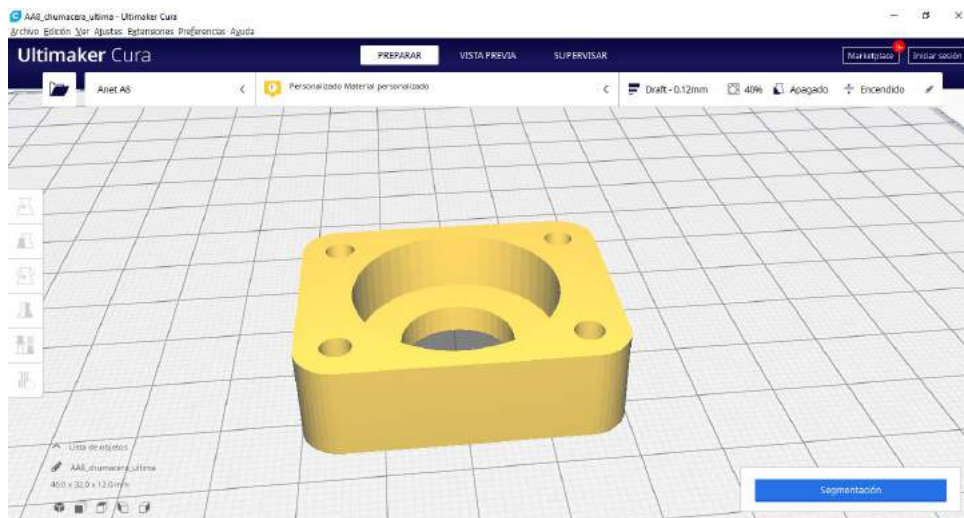


Figura 13-1. Entorno gráfico de CURA.

Realizado por: (Remache.S,2021).

1.6.2. *SI Raspbian*

Hay muchos sistemas operativos disponibles para Raspberry Pi, incluido Raspberry Pi OS, nuestro sistema operativo oficial compatible y sistemas operativos de otras organizaciones.

Raspberry Pi Imager es la forma rápida y fácil de instalar un sistema operativo en una tarjeta microSD lista para usar con su Raspberry Pi. Alternativamente, elija entre los siguientes sistemas operativos, disponibles para descargar e instalar manualmente. Es un sistema Operativo (SO) amigable con el usuario pues se puede manejar de dos formas, la primera es a través de su consola insertando líneas de códigos y la segunda es usando el entorno grafico del SO, es decir accediendo de forma remota, para esto se hace uso del software VNC Viewer sin necesidad de conectarla a

periféricos como pantalla, mouse o teclado, para esto se debe activar el protocolo SSH y VNC,(Raspberrypi.org 2021)

1.6.3. Python

Python es un lenguaje de programación interpretado, orientado a objetos y de alto nivel con semántica dinámica. Sus estructuras de datos integradas de alto nivel, combinadas con tipado y enlace dinámicos, lo hacen muy atractivo para el desarrollo rápido de aplicaciones, así como para su uso como lenguaje de scripts o pegamento para conectar componentes existentes. La sintaxis simple y fácil de aprender de Python enfatiza la legibilidad y, por lo tanto, reduce el costo de mantenimiento del programa. Python admite módulos y paquetes, lo que fomenta la modularidad del programa y la reutilización del código. El intérprete de Python y la extensa biblioteca estándar están disponibles en formato fuente o binario sin cargo para todas las plataformas principales y se pueden distribuir libremente.(Python 2021)

- ***Características del lenguaje de programación Python***

Es un lenguaje de programación de alto nivel y fácil de aprender, posee estructuras de datos eficientes, que permiten realizar tareas con pocas líneas de código y de forma clara.

- ***Lenguaje de propósito general:***

Es un lenguaje que no está orientado a un fin concreto, es decir, se puede crear todo tipo de programas

- ***Multiparadigma:***

Existen estilos de programación para llegar a un fin deseado, es decir, el usuario puede elegir como va a llevar a cabo la programación ya sea con sentencias de bucle, programación con funciones y métodos o programación orientada a objetos.

- ***Lenguaje Interpretado:***

En el lenguaje de programación Python existe un intérprete que es el que ejecuta el programa, éste se basa en el código que es escrito por el usuario.

- ***Multiplataforma:***

Aunque inicialmente Python fue creado para Unix, en la actualidad el lenguaje de programación es compatible con varios sistemas operativos siempre y cuando exista un intérprete programado para Python

- ***Interactivo:***

Cuando el programador ingresa su línea de código, cada sentencia se ejecuta y produce un resultado, lo que hace que el usuario vaya verificando los resultados de la ejecución por porciones de código.

• ***Orientado a Objetos:***

Es una gran ventaja puesto que se puede crear programas fáciles y sencillos con componentes reutilizables gracias a las características de la programación orientada a objetos como herencia y polimorfismo

1.6.4. VNC Viewer

Es una herramienta que permite poder observar la interfaz gráfica de un dispositivo que usemos como servidores para poderlo controlar remotamente, VNC viene de las siglas en inglés (Virtual Network Computing). Esta herramienta nos permite manejar un dispositivo conectado a la misma red ya sea una red LAN o una VPN haciendo de este un método sencillo de control remoto de fácil y rápida instalación además que nos permite manejar uno o más dispositivos desde una misma pantalla ahorrando así varios recursos hardware. En este trabajo una conexión VNC para poder controlar y programar la Raspberry pi 4 usada en este trabajo facilitando el uso de esta tarjeta y poder trabajar con mayor comodidad para la hora de programar. (Cerviño et al. 2008)

1.6.5. Open CV

OpenCV Es una potente librería de visión artificial y machine learning, tiene licencia BSD, lo que permite utilizar y modificar el código.

Está escrito en C/C++ lo que la hace más propensa a seguir en desarrollo, prueba de ello es que tiene una gran comunidad, casi 50000, y más de 7 millones de descargas

Sus funciones principales son identificar objetos, caras, clasificar acciones humanas, tracking de objetos, modelos 3d.

Una mayoría de aplicaciones de Open Source de V.A. han elegido a OpenCV para su desarrollo puesto su gran capacidad y su documentación amplia. Entre sus aplicaciones más populares tenemos: (Logroño Salazar y Misqui Villa 2016)

- Detector de movimiento
- Detección de parámetros en dos y tres dimensiones.
- Segmentación y reconocimiento.
- Detección de Objetos.
- Calibración de cámaras

Sus funciones básicas son:

Core: Se definen las estructuras de datos básicas que usan el resto de los módulos.

Imgproc: módulo procesamiento de imágenes como: filtrado lineal / no lineal, transformaciones afines, conversión del espacio de color, histogramas. (Logroño Salazar y Misqui Villa 2016)

Video: módulo de análisis de video que incluye algoritmo para la estimación del movimiento. Extracción de fondo.(Logroño Salazar y Misqui Villa 2016)

Calib3d: Algoritmos básicos de visión múltiple como calibración de cámaras estéreo y otras cámaras. (Logroño Salazar y Misqui Villa 2016)

Features 2d: detectores de características.

Objdetect: detección de objetos instancias o clases predefinidas como: caras, ojos, gente, coches.

Highgui: Todo lo relacionado a la interfaz gráfica de OpenCV. Permiten importar imágenes y video. (Logroño Salazar y Misqui Villa 2016)

GPU: algoritmos acelerados x hardware para distintos módulos OpenCV

CAPÍTULO II

2. PROPUESTA Y DISEÑO DEL PROTOTIPO

Para este capítulo se detalla las especificaciones y requerimiento en hardware y software necesarios para poder llevar a cabo la implementación del prototipo y las diferentes etapas que intervienen en el proceso, así como el diseño del algoritmo que se utilizó.

2.1. Requerimientos del prototipo

Analizando las necesidades de las personas que intervienen en la cadena productiva de la naranja se determinó los requerimientos básicos que ayudan a seleccionar la calidad de su producto:

- Clasificar las naranjas por color y tamaño apropiado para la comercialización.
- Agrupar las naranjas buenas y malas en recipientes separados y posterior comercialización.
- El prototipo no debe maltratar al producto durante el proceso de selección de calidad.
- El prototipo debe ser lo suficientemente fácil de operar para cualquier persona.

2.2. Descripción del Prototipo clasificador de naranjas

La necesidad primordial para llevar a cabo este prototipo es la de reducir el tiempo empleado en la selección de la calidad de las naranjas, así como también disminuir el margen de error al ser una tarea repetitiva y agotadora en forma manual. Cada vez la industria alimenticia opta por utilizar sistemas de visión artificial por computadora para realizar este tipo de trabajo, por lo cual se desarrolló este prototipo que cuenta con las siguientes etapas como se muestra en el Gráfico 1-2.



Gráfico 1-2. Descripción de las etapas del prototipo.

Realizado por: (Remache.S 2021).

La primera etapa consiste en liberar la naranja del contenedor para evaluar sus características, aquí se debe ubicar a la naranja de tal manera que la cámara pueda tomar una imagen centrada y con una iluminación adecuada.

La segunda etapa consiste en tomar una foto del producto para poder identificar los posibles defectos y se debe tomar en cuenta la iluminación del objeto para que la imagen este bien definida y así evaluar el objeto.

En la tercera, la imagen adquirida es procesada, identificada, y clasificada según un algoritmo que se encargue de este proceso, el cual emite las órdenes a los diferentes actuadores para que puedan cumplir con los parámetros de tamaño y color de la naranja.

La cuarta etapa consiste en separar las naranjas entre buenas y malas, mediante brazos que se encuentran en la cinta transportadora.

En la quinta etapa se muestra mediante una pantalla HMI al operador del prototipo la cantidad de naranjas buenas y malas donde las buenas servirán para la comercialización.

En la última etapa del proceso es la actualización del registro del número de naranjas buenas y malas.

2.3. Componentes Hardware del prototipo

Para poder desarrollar este prototipo hace falta conocer los requerimientos, en cuando a hardware se refiere por lo que analizando las características que se detallaran a continuación se han elegido los siguientes elementos que lo conforman.

2.3.1. Placa de desarrollo Raspberry pi 4

Para este prototipo es necesario una placa de desarrollo que cuente con un hardware que sea capaz de cumplir todos los requerimientos necesarios como un procesador lo suficientemente veloz para disminuir los tiempos de latencia, disponga una comunicación CSI, que posea pines de entrada y salida de uso múltiple, también es necesario que cuente con la facilidad de instalar un sistema operativo para realizar aplicaciones con Python.

En el mercado existen 2 placas que cuentan con esas características que son Raspberry y Tinker board. En la tabla 1-2 se muestra las características de una tarjeta Raspberry pi 4B en comparativa con una tarjeta Tinker Board 2s que son las placas que compiten en el mercado actualmente con

características similares.

Tabla 1-2. Comparación entre Raspberry pi 4 y Tinker Board 2s.

	Raspberry pi 4B	Tinker Board 2s
Procesador	QUAD CORE ARM CORTEX-A72 1.5GHz	QUAD CORE ARM CORTEX-A53 1.5GHz
Memoria	8GB	4GB
Puertos	GPIO 40 pines, 2 Micro HDMI, 2 USB2.0, 2 USB3.0, CSI -2 para cámara, DSI para pantalla táctil, Micro SD, Conector Jack para salida de audio, USB-C para alimentación.	3 USB 3.2 tipo A, 1 USB 3.2 tipo C, CSI -2 para cámara, Conector Jack para salida de audio, 40 pines de uso múltiple, Micro SD
Conectividad	Bluetooth 5.0, WI-FI 802.11ac, Gigabit Ethernet.	Bluetooth 5.0, WI-FI 802.11a/b/g/n/ac, Gigabit Ethernet.
GPU	VideoCore VI	ARM Mali-T860 MP4 a 800MHz
Alimentación	5V	12 -19 V

Fuente:(Raspberrypi.org 2021)

Como se puede observar las características de las 2 placas de desarrollo son muy similares, pero por su superioridad en el procesamiento y mayor memoria RAM en este prototipo se usó una Raspberry pi 4 que se muestra en la figura 1-2.



Figura 1-2. Tarjeta de desarrollo Raspberry pi 4B.

Realizado por: (Remache.S 2021).

2.3.2. Servomotores

Para poder accionar los brazos que separa las naranjas buenas y malas, se requiere de un actuador que maneje la posición por ángulos para que pueda abrir o cerrar los brazos según sea el caso, por este motivo se implementó de un servomotor MG996r como se muestra en la Figura 2-2.

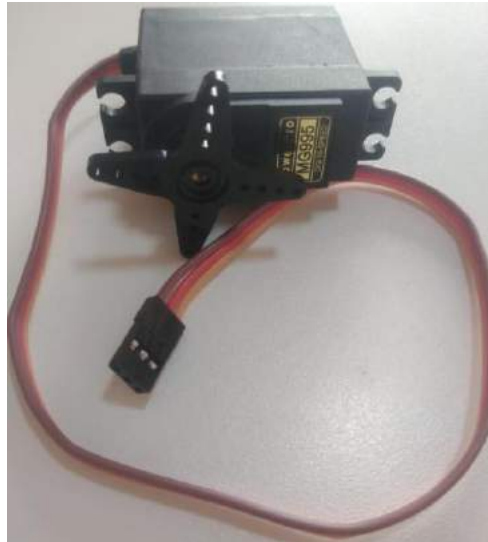


Figura 2-2. Servomotor MG996r

Realizado por: (Remache.S,2021).

El aspecto fundamental que rige la elección del servomotor es el torque requerido para lo cual tenemos que dimensionar de acuerdo con el material, forma, longitud y el entorno en cual va a trabajar, la ecuación 1-2 realiza el cálculo del torque que se necesita en el servo motor.

Ecuación 1-2. Cálculo del torque necesario para el servo

$$\tau = F * r$$

$$\tau = 0.14 * 30$$

$$\tau = 4.2 [kg * cm]$$

Donde:

τ = Torque del servo

F = P =peso del brazo

r = largo del brazo

En la Tabla 2-2 se muestra las características del servomotor MG996r.

Tabla 2-2. Características de servomotor MG996r.

Servomotor MG996r	
Peso	55g
Dimensión	40.7mm*19.7mm*42.9mm aprox
Par de parada	8.5 Kgf*cm(4.8v),10Kgf*cm(6v)
Velocidad de operación	0.2s/60°(4.8V),0.16s/60°(6v)
Voltaje de operación	4.8v a 7.2v
Corriente de operación	500mA-900mA(6v)
Corriente de parada	2.5 A(6v)
Rango de temperatura	0-55°

Realizado por: (Remache.S 2021)

2.3.3. *Pantalla HMI*

Para el HMI se usó una pantalla de 3.5 pulgadas táctil capacitiva que se conecta con el puerto GPIO, de tamaño adecuado para que el usuario pueda interactuar con el prototipo, como se muestra en la Figura 3-2 y las características se detallan a continuación en la Tabla 3-2.



Figura 3-2. Pantalla de 3,5 plg para Raspberry.

Realizado por: (Remache.S,2021).

Tabla 3-2. Características de la pantalla de 3,5 plg para Raspberry pi

Características de la pantalla 3,5'' para Raspberry	
Conexión	Mediante socket GPIO 40 pines
Tamaño	3,5 pulgadas
Resolución	640x480 pixels
Colores	262K colores
Táctil	Capacitivo, mediante comunicación I2C, 5 puntos táctiles.
Compatibilidad	Raspberry PI 2,3,4.
Precio	\$ 45

Realizado por: (Remache.S 2021).

2.3.4. Cámara Raspberry V2.1

Uno de los elementos más importantes para un dispositivo que use visión artificial es la cámara, que se adapte mejor a las necesidades del prototipo. Para la cual se seleccionó la cámara Raspberry v2.1, como se muestra en la figura 4-2. Esta cámara cuenta con un sensor de imagen Sony IMX219 de alta calidad de 8 megapíxeles diseñado a medida complementaria a bordo para Raspberry Pi, con una lente de foco fijo. Es capaz de tomar imágenes estáticas de 3280×2464 píxeles, y también es compatible con Video 1080p30, 720p60, y 640x480p90, además esta cámara cuenta con comunicación CSI que se conecta directamente a la GPU y liberando carga de procesamiento a la CPU a diferencia de las cámaras por conexión USB lo que lo convierte en la opción ideal para este tipo de aplicaciones de visión artificial ya que el tiempo de procesamiento es primordial .(Raspberrypi.org 2021).



Figura 4-2. Cámara de Raspberry pi.

Realizado por: (Remache.S,2021)

En la Tabla 4-2 se detallan las características de la cámara Raspberry V2.1

Tabla 4-2. Características técnicas de la cámara para Raspberry V2.1.

Características de la cámara	
Marca	Raspberry pi
Resolución	1080p
Zoom Óptico	1x
Máximo de distancia focal	3 milímetros
Sensor	Sony Exmor Sensor de IMX219PQ
Compatibilidad	1080p30, 720p60, VGA90
Distancia Focal	3,04 mm
Ángulo de visión vertical	48,8°
Ángulo de visión horizontal	62.2°

Realizado por: (Remache.S,2021)

Para ubicar bien la cámara se debe conocer la distancia focal, que difiere según el tipo de cámara, otro aspecto que difiere es el ángulo de visión como se muestra en la Figura 5-2.

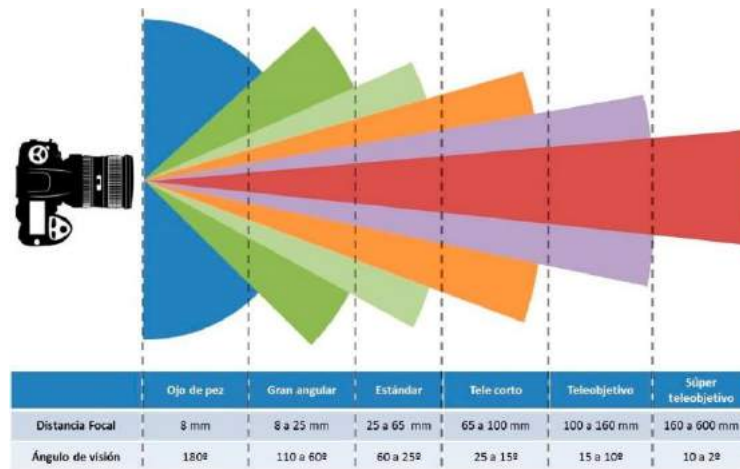


Figura 5-2. Tipo de cámara según su distancia focal y Ángulo de visión.

Fuente: (Musso 2014)

2.3.5. Motor DC para banda

En las bandas transportadoras a nivel industrial se usa motores AC. Escalando al tamaño de este prototipo se puede usar un motor DC para facilitar el control mediante los pines GPIO de la tarjeta

Raspberry. En el apartado 2.4.4. se diseñó la banda transportadora donde se detalla las dimensiones y el tipo de motor a utilizarse.

2.3.6. Sistema de iluminación

Para aplicaciones de visión artificial en ambientes controlados es necesario contar con la iluminación apropiada para poder adquirir imágenes de buena calidad para ser procesadas. Para ello se utilizó una iluminación frontal que consta en un aro de luz de 8 pulgadas apuntando directamente el objeto de interés permitiendo así obtener una imagen sin sombra que pueda alterar el resultado del algoritmo y falsos positivos. Este aro de luz cuenta con luz blanca fría y luz cálida la cual puede variar los resultados por lo que para este prototipo se usó luz blanca fría. En la figura 6-2 se muestra el sistema de iluminación del prototipo.

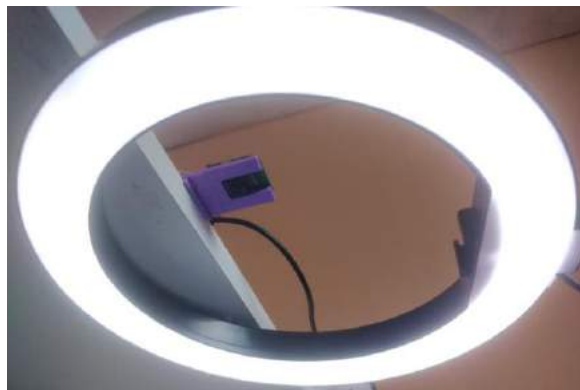


Figura 6-2. Sistema de iluminación del prototipo

Realizado por: (Remache.S,2021)

2.3.7. Sensor de presencia

Para poder ubicar la naranja de tal forma que la cámara pueda capturar una imagen que encuadre perfectamente en el centro y se pueda procesar sin errores, se usó un sensor infrarrojo ubicado de forma de barrera y está constituido por el circuito que se presenta en la figura 7-2. Este circuito electrónico está diseñado de tal forma que cubra una distancia de 11cm que es el ancho de la banda transportadora como se muestra en la figura 8-2.

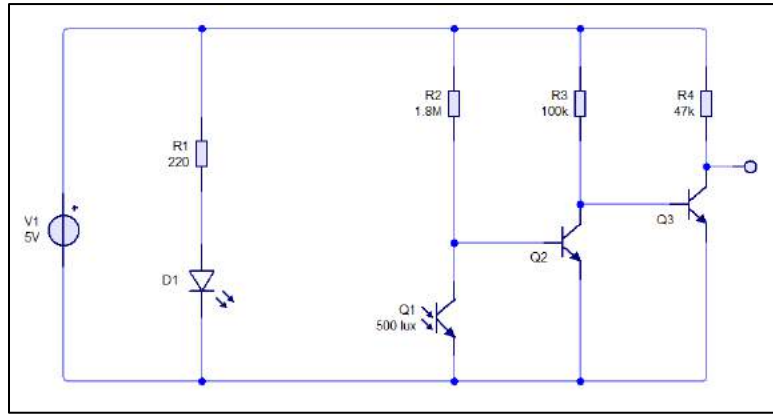


Figura 7-2. Circuito electrónico del sensor de presencia.

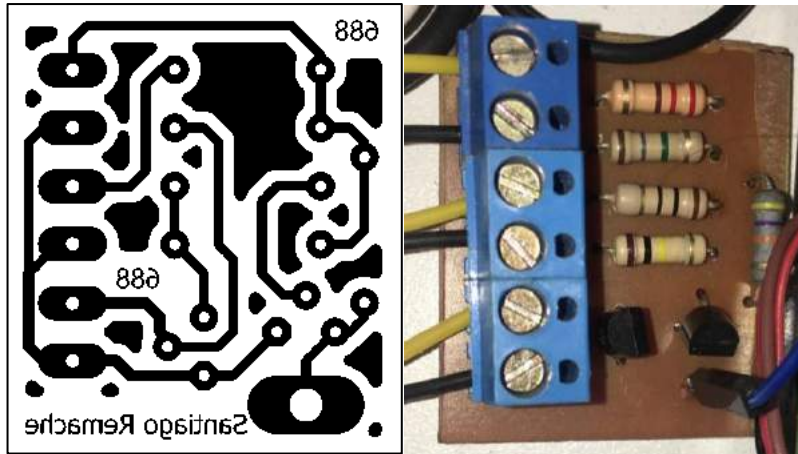
Realizado por: (Remache.S,2021)



Figura 8-2. Sensor de presencia en la banda trasportadora.

Realizado por: (Remache.S,2021)

Para el sensor de presencia se realizó una placa PCB que permite acoplar los demás componentes del hardware que conforman el prototipo, como se muestra en la figura 9-2.



a) PCB del sensor de presencia b) Circuito acoplado al prototipo.

Figura 9-2. Placa PCB del prototipo.

Realizado por: (Remache.S,2021)

2.4. Diseño de la estructura del prototipo

Para el diseño de la estructura del prototipo se aplicó los conocimientos obtenidos en la carrera, para el diseño los mecanismos se utilizó el software SolidWorks, este diseño cuenta con varias etapas como:

- Soporte para la cámara y la iluminación.
- Contenedor de naranjas.
- Ambiente para la adquisición de imágenes.

2.4.1. Soporte para la cámara y la iluminación

En este apartado se diseñó la base para la cámara y la iluminación que está ubicada sobre la cinta transportadora donde estarán las naranjas, como se muestra en la Figura 10-2. La cámara está ubicada a una altura de 25 centímetros de la base, esto hará que la imagen capturada pueda abarcar todo el objeto de interés evitando que se puedan introducir objetos extraños.

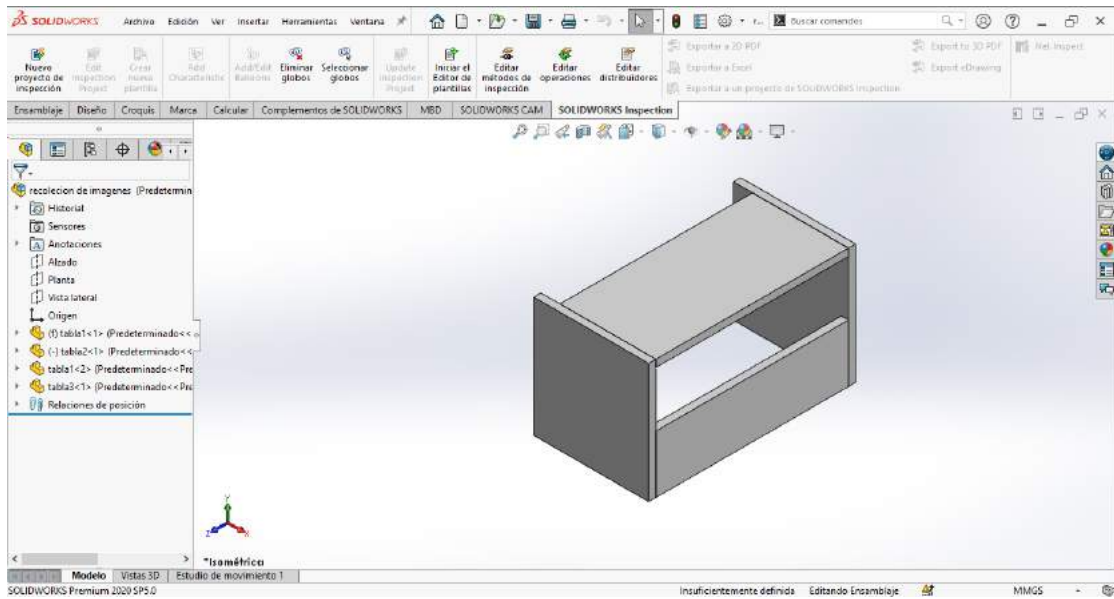


Figura 10-2. Diseño del soporte para la cámara y la iluminación.

Realizado por: (Remache.S,2021)

2.4.2. Contenedor de naranjas

El contenedor de naranjas consiste en una tolva para que las naranjas puedan ser liberadas de una en una y pasen al lugar donde la cámara pueda tomar una imagen para ser procesada y posteriormente seleccionar la fruta buena de la mala, en la Figura 11-2 me muestra el diseño del contenedor de naranjas.

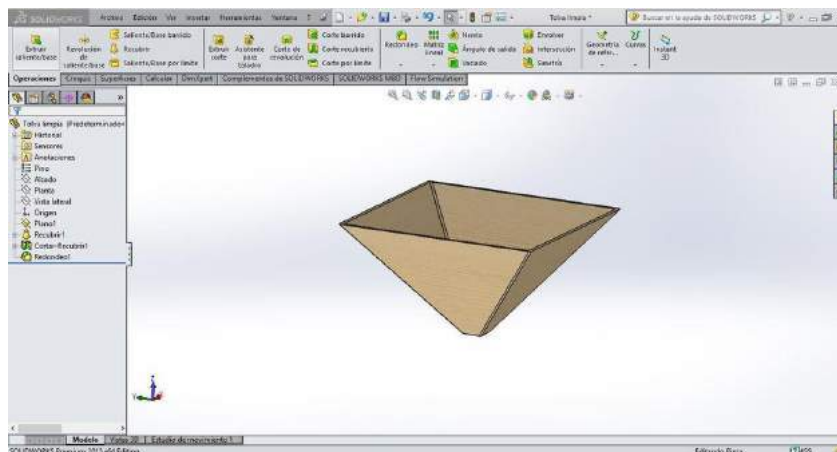


Figura 11-2. Contenedor de naranjas.

Realizado por: (Remache.S,2021)

2.4.3. Ambiente de adquisición de imágenes.

Para adquirir imágenes de buena calidad se necesita que el fondo sea uniforme sin imperfecciones para que en la etapa de procesamiento de imágenes sea más fiable los resultados. Aquí la necesidad de crear un ambiente controlado para adquirir las imágenes mediante el diseño de una cinta con una superficie uniforme, como se muestra en la Figura 12-2.

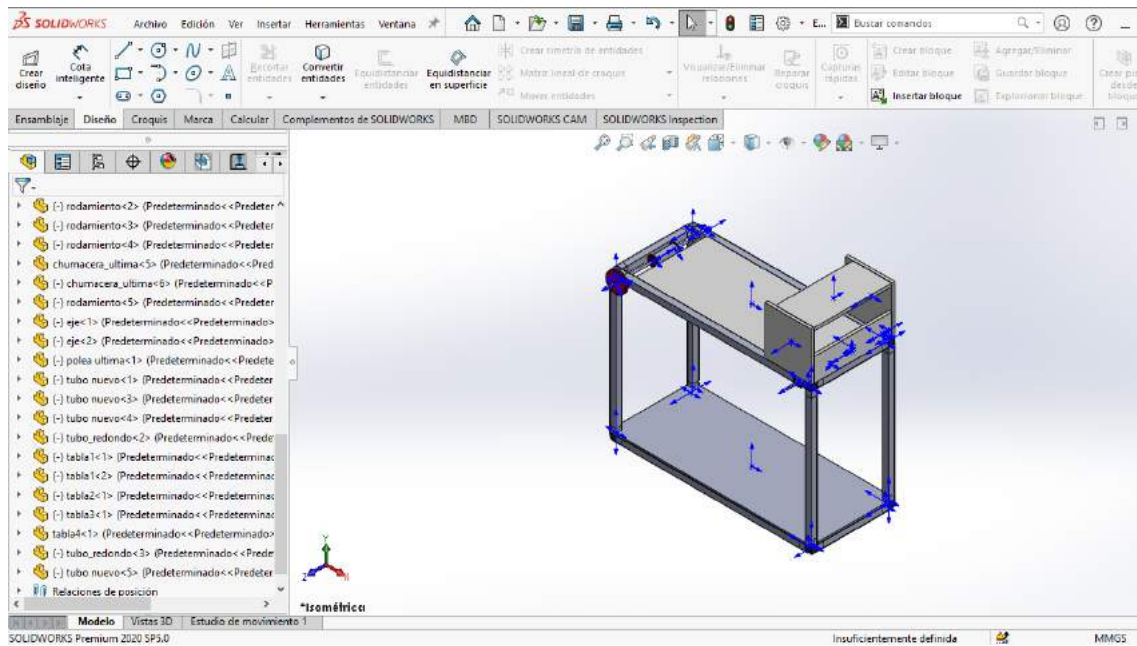


Figura 12-2. Mesa de adquisición de imágenes.

Realizado por: (Remache.S,2021).

2.5. Diseño de la Banda Transportadora

El primer paso para el diseño de la banda transportadora es conocer lo que se va a transportar para determinar los parámetros de peso y dimensiones puesto que la cinta tendrá que cumplir con ciertos parámetros para mantener su utilidad a largo plazo. Una banda transportadora cuenta con varias partes indispensables que necesitan ser dimensionadas como se detallan en los siguientes apartados.

2.5.1. Recubrimiento

Para la banda se usa el material de carpas de caucho y también usado en bandas transportadoras por sus propiedades mecánicas y su durabilidad al paso del tiempo.

El espesor del recubrimiento está ligado directamente con las necesidades de uso por lo que siendo un prototipo se usa una goma delgada de espesor de 1mm lo cual es suficiente para esta aplicación que el peso máximo sobre ella es de 260g.

2.5.2. *Motor*

Para dimensionar el motor que mueve la banda transportadora tenemos que conocer que es lo que va a transportar, teniendo en cuenta los parámetros que rigen a la naranja blanca son una altura máxima de 11 cm y peso máximo de 260g.

Como primer paso es aginar valores de cuantas naranjas por minuto vamos a transportar en este caso es 2 x minuto y teniendo en cuenta que la longitud de la banda es de 90cm tenemos:

$$\frac{2 \text{ unidades}}{1 \text{ minuto}} \times 0,9 \text{ metros}$$

$$1,8 \frac{\text{metros}}{\text{minuto}}$$

$$0,03 \frac{\text{metros}}{\text{segundo}}$$

Para el dimensionamiento del toque es necesario realizar el diagrama de cuerpo libre en uno de los rodillos de la banda como se muestra en la figura 13-2 y se usa la primera ley de Newton aplicada a la dinámica rotacional y se toma el motor con un torque aproximadamente superior.

Ecuación 2-2. Ecuación para el cálculo de torque del motor

$$\begin{aligned} \Sigma T &= 0 \\ T - I_1 - I_2 - (F_r * r) &= 0 \end{aligned}$$

Donde:

T=torque del motor

$$I_1 = I_2 = \text{Torque de los rodillos } I_1 = \frac{1}{2} m_r * r^2$$

m_r = masa del rodillo

$$F_r = \text{Fuerza de rozamiento } F_r = m_b * \mu_r$$

m_b = masa de la banda + masa de la fruta

μ_r = Coeficiente de fricción aproximado de la banda

r = Radio del rodillo

$$T = \frac{1}{2} * 0.31 * 2.1^2 + \frac{1}{2} * 0.31 * 2.1^2 + ((0.52 + 0.17) * 0.4 * 0.21)$$

$$T = 1.947 [kg * cm]$$

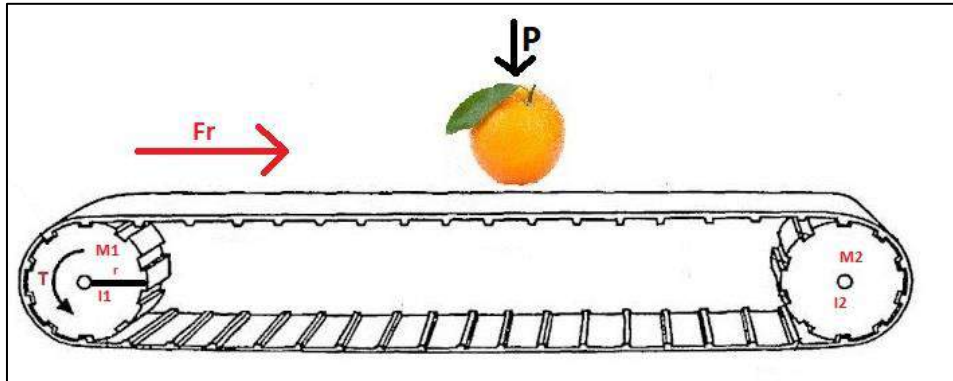


Figura 13-2. Fuerzas que intervienen en la banda transportadora

Realizado por: (Remache.S,2021).

2.6. Diseño del sistema electrónico

El prototipo de selección de calidad de naranjas cuenta con componentes electrónicos para su ejecución los mismos que se encuentran interconectados como se muestra en la Figura 14-2, cuenta con un algoritmo que permite controlar el estado de las naranjas con la ayuda de la visión artificial.

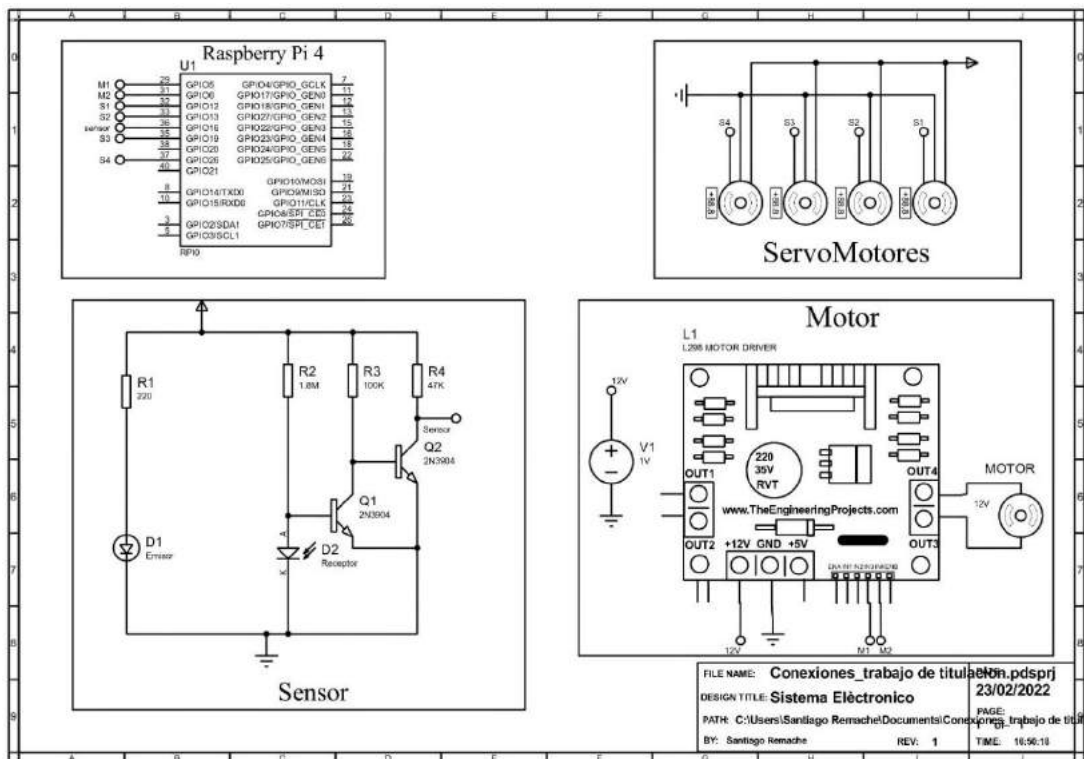


Figura 14-2. Componentes electrónicos del prototipo.

Realizado por: (Remache.S,2021)

2.7. Algoritmo de selección de calidad de las naranjas

Para la selección de la calidad de las naranjas se desarrolló un programa que permite clasificar y seleccionar la fruta buena de la mala, las líneas de programación están realizadas en el lenguaje de programación Python, el gráfico 2-2 muestra el diagrama de flujo del algoritmo para el prototipo.

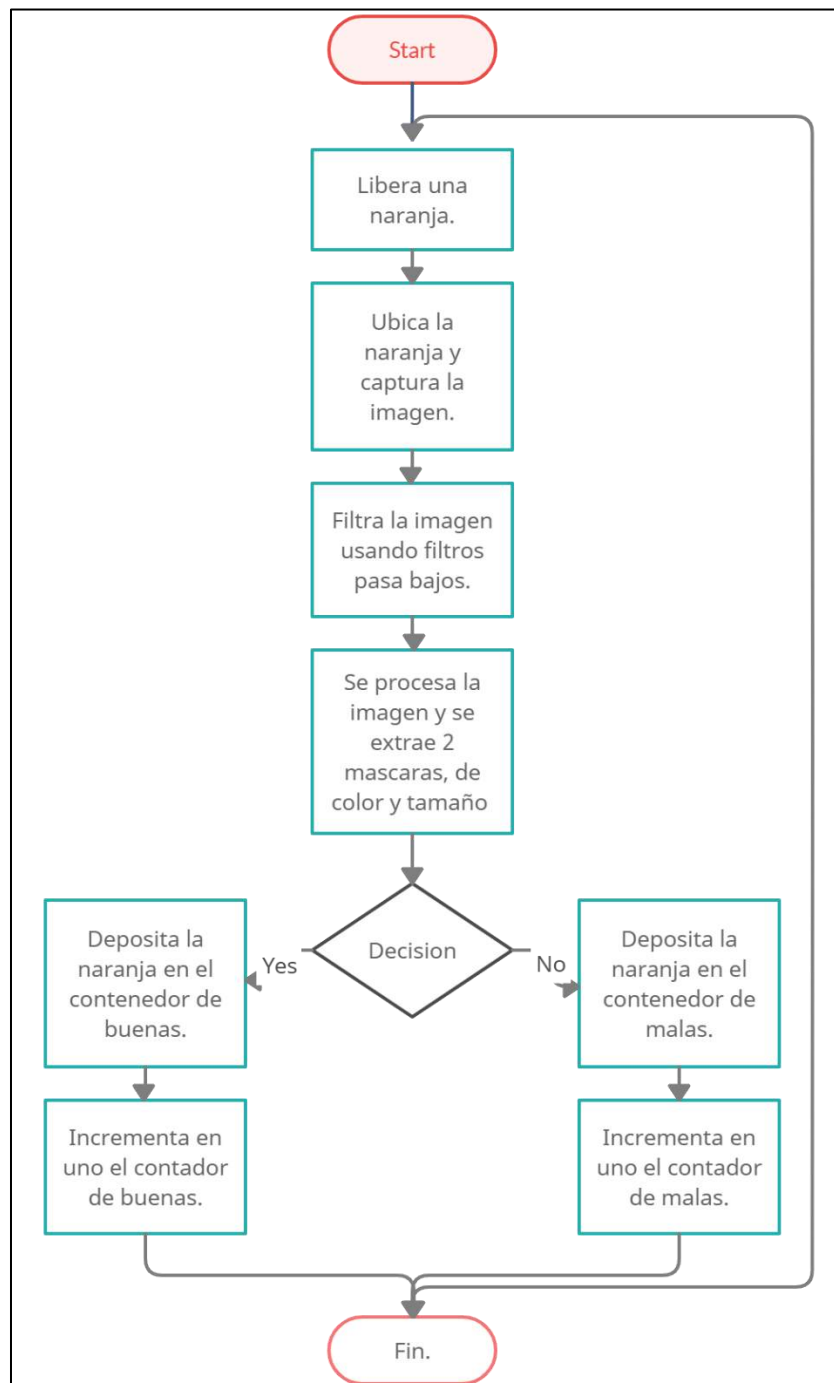


Gráfico 2-2. Diagrama de Flujo del algoritmo para el prototipo.

Realizado por: (Remache.S,2021).

2.7.1. Diagrama por etapas del prototipo de selección de calidad de las naranjas.

Las etapas de selección de la calidad de las naranjas mediante el uso de un sistema de visión artificial comprenden varios procesos que van desde la captura de la imagen para luego pasar por un filtro que elimina el ruido de la imagen para detectar el tamaño y forma de la fruta mediante la extracción de la máscara para luego ser clasificadas entre buenas y malas. El Gráfico 3-2 muestra las etapas de selección de calidad de las naranjas del prototipo.



Gráfico 3-2. Etapas del Procesamiento de imágenes mediante visión artificial.

Realizado por: (Remache.S,2021)

2.7.2. Líneas de programación en Python para la captura de imágenes

Después de ubicar la cámara y la iluminación de manera adecuada se procede a capturar las imágenes desde el programa que para eso se utiliza las siguientes líneas de código que se muestra en la figura 15-2 y las librerías que intervienen en la captura de imágenes.

```
from picamera import PiCamera
camera =PiCamera()
camera.start_preview()
camera.capture('/home/pi/Desktop/practica\
/captura.jpg')
camera.stop_preview()
```

Figura 15-2. Código necesario para capturar la imagen.

Realizado por: (Remache.S,2021)

La librería cv2 utilizada en la implementación del prototipo, es la librería principal que permite interactuar las líneas de codificación del programa con la parte de visión artificial, además del uso de vectores y matrices que permite transformar una imagen en arreglos y presenta las imágenes a partir de los arreglos procesados.

2.8. Preprocesamiento de la imagen

La captura de imágenes se lo hace en formato RGB por sus siglas en ingles “RED, GREEN, BLUE” que componen los 3 colores primarios de 8 bits cada uno lo hace posible 256 valores por color, y este formato es el más usado en procesamiento digital de imágenes por su facilidad de procesamiento y fácil manejo. El preprocesamiento de una imagen consiste en modificar la imagen ya sea aumentando detalles o quitando ruido, estos procesos de lo debe realizar sin alterar la información que otorga la imagen.

2.8.1. Filtros utilizados en el preprocesamiento de la selección de la naranja

En el procesamiento digital de imágenes existen vario tipos de filtros ya sean pasa bajos o pasa altos y sientos estos a su vez lineales o no lineales, en este prototipo se utilizó dos filtros pasa bajos no lineales, el filtro de mediana y el filtro gaussiano.

2.8.1.1. Filtro de mediana

Este es un filtro no lineal basado en el proceso estadístico de la mediana y usa una ventana de un número positivo impar donde se encuentra la mediana de toda la ventana y reemplaza al valor del píxel central. En opencv existe el comando cv2.medianBlur() que llama a la función para aplicar el filtro de mediana a una imagen. Este filtro es muy útil para eliminar ruido conocido como de sal y pimienta como se muestra en la figura 16-2.



a) Imagen con filtro de mediana

b) Imagen sin filtro

Figura 16-2. Uso del filtro de mediana.

Realizado por: (Remache.S,2021)

2.8.1.2. Filtro Gaussiano

Este filtro de caja consta de coeficientes iguales, teniendo en el centro un núcleo gaussiano. En opencv tenemos el comando `cv2.GaussianBlur()` que permite usar este filtro y como argumentos se tiene el ancho y alto del kernel, que debe ser positivo e impar y por último hay que ingresar la desviación estándar de las direcciones x,y . Este tipo de filtro sirve para eliminar el llamado ruido gaussiano como se ve en la figura 17-2.



a) Imagen con filtro de mediana

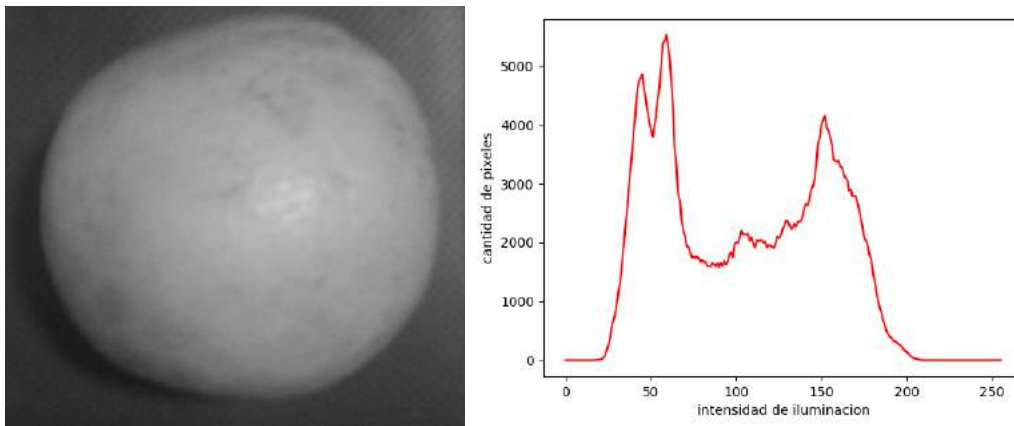
b) Imagen sin filtro

Figura 17-2. Utilización del filtro Gaussiano

Realizado por: (Remache.S,2021)

2.8.2. *Contraste de la imagen capturada*

En contraste de una imagen consiste en el rango entre el píxel más intenso y el menos intenso de toda la imagen, el contraste de una imagen se lo puede ver de una manera gráfica mediante un histograma y se lo puede mejorar para una mejor selección del objeto a analizar como se muestra en la figura 18-2.



a) Imagen a escala de grises

b) Histograma de la imagen

Figura 18-2. Contraste de la imagen capturada en escalada de grises y el histograma.

Realizado por: (Remache.S,2021)

2.9. Segmentación de la imagen.

Después de preprocesar la imagen el siguiente paso es segmentar la imagen para poder discriminar el color y el tamaño de la naranja y analizar la imagen en sitios de interés de manera más eficiente, para lo cual se usa varias funciones de segmentación que se detalla a continuación.

2.9.1. *Binarización*

La binarización de una imagen consiste en pasar de niveles en escala de grises o color a una imagen en niveles binarios, es decir que para una imagen en niveles de 0 a 255 pase a otra imagen de 0 y 1 conocida como Umbralización. Este proceso es usado para varias finalidades como: reducir el tamaño en bytes y que el procesamiento de la imagen sea más eficiente, también sirve para poder encontrar el contorno del objeto que se analiza y poder extraer información como se muestra en la figura 19-2.



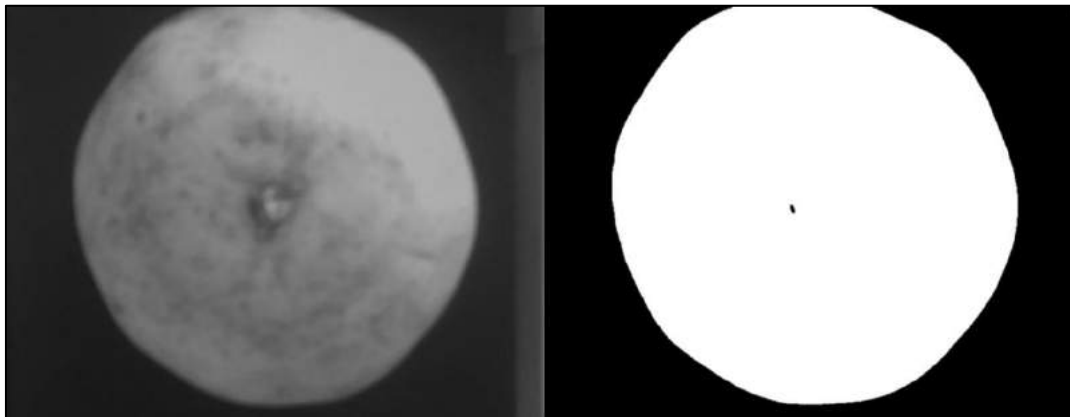
a) Imagen con fallos Umbralizada

b) Imagen con fallos

Figura 19-2. Imagen con fallos umbralizada de la naranja.

Realizado por: (Remache.S,2021)

En la figura 20-2 se muestra la imagen en escala de grises y la imagen umbralizada mediante la función `cv2.threshold(__, __, __, cv2.THRESH_BINARY)` de openCV; que como datos de entrada la función tiene: la imagen a umbralizar; el umbral; y el nivel máximo de los pixeles.



a) Imagen a escala de grises

b) Imagen Umbralizada

Figura 20-2. Imagen de la Umbralización de la naranja.

Realizado por: (Remache.S,2021)

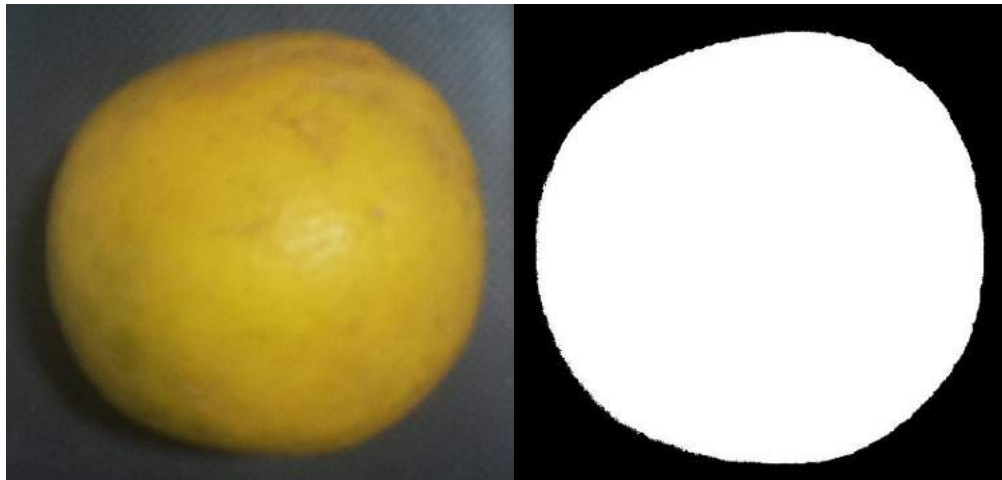
2.9.1.1. Binarización en rango

Consiste en transformar de una imagen a color a otra imagen con niveles de 0 y 1, esto se lo hace comparando la matriz de la imagen entre otras 2 matrices que son el rango de la Binarización como se lo ve en la ecuación 3-2.

$$\text{imagen binarizada} = \text{rango bajo} \leq \text{imagen} \leq \text{rango alto}$$

Esta ecuación se lo aplica para imágenes de un solo canal o más. Esta función ayuda para detectar el rango de un color específico y poder obtener una máscara para el análisis de color como se

muestra en la figura 21-2.



a) Imagen en RGB

b) Imagen binarizada por rango

Figura 21-2. Binarización de la imagen de la naranja.

Realizado por: (Remache.S,2021)

2.9.2. *Detección de bordes de la naranja*

En la librería de openCV hay varios métodos de hallar bordes, en este prototipo se utilizó la función `cv2.findContours(____,cv2.RETR_EXTERNAL,cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)` que como datos de entrada tiene a la imagen seguido del método para hallar el contorno. Con esta función se halla todos los contornos incluyendo algunos que corresponden al ruido y otros a imperfecciones en la cascara como se muestra en la figura 22-2, que sirve para analizar si la naranja se encuentra apta o no para su comercialización.



Figura 22-2. Imagen con borde

Realizado por: (Remache.S,2021)

Una función que ayuda a suavizar el contorno en openCV es `cv2.convexHull()` que permite encontrar un casco convexo en un conjunto de puntos, teniendo como resultado un nuevo contorno más apegado a la forma de la naranja como se muestra en la figura 23-2.



Figura 23-2. Imagen con borde mejorado

Realizado por: (Remache.S,2021)

2.9.3. *Aproximación del contorno a figuras geométricas*

Para tener un resultado más exacto en la medición del tamaño de la naranja se utilizó el siguiente código que se muestra en la figura 24-2; que consiste encerrar en una circunferencia el contorno teniendo así un resultado de área y perímetro más apegado a las medidas reales como se muestra en la figura 25-2

```
(x,y),radio=cv2.minEnclosingCircle(contorno)
(x, y, radio) = map(int, (x, y, radio))
cv2.circle(imagen, (x, y), radio, (0, 0, 255), 2)
```

Figura 24-2. Código para encerrar en una circunferencia el objeto

Realizado por: (Remache.S,2021)



Figura 25-2. Imagen encerrada en una circunferencia

Realizado por: (Remache.S,2021)

2.10. Métodos para medir el tamaño

El primer paso para lograr medir el diámetro de la naranja es tener una referencia de medida adecuada, como este prototipo es un ambiente controlado por lo que la distancia focal de la cámara y la iluminación se mantienen constantes. Se puede utilizar un objeto de forma geométrica uniforme y capturar una imagen teniendo en cuenta la misma distancia focal de la cámara a la naranja y de la cámara al objeto, esto se logra haciendo coincidir la altura del objeto hasta la mitad de la naranja como se muestra en la figura 26-2.



Figura 26-2. Objeto de referencia.

Realizado por: (Remache.S,2021)

El siguiente paso es tomar la imagen del objeto a esa medida, preprocesarla y segmentarla, hallando el borde para calcular su perímetro y área en píxeles como se muestra en la figura 27-2.

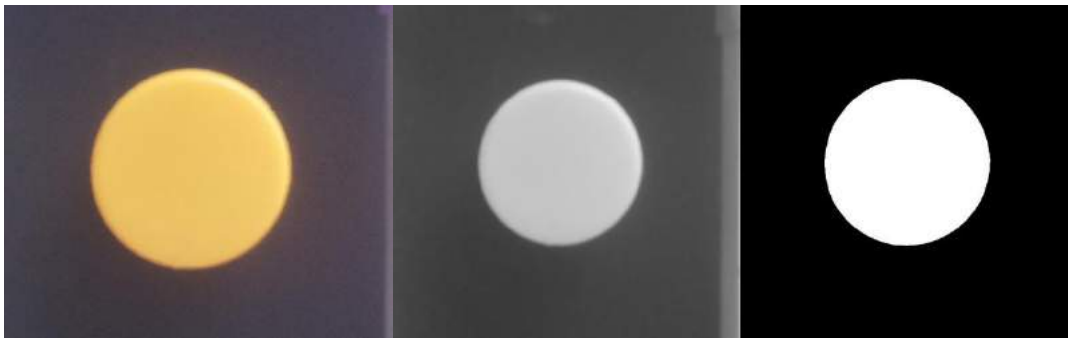


Figura 27-2. Objeto segmentado.

Realizado por: (Remache.S,2021)

Posteriormente se mide el objeto de forma manual como se muestra en la figura 28-2 para tener la medida de referencia y poder hacer una relación con los píxeles de la imagen.



Figura 28-2. Objeto medido manualmente.

Realizado por: (Remache.S,2021)

2.10.1. Método para encontrar el diámetro de la naranja mediante el perímetro

Para encontrar el diámetro de la naranja mediante el perímetro, tenemos las medidas previas del objeto en pixeles, con un perímetro de 1094.52 pixeles cuyo equivalente en cm es 14.451. La ecuación 3-2 muestra el valor del diámetro de la naranja.

Ecuación 3-2. Ecuación para hallar el diámetro conociendo el perímetro

$$Diametro = \frac{perimetro * 14.4513cm}{\pi * 1094.52pixeles}$$

2.10.2. Método para encontrar el diámetro mediante el área

Al igual que en el proceso anterior se tiene que tomar el área de referencia del objeto que nos da 94837 pixeles y el área en centímetros cuadrados es de 16.619, mediante la ecuación 4-2 se calcula el diámetro de la circunferencia.

Ecuación 4-2. Ecuación para hallar el diámetro conociendo el área

$$Diametro = 2 * \sqrt{\frac{area * 16.619cm}{\pi * 94837pixeles}}$$

2.10.3. Método para hallar el diámetro de la naranja mediante el borde inscrito en una circunferencia

Para este método aplicó un criterio similar al del perímetro, sin embargo, al inscribir el borde en una circunferencia se obtiene el radio mediante la ecuación 3-2 y se aplica en la ecuación 5-2.

Ecuación 3-2. Ecuación para hallar el diámetro conociendo el radio de la circunferencia

$$Diametro = \frac{2 * radio * 14.4513pixeles}{1094.52cm}$$

CAPÍTULO III

3. VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO

En este capítulo se presenta los resultados obtenidos del prototipo electrónico para la identificación de los parámetros de calidad en naranja blanca. Estas pruebas consisten en verificar la precisión del algoritmo en cuanto a las medidas de tamaño utilizados para los tres métodos de medición y comparar con la medición manual. Se verifica el funcionamiento del algoritmo que detecta la coloración adecuada de la naranja y la compara con la detección humana.

3.1. Medición de diámetro usando el método del perímetro comparado con una medición manual

En este apartado se hace una comparativa de la medición del prototipo con la forma manual. Este proceso se lo lleva a cabo teniendo en cuenta que, diariamente los comerciantes minoristas venden aproximadamente 700 naranjas, para lo cual se utilizó una muestra de 249 obteniendo un nivel de confianza del 95% y un margen de error de 5%, la cual se obtuvo mediante la ecuación 1-3.

Ecuación 1-3. Ecuación para hallar el tamaño de la muestra estadística.

$$n = \frac{Z^2 N p q}{e^2 (N - 1) + Z^2 p q}$$

Donde:

N=Población

Z=Nivel de confianza

n= Tamaño de la muestra

p=Probabilidad de acierto

q=Probabilidad de error

e=Error muestral deseado

Según la norma NTE 2844 que rige la calidad de las naranjas, clasifica a esta en 14 categorías que van desde los 53 mm a los 110mm excluyendo los diámetros inferiores a los 53mm como se muestra en la tabla 1-3.

Tabla 1-3. Categorización de la norma NTE2844

Categorías	Diámetro(mm)
0	92-110
1	87-100
2	84-96
3	81-92
4	77-88
5	73-84
6	70-80
7	67-76
8	64-73
9	62-70
10	60-68
11	58-66
12	56-63
13	53-60

Fuente: (NTE2844 2014)

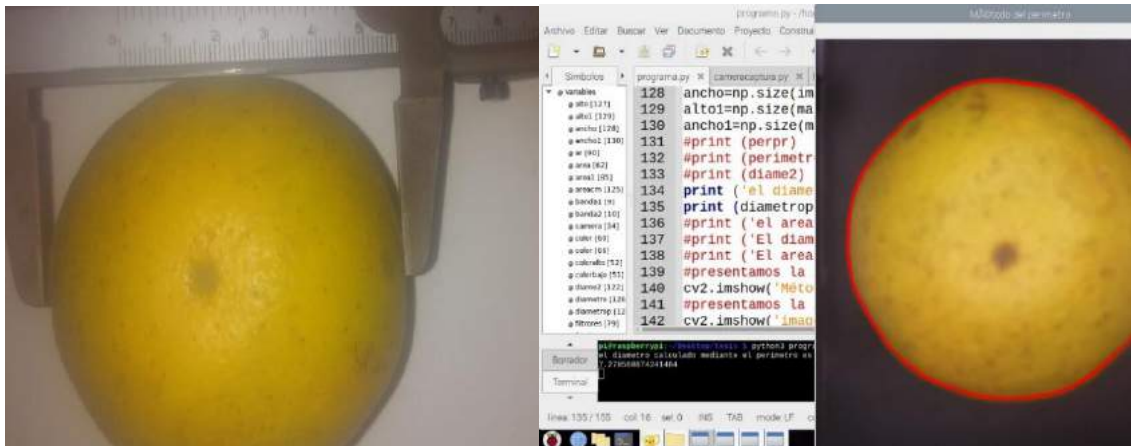
Al ser un ambiente controlado, las mediciones fueron tomadas con luz artificial emitida por un anillo de luz y una cámara ubicada dentro de este como se muestra en la figura 1-3, arrojando los resultados que se muestra en la tabla 2-3.



Figura 1-3. Anillo de luz

Realizado por: (Remache.S,2021)

En la figura 2-3 se muestra la medición del prototipo y se compara con la medición realizada manualmente mediante un calibrador, usando el método del perímetro que da un valor de 7,278 cm por lo que es una medida bastante cercana a la de la naranja medida.



a) Medición manual

b) Medición por el método del perímetro

Figura 2-3. Comparación de medidas de manual y el prototipo con el método del perímetro.

Realizado por: (Remache.S,2021)

Tabla 2-3. Mediciones con el método del perímetro y mediciones manuales

Mediciones usando el método del perímetro y manualmente								
N°	Mediciones con el método del perímetro	Medición manual	N°	Mediciones con el método del perímetro	Medición manual	N°	Mediciones con el método del perímetro	Medición manual
1	7,614	7,750	84	7,227	7,400	167	6,649	6,800
2	7,187	7,300	85	7,165	7,300	168	7,262	7,550
3	7,611	7,650	86	7,225	7,400	169	7,226	7,400
4	7,125	7,300	87	7,001	7,100	170	7,448	7,550
5	7,373	7,500	88	7,166	7,300	171	7,249	7,300
6	7,127	7,250	89	7,132	7,400	172	7,608	7,900
7	6,921	6,950	90	7,185	7,350	173	6,840	7,000
8	7,228	7,450	91	9,409	9,400	174	8,531	8,500
9	7,280	7,400	92	7,459	7,500	175	7,409	7,500
10	6,907	7,100	93	8,385	8,500	176	8,195	8,200
11	7,813	7,950	94	7,807	8,100	177	7,483	7,500
12	6,768	6,900	95	7,546	7,600	178	7,806	7,800

13	7,289	7,400	96	7,500	7,500	179	7,179	7,300
14	7,552	7,700	97	9,104	9,100	180	6,787	6,800
15	6,720	6,900	98	8,456	8,500	181	7,557	7,600
16	7,772	7,900	99	7,114	7,200	182	6,853	6,900
17	6,532	6,800	100	7,530	7,600	183	7,162	7,200
18	6,848	6,900	101	7,519	7,550	184	9,022	9,100
19	7,327	7,400	102	6,812	6,900	185	7,062	7,200
20	7,834	7,850	103	6,797	6,900	186	7,166	7,300
21	7,816	7,900	104	7,110	7,100	187	7,330	7,550
22	7,077	7,200	105	7,859	8,000	188	7,978	8,100
23	7,321	7,700	106	6,794	7,000	189	7,336	7,400
24	7,182	7,300	107	7,640	7,800	190	7,208	7,300
25	7,266	7,500	108	6,803	6,950	191	7,101	7,200
26	7,115	7,400	109	8,473	8,500	192	9,009	9,100
27	7,497	7,800	110	7,110	7,150	193	7,874	8,000
28	6,559	6,700	111	8,935	9,000	194	7,666	7,700
29	6,909	7,150	112	7,489	7,600	195	7,242	7,300
30	7,156	7,200	113	7,261	7,350	196	7,680	7,750
31	7,363	7,600	114	7,681	7,850	197	8,456	8,500
32	6,864	6,900	115	7,042	7,150	198	7,249	7,400
33	7,142	7,300	116	7,146	7,350	199	7,534	7,650
34	6,988	7,200	117	7,981	8,050	200	6,796	6,850
35	9,212	9,400	118	8,553	8,700	201	7,086	7,200
36	8,656	8,700	119	7,175	7,300	202	6,779	6,900
37	7,283	7,300	120	7,289	7,400	203	8,108	8,100
38	7,953	8,100	121	7,266	7,500	204	6,834	7,000
39	7,802	7,850	122	7,115	7,400	205	9,052	9,300
40	7,452	7,600	123	7,697	7,800	206	7,387	7,500
41	7,540	7,650	124	6,559	6,700	207	7,130	7,200
42	7,310	7,350	125	6,909	7,150	208	7,133	7,300
43	6,921	7,100	126	7,156	7,200	209	8,378	8,500
44	7,222	7,300	127	7,363	7,600	210	7,213	7,300
45	6,652	6,800	128	6,864	6,900	211	7,881	7,950
46	7,548	7,700	129	6,842	7,000	212	7,263	7,400

47	7,916	7,900	130	6,921	6,950	213	7,661	7,700
48	6,768	6,850	131	7,228	7,450	214	7,006	7,100
49	6,748	6,900	132	7,280	7,400	215	7,216	7,350
50	7,170	7,200	133	6,907	7,100	216	7,421	7,600
51	7,240	7,350	134	7,813	7,950	217	6,823	6,900
52	7,752	7,850	135	6,668	6,900	218	7,372	7,500
53	7,981	8,050	136	7,289	7,400	219	6,866	7,000
54	8,553	8,700	137	8,011	7,900	220	6,646	6,700
55	7,175	7,300	138	7,728	7,850	221	7,548	7,700
56	7,289	7,400	139	9,069	9,000	222	7,802	7,950
57	7,765	7,900	140	8,144	8,200	223	7,232	7,300
58	6,991	7,100	141	7,087	7,150	224	6,648	6,800
59	9,277	9,300	142	7,672	7,900	225	7,396	7,500
60	6,775	7,000	143	7,166	7,350	226	7,176	7,300
61	7,842	7,900	144	9,048	9,000	227	7,790	7,850
62	7,148	7,350	145	7,272	7,350	228	8,557	8,700
63	7,642	7,800	146	7,676	7,750	229	6,667	6,750
64	7,836	7,850	147	7,901	7,900	230	8,411	8,500
65	7,407	7,500	148	6,990	7,150	231	7,740	7,900
66	8,667	8,800	149	7,947	8,000	232	6,969	7,100
67	7,255	7,400	150	7,790	7,800	233	8,397	8,450
68	7,724	7,800	151	8,109	8,000	234	7,655	7,750
69	7,110	7,200	152	7,885	8,000	235	7,601	7,700
70	6,585	6,800	153	8,447	8,500	236	6,822	6,900
71	6,630	6,700	154	7,669	7,800	237	7,226	7,300
72	9,066	9,200	155	7,378	7,400	238	7,655	7,800
73	7,331	7,500	156	9,087	9,200	239	7,891	8,000
74	7,259	7,600	157	6,895	6,900	240	7,178	7,300
75	7,499	7,650	158	7,776	7,800	241	7,643	7,700
76	7,173	7,300	159	6,647	6,800	242	7,333	7,500
77	7,165	7,250	160	6,678	6,850	243	7,016	7,050
78	6,631	6,800	161	7,651	7,700	244	6,757	6,800
79	6,715	6,900	162	9,430	9,600	245	7,513	7,600
80	6,567	6,650	163	7,211	7,350	246	6,826	6,900
81	7,080	7,150	164	7,247	7,400	247	6,582	6,700
82	6,951	7,150	165	8,515	8,600	248	7,097	7,200
83	6,879	7,100	166	7,640	7,750	249	7,145	7,200
						Media	1,553	

Realizado por: (Remache.S,2021)

Los datos de la tabla 2-3, muestra el error que no supera los 3mm dando resultados aceptables pero muy propenso a fallos de categorización, por este motivo se usó el segundo método para obtener mejores resultados.

El error de la medición del prototipo con relación a la medición manual se calcula mediante la ecuación 2-3 con el fin de obtener un error porcentual.

Ecuación 2-3. Ecuación para calcular el error porcentual del método del perímetro.

$$Error = \left| \frac{M_p - M_m}{M_m} \right| * 100\%$$

Donde:

M_p = Medición por el método del perímetro.

M_m = Medición manual

Un ejemplo realizado con las mediciones de la primera naranja es:

$$Error = \left| \frac{7,750cm - 7,614cm}{7,614cm} \right| * 100\%$$
$$Error = 1,775\%$$

El error del prototipo medido el diámetro de la naranja por este método, tiene como media aritmética 1,553% y se obtiene mediante la ecuación 3-3.

Ecuación 3-3. Ecuación de la media aritmética.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=0}^n x_i}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{1,775\% + 1,534\% + \dots + 0,757\%}{249 \text{ naranjas}}$$

$$\bar{x} = 1.553\%$$

En el gráfico 1-3, se observa el error en porcentaje con respecto a la cantidad de muestras obteniendo que ninguna naranja de la muestra supera el 5% de error.

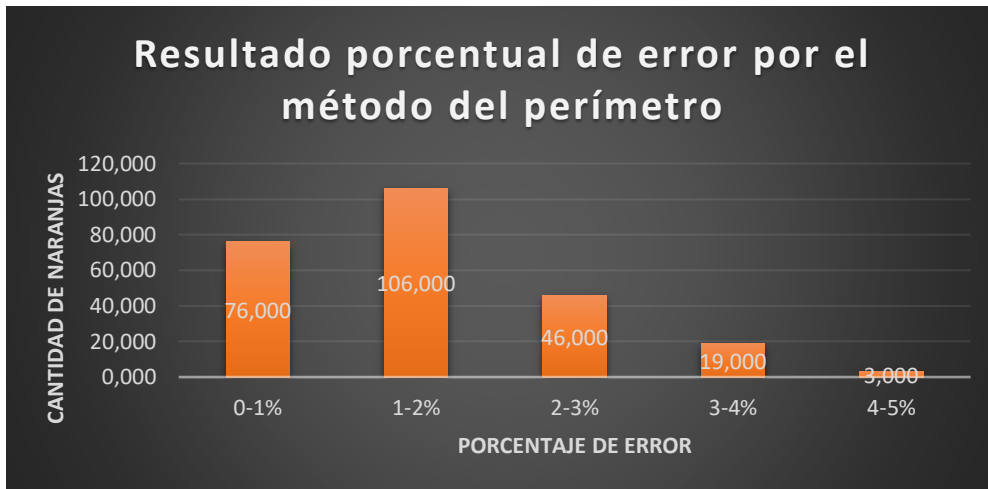


Gráfico 1-3. Resultado del error de la muestra del método del perímetro.

Realizado por: (Remache.S,2021)

Este error representa la diferencia del diámetro medido por el prototipo en comparación con la medición manual. En la figura 3-3 se muestra el desfase del borde dibujado con el borde de la naranja lo que nos lleva al error.



Figura 3-3. Desfase del borde

Realizado por: (Remache.S,2021)

El margen de error donde se encuentra la mayor parte de los datos para este método es 0,617%-2,489%, el cual se obtiene mediante el cálculo de la desviación estándar de la ecuación 4-3, y se le resta y le suma a la media aritmética. Estos datos permiten sustentar la decisión para elegir el método apropiado.

Ecuación 4-3. Ecuación de la desviación estándar.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{(1,755\% - 1,553\%)^2 + (1,543\% - 1,553\%)^2 + \dots}{248naranjas}}$$

Donde:

S= Desviación estándar.

\bar{x} = Media Aritmética.

n = numero de datos

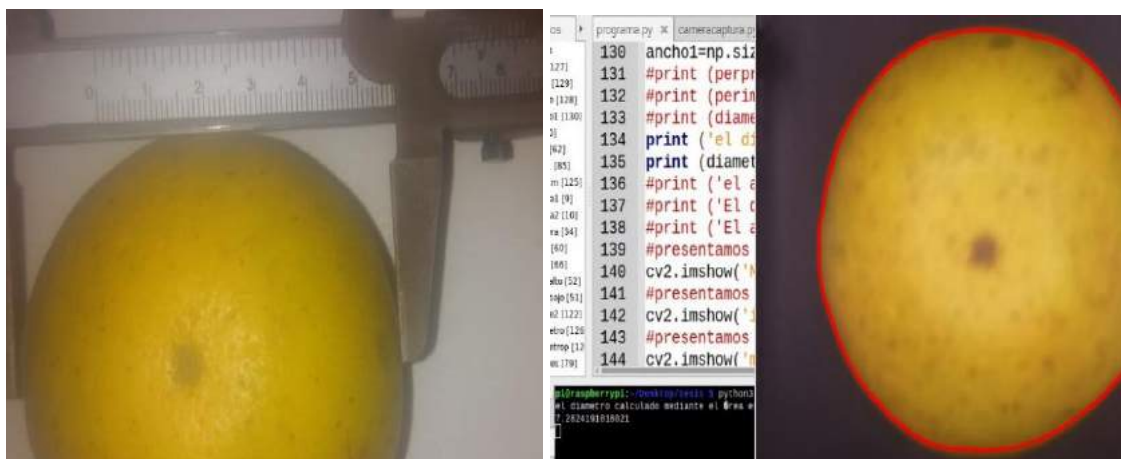
x = datos

Donde nos da como resultado una desviación estándar de 0,936%

3.2. Medición del diámetro de la naranja usando el método del área

Otra forma de medir el diámetro de la naranja es mediante el método del área y para compararlo con el área de un objeto de referencia. Este método también presenta desfaes entre el borde real y el borde encontrado mediante visión artificial lo que conlleva diferencias en las medidas que se puede observar en la tabla 3-3, que no superan los 3mm de diferencia.

Ahora con una medida de prueba usando el algoritmo del prototipo con el método del área y comparando con una medida manual usando un calibrador se obtiene 7,282cm de diámetro como se muestra en la figura 4-3.



a) Medición manual

b) Medición por el método del área

Figura 4-3. Comparación de medidas de manual y el prototipo con el método del área.

Realizado por: (Remache.S,2021)

Tabla 3-3. Mediciones con el método del área y mediciones manuales

Mediciones usando el método del área y manualmente								
N°	Mediciones con el método del área	Medición manual	N°	Mediciones con el método del área	Medición manual	N°	Mediciones con el método del área	Medición manual
1	7,605	7,750	84	7,200	7,400	167	6,623	6,800
2	7,186	7,300	85	7,155	7,300	168	7,231	7,550
3	7,577	7,650	86	7,211	7,400	169	7,201	7,400
4	7,111	7,300	87	6,975	7,100	170	7,413	7,550
5	7,379	7,500	88	7,141	7,300	171	7,232	7,300
6	7,125	7,250	89	7,094	7,400	172	7,569	7,900
7	6,912	6,950	90	7,137	7,350	173	6,818	7,000
8	7,222	7,450	91	9,299	9,400	174	8,466	8,500
9	7,279	7,400	92	7,426	7,500	175	7,401	7,500
10	6,911	7,100	93	8,364	8,500	176	8,092	8,200
11	7,780	7,950	94	7,700	8,100	177	7,455	7,500
12	6,760	6,900	95	7,530	7,600	178	7,777	7,800
13	7,282	7,400	96	7,475	7,500	179	7,171	7,300
14	7,535	7,700	97	9,005	9,100	180	6,777	6,800
15	6,700	6,900	98	8,403	8,500	181	7,508	7,600
16	7,761	7,900	99	7,113	7,200	182	6,834	6,900
17	6,571	6,800	100	7,490	7,600	183	7,139	7,200
18	6,875	6,900	101	7,483	7,550	184	8,981	9,100
19	7,328	7,400	102	6,795	6,900	185	7,040	7,200
20	7,825	7,850	103	6,787	6,900	186	7,135	7,300
21	7,800	7,900	104	7,100	7,100	187	7,323	7,550
22	7,074	7,200	105	7,836	8,000	188	7,951	8,100
23	7,171	7,700	106	6,783	7,000	189	7,386	7,400
24	7,182	7,300	107	7,629	7,800	190	7,200	7,300
25	7,255	7,500	108	6,783	6,950	191	7,080	7,200
26	7,098	7,400	109	8,436	8,500	192	8,986	9,100
27	7,474	7,800	110	7,111	7,150	193	7,829	8,000
28	6,541	6,700	111	8,853	9,000	194	7,655	7,700
29	6,911	7,150	112	7,477	7,600	195	7,222	7,300

N°	Mediciones con el método del área	Medición manual	N°	Mediciones con el método del área	Medición manual	N°	Mediciones con el método del área	Medición manual
30	7,153	7,200	113	7,251	7,350	196	7,656	7,750
31	7,335	7,600	114	7,649	7,850	197	8,422	8,500
32	6,858	6,900	115	7,010	7,150	198	7,235	7,400
33	7,134	7,300	116	7,125	7,350	199	7,520	7,650
34	6,988	7,200	117	7,979	8,050	200	6,770	6,850
35	9,109	9,400	118	8,520	8,700	201	7,086	7,200
36	8,633	8,700	119	7,162	7,300	202	6,769	6,900
37	7,253	7,300	120	7,291	7,400	203	8,096	8,100
38	7,929	8,100	121	7,255	7,500	204	6,814	7,000
39	7,814	7,850	122	7,128	7,400	205	9,001	9,300
40	7,416	7,600	123	7,674	7,800	206	7,332	7,500
41	7,542	7,650	124	6,541	6,700	207	7,078	7,200
42	7,307	7,350	125	6,911	7,150	208	7,118	7,300
43	6,929	7,100	126	7,153	7,200	209	8,332	8,500
44	7,225	7,300	127	7,335	7,600	210	7,195	7,300
45	6,645	6,800	128	6,858	6,900	211	7,857	7,950
46	7,550	7,700	129	6,834	7,000	212	7,230	7,400
47	7,903	7,900	130	6,912	6,950	213	7,652	7,700
48	6,761	6,850	131	7,222	7,450	214	6,981	7,100
49	6,732	6,900	132	7,279	7,400	215	7,198	7,350
50	7,173	7,200	133	6,911	7,100	216	7,395	7,600
51	7,244	7,350	134	7,780	7,950	217	6,810	6,900
52	7,761	7,850	135	6,660	6,900	218	7,363	7,500
53	7,979	8,050	136	7,282	7,400	219	6,850	7,000
54	8,520	8,700	137	8,003	7,900	220	6,629	6,700
55	7,162	7,300	138	7,694	7,850	221	7,520	7,700
56	7,291	7,400	139	9,044	9,000	222	7,785	7,950
57	7,755	7,900	140	8,131	8,200	223	7,201	7,300
58	6,991	7,100	141	7,071	7,150	224	6,636	6,800
59	9,223	9,300	142	7,615	7,900	225	7,346	7,500

N°	Mediciones con el método del área	Medición manual	N°	Mediciones con el método del área	Medición manual	N°	Mediciones con el método del área	Medición manual
60	6,745	7,000	143	7,152	7,350	226	7,152	7,300
61	7,818	7,900	144	9,008	9,000	227	7,774	7,850
62	7,151	7,350	145	7,263	7,350	228	8,533	8,700
63	7,645	7,800	146	7,663	7,750	229	6,640	6,750
64	7,815	7,850	147	7,887	7,900	230	8,364	8,500
65	7,476	7,500	148	6,976	7,150	231	7,713	7,900
66	8,600	8,800	149	7,828	8,000	232	6,921	7,100
67	7,262	7,400	150	7,776	7,800	233	8,361	8,450
68	7,720	7,800	151	8,100	8,000	234	7,633	7,750
69	7,110	7,200	152	7,837	8,000	235	7,581	7,700
70	6,572	6,800	153	8,416	8,500	236	6,794	6,900
71	6,629	6,700	154	7,640	7,800	237	7,210	7,300
72	9,027	9,200	155	7,338	7,400	238	7,609	7,800
73	7,284	7,500	156	9,046	9,200	239	7,869	8,000
74	7,201	7,600	157	6,830	6,900	240	7,150	7,300
75	7,465	7,650	158	7,755	7,800	241	7,633	7,700
76	7,168	7,300	159	6,610	6,800	242	7,313	7,500
77	7,199	7,250	160	6,665	6,850	243	7,012	7,050
78	6,620	6,800	161	7,633	7,700	244	6,744	6,800
79	6,710	6,900	162	9,320	9,600	245	7,497	7,600
80	6,554	6,650	163	7,195	7,350	246	6,809	6,900
81	7,055	7,150	164	7,224	7,400	247	6,575	6,700
82	6,933	7,150	165	8,480	8,600	248	7,073	7,200
83	6,819	7,100	166	7,623	7,750	249	7,137	7,200
						Medi a	1,808	

Fuente: (Remache.S,2021)

Realizado por: (Remache.S,2021)

De los datos obtenidos en la medición para obtener el error se empleó la ecuación 5-3.

Ecuación 5-3. Ecuación para calcular el error porcentual del método del área.

$$Error = \left| \frac{M_a - M_m}{M_m} \right| * 100\%$$

Donde:

M_a = Medición por el método del área.

M_m = Medición manual

Un ejemplo realizado con las mediciones de la primera naranja es:

$$Error = \left| \frac{7,605cm - 7,614cm}{7,614cm} \right| * 100\%$$
$$Error = 1,873\%$$

Sin embargo, este método no supera un error del 5% en todas las mediciones, como se muestra en el gráfico 2-3. Donde se detalla el error porcentual con relación al número de pruebas.



Gráfico 2-3. Resultado del error de la muestra del método del área.

Realizado por: (Remache.S,2021)

Para este método la mayor parte de los datos se encuentra entre 0,798% - 2,818%. El valor calculado mediante la fórmula de la desviación estándar es de 1,010%.

3.3. Medición del diámetro de la naranja usando el método de una circunferencia aproximada

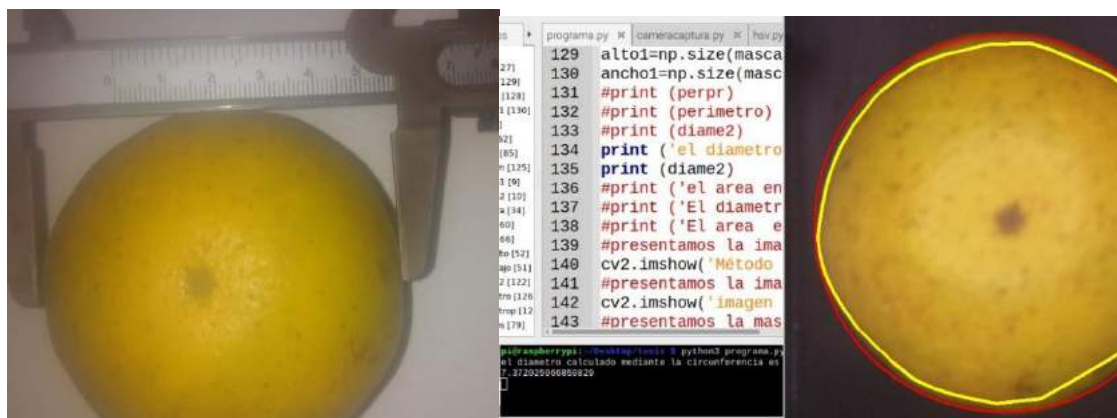
La última forma utilizada para medir el diámetro de la naranja es inscribiendo el borde en una circunferencia como se muestra en la figura 2-3.



Figura 5-3. Borde inscrito en una circunferencia.

Realizado por: (Remache.S,2021)

En la figura 6-3 se muestra el resultado de la medida manual de la naranja utilizando un calibrador y otra usando el prototipo, dando como resultado de la medición manual 7,3 cm y con el prototipo de 7,372cm, como se observa el valor resultante es levemente mayor al real, siendo útil para categorizar la naranja de una manera acorde con la normativa.



a) Medición manual

b) Medición por el método de la circunferencia

Figura 6-3. Comparación de medidas de manual y el prototipo con el método de la circunferencia.

Realizado por: (Remache.S,2021)

A diferencia de los métodos anteriores con este método es muy probable que el diámetro sea levemente mayor al real debido a que las naranjas no son esferas perfectamente definidas por lo que este método rellena esos espacios vacíos provocando un incremento en comparación al valor real. En la tabla 4-3 se muestra los valores medidos por el prototipo con este método y comparados con los valores medidos manualmente donde se observa un desfase en las medidas.

Tabla 4-3. Mediciones con el método de la circunferencia y mediciones manuales

Mediciones usando el método de la circunferencia y manualmente								
N°	Mediciones con el método de la circunferencia	Mediciones manuales	N°	Mediciones con el método de la circunferencia	Mediciones manuales	N°	Mediciones con el método de la circunferencia	Mediciones manuales
1	7,816	7,750	84	7,505	7,400	167	6,866	6,800
2	7,315	7,300	85	7,319	7,300	168	7,505	7,550
3	7,701	7,650	86	7,399	7,400	169	7,425	7,400
4	7,183	7,300	87	7,239	7,100	170	7,691	7,550
5	7,420	7,500	88	7,345	7,300	171	7,399	7,300
6	7,341	7,250	89	7,425	7,400	172	7,958	7,900
7	7,103	6,950	90	7,425	7,350	173	7,053	7,000
8	7,499	7,450	91	9,794	9,400	174	8,613	8,500
9	7,447	7,400	92	7,665	7,500	175	7,558	7,500
10	7,051	7,100	93	8,623	8,500	176	8,209	8,200
11	8,080	7,950	94	8,304	8,100	177	7,545	7,500
12	6,813	6,900	95	7,745	7,600	178	7,884	7,800
13	7,447	7,400	96	7,745	7,500	179	7,345	7,300
14	7,684	7,700	97	9,554	9,100	180	6,893	6,800
15	7,051	6,900	98	8,703	8,500	181	7,624	7,600
16	8,001	7,900	99	7,186	7,200	182	7,079	6,900
17	6,839	6,800	100	7,771	7,600	183	7,372	7,200
18	6,971	6,900	101	7,638	7,550	184	9,235	9,100
19	7,499	7,400	102	7,106	6,900	185	7,239	7,200
20	8,054	7,850	103	6,866	6,900	186	7,345	7,300
21	8,160	7,900	104	7,266	7,100	187	7,612	7,550
22	7,288	7,200	105	8,037	8,000	188	8,250	8,100
23	7,896	7,700	106	6,893	7,000	189	7,505	7,400
24	7,315	7,300	107	7,718	7,800	190	7,345	7,300
25	7,447	7,500	108	7,079	6,950	191	7,266	7,200
26	7,341	7,400	109	8,809	8,500	192	9,182	9,100
27	7,816	7,800	110	7,159	7,150	193	8,091	8,000
28	6,787	6,700	111	9,341	9,000	194	7,798	7,700
29	7,024	7,150	112	7,691	7,600	195	7,399	7,300

N°	Mediciones con el método de la circunferencia	Mediciones manualmente	N°	Mediciones con el método de la circunferencia	Mediciones manualmente	N°	Mediciones con el método de la circunferencia	Mediciones manualmente
30	7,341	7,200	113	7,372	7,350	196	7,787	7,750
31	7,658	7,600	114	7,958	7,850	197	8,609	8,500
32	6,998	6,900	115	7,239	7,150	198	7,452	7,400
33	7,224	7,300	116	7,399	7,350	199	7,691	7,650
34	7,130	7,200	117	8,212	8,050	200	6,946	6,850
35	9,586	9,400	118	8,925	8,700	201	7,159	7,200
36	8,952	8,700	119	7,452	7,300	202	6,866	6,900
37	7,552	7,300	120	7,394	7,400	203	8,277	8,100
38	8,292	8,100	121	7,447	7,500	204	7,106	7,000
39	7,896	7,850	122	7,341	7,400	205	9,501	9,300
40	7,896	7,600	123	7,816	7,800	206	7,591	7,500
41	7,684	7,650	124	6,787	6,700	207	7,258	7,200
42	7,420	7,350	125	7,024	7,150	208	7,319	7,300
43	6,998	7,100	126	7,341	7,200	209	8,649	8,500
44	7,420	7,300	127	7,658	7,600	210	7,372	7,300
45	6,813	6,800	128	6,998	6,900	211	8,054	7,950
46	7,684	7,700	129	7,024	7,000	212	7,478	7,400
47	8,107	7,900	130	7,103	6,950	213	7,745	7,700
48	6,998	6,850	131	7,499	7,450	214	7,186	7,100
49	6,998	6,900	132	7,447	7,400	215	7,425	7,350
50	7,341	7,200	133	7,051	7,100	216	7,691	7,600
51	7,394	7,350	134	8,080	7,950	217	6,973	6,900
52	7,843	7,850	135	6,813	6,900	218	7,532	7,500
53	8,212	8,050	136	7,447	7,400	219	7,026	7,000
54	8,925	8,700	137	8,049	7,900	220	6,787	6,700
55	7,552	7,300	138	8,061	7,850	221	7,798	7,700
56	7,394	7,400	139	9,208	9,000	222	8,064	7,950
57	7,975	7,900	140	8,330	8,200	223	7,399	7,300
58	7,103	7,100	141	7,292	7,150	224	6,866	6,800
59	9,586	9,300	142	7,851	7,900	225	7,538	7,500

N°	Mediciones con el método de la circunferencia	Mediciones manuales	N°	Mediciones con el método de la circunferencia	Mediciones manuales	N°	Mediciones con el método de la circunferencia	Mediciones manuales
60	7,024	7,000	143	7,425	7,350	226	7,352	7,300
61	8,028	7,900	144	9,221	9,000	227	7,931	7,850
62	7,235	7,350	145	7,425	7,350	228	8,756	8,700
63	7,816	7,800	146	7,798	7,750	229	6,893	6,750
64	8,028	7,850	147	8,064	7,900	230	8,656	8,500
65	7,526	7,500	148	7,159	7,150	231	7,984	7,900
66	8,846	8,800	149	8,011	8,000	232	7,166	7,100
67	7,394	7,400	150	7,931	7,800	233	8,503	8,450
68	7,922	7,800	151	8,150	8,000	234	7,804	7,750
69	7,315	7,200	152	8,224	8,000	235	7,771	7,700
70	6,787	6,800	153	8,729	8,500	236	6,999	6,900
71	6,654	6,700	154	7,931	7,800	237	7,399	7,300
72	9,454	9,200	155	7,532	7,400	238	7,958	7,800
73	7,711	7,500	156	9,288	9,200	239	8,037	8,000
74	7,473	7,600	157	7,086	6,900	240	7,399	7,300
75	7,526	7,650	158	7,984	7,800	241	7,798	7,700
76	7,288	7,300	159	6,866	6,800	242	7,585	7,500
77	7,288	7,250	160	6,946	6,850	243	7,106	7,050
78	6,707	6,800	161	7,824	7,700	244	6,840	6,800
79	6,839	6,900	162	9,847	9,600	245	7,691	7,600
80	6,787	6,650	163	7,452	7,350	246	6,973	6,900
81	7,266	7,150	164	7,532	7,400	247	6,733	6,700
82	7,159	7,150	165	8,756	8,600	248	7,239	7,200
83	7,266	7,100	166	7,878	7,750	249	7,292	7,200
						Media	1,316	

Realizado por: (Remache.S,2021)

Para poder tener una idea más clara y detallada de los datos y poder compararla con los otros métodos hallamos el error porcentual mediante la ecuación 6-3.

Ecuación 6-3. Ecuación para calcular el error porcentual del método de la circunferencia.

$$Error = \left| \frac{M_a - M_m}{M_m} \right| * 100\%$$

Donde:

M_a = Medición por el método del área.

M_m = Medición manual

Un ejemplo realizado con las mediciones de la primera naranja es:

$$Error = \left| \frac{7,816cm - 7,614cm}{7,614cm} \right| * 100\%$$
$$Error = 0,856\%$$

El error del prototipo medido el diámetro de la naranja por este método tiene como 1,316%. En el grafico 3-3 se detalla el error porcentual obtenido de las mediciones en donde se refleja una mejora con respecto a los métodos anteriores.

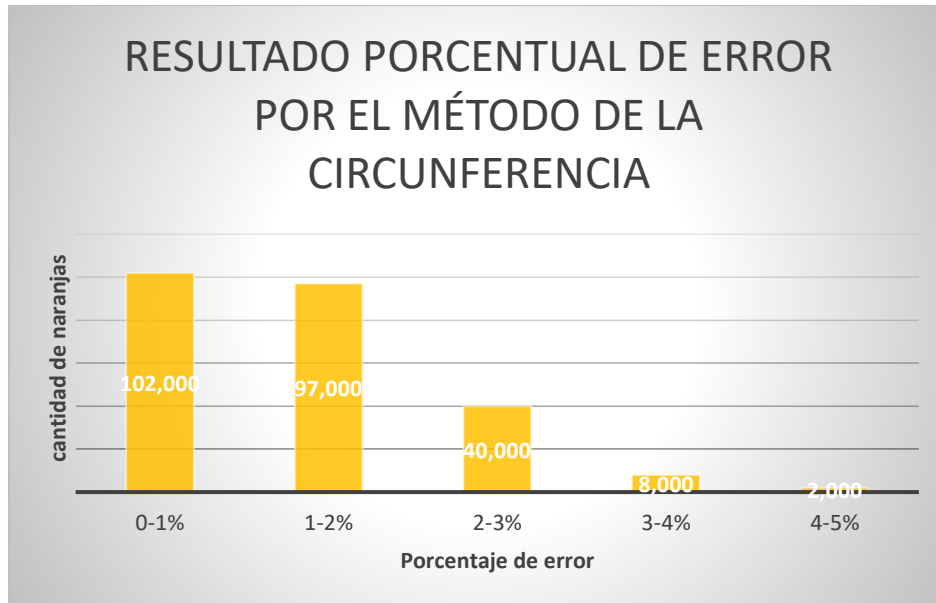


Gráfico 3-3. Resultado del error de la muestra del método de la circunferencia.

Realizado por: (Remache.S,2021)

El rango de errores de la mayor parte de los datos se encuentra entre los 0,446% a 2.186%. Con ese margen de error que es inferior al de otros métodos y es levemente superior al valor real de la medición, garantizando la calidad del producto. Por esta razón este método es el más idóneo para realizar las mediciones y clasificar las naranjas.

3.4. Prueba de precisión de la detección de color

Según la norma NTE 2844 determina que el color de la naranja tiene que ser de un color naranja uniforme según su variante y que puede tener hasta un 5% de color verde para lo cual se diseñó el algoritmo de detención de color para identificar los parámetros correspondientes.

El rango de tolerancia que dispone la norma son tres categorías definidas que son: categoría Extra, categoría I y categoría II que especifican la coloración y las imperfecciones permitidas, las mismas que se detallan a continuación.

- **Categoría Extra**

En esta categoría se encuentra las naranjas con la calidad más alta, esta categoría no permite ningún tipo de defectos, así no afecten la pulpa.(NTE2844 2014)

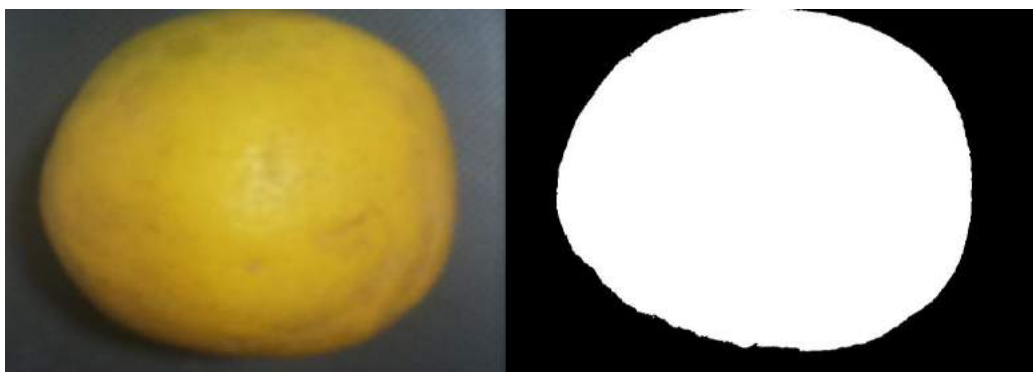
- **Categoría I**

En esta categoría el fruto debe ser de buena calidad, sin embargo, podrá permitirse defectos leves como: leves de forma, coloración, defectos en la piel durante la formación del fruto, defectos leves ya sanados de origen mecánico, estos defectos se permitirán siempre y cuando no afecte el aspecto y su estado de conservación y por ningún motivo deberán afectar a la pulpa del fruto.(NTE2844 2014)

- **Categoría II**

Esta categoría están los frutos que no cumplen con las especificaciones de las categorías anteriores pero cumplen con los requerimientos mínimos para su comercialización y podrán permitirse defectos de forma, coloración, se permite piel rugosa, alteraciones en la piel ya sanadas, defectos en la piel como incrustaciones plateadas o quemaduras, defectos mecánicos ya sanados tales como daños por el granizo, rozaduras, daños producidos por la manipulación, por ningún motivo estos defectos mencionados debe afectar a la pulpa.(NTE2844 2014)

El prototipo está diseñado para comerciante locales de naranja que están dentro de la coloración permitida de la categoría II. La naranja blanca en su variedad “*valencia*” que se cultiva en la mayor parte de la región costera es de color uniforme y carente de ombligo, por lo cual las naranjas que presenten fallos en su piel son más fáciles de detectar como se muestra en la figura 7-3.



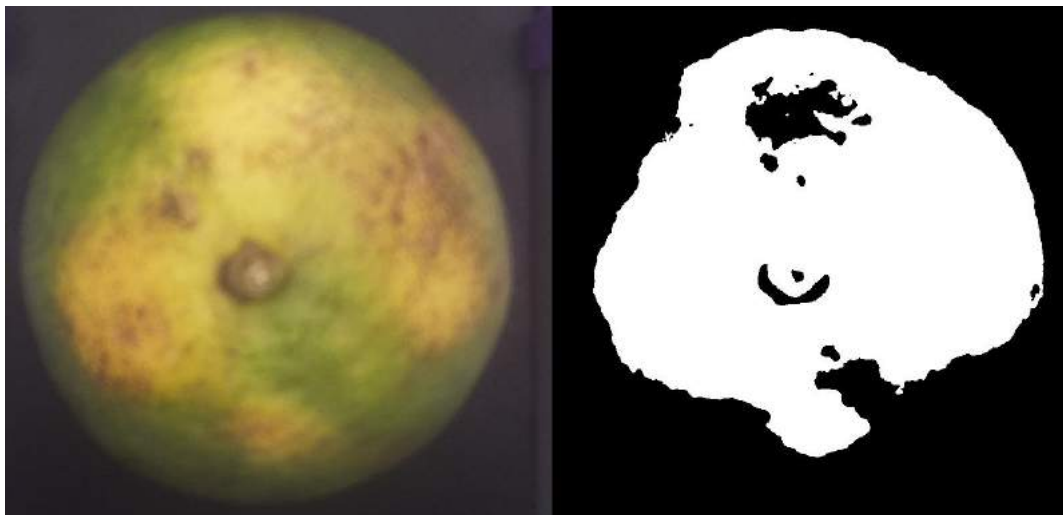
a) Imagen original

b) Imagen aplicando la detección de color

Figura 7-3. Resultado de la detección de color.

Realizado por: (Remache.S,2021)

Para las naranjas que no corresponden con el color fijado como apta en la normativa no será tomada en cuenta y son detectadas mediante la mascarará de Umbralización como se muestra en la figura 8-3.





a) Imagen original de una naranja verde. b) Imagen aplicando la máscara detección de color


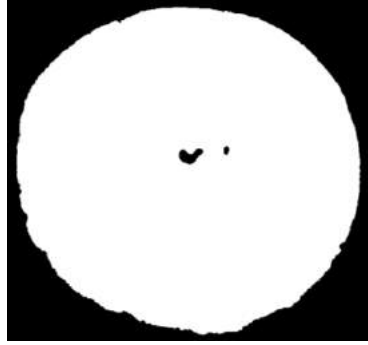




Figura 8-3. Imagen aplicando la máscara de la detención de color.

Realizado por: (Remache.S,2021)

Para la comprobación de la prueba de color de la naranja mediante el algoritmo implementado se determinó la discriminación de la fruta mediante la coloración siendo estas: verdes, maduras, y en estado de putrefacción como se muestra en la Tabla 5-3.

Tabla 5-3. Diferentes aspectos de coloración

Naranja verde	Máscara
	
Naranja con una buena coloración	Máscara

	
Naranja verde con quemaduras	Máscara
	
Naranja con lesiones leves	Máscara
	

Fuente: (Remache.S,2021)

Autor: (Remache.S,2021)

De esta forma se diferencia la coloración de la naranja y se determina si cumple o no cumple con la categoría II de la normativa. Aplicando la detección de color y comparándola con la decisión de la persona encargada de la supervisión arroja los siguientes resultados que se muestra en la tabla 6-3.

Tabla 6-3. Resultados obtenidos

Método	Cantidad de aprobadas	Cantidad de desechadas	Total
Manual	99	150	249
Prototipo	102	147	249

Realizado por: (Remache.S,2021)

Para calcular el error porcentual de la prueba de coloración de la naranja se utilizó la ecuación 7-3 que permite conocer la confiabilidad del algoritmo, teniendo como resultado 3.03% de error.

Ecuación 7-3. Ecuación para calcular el error porcentual de la prueba de coloración.

$$Error = \left| \frac{C_{am} - C_{ap}}{C_{am}} \right| * 100\%$$

$$Error = \left| \frac{99naranjas - 102naranjas}{99naranjas} \right| * 100\%$$

$$Error = 3,03\%$$

Donde:

C_{am} = Cantidad de aprobadas manualmente.


C_{ap} = Cantidad de aprobadas mediante el prototipo




3.5. Consumo de energía del prototipo

La rentabilidad de una máquina está estrechamente ligada con su consumo energético y este prototipo no es la excepción, mientras el consumo energético sea menor la rentabilidad aumenta con respecto a su inversión inicial.

En la tabla 7-3 se detalla el consumo energético del prototipo funcionando a toda su capacidad y en stand by. Estos datos sirven para poder comparar con un equipo similar para hacer un análisis costo beneficio.

Tabla 7-3. Tabla de consumo energético.

Consumo energético	
Corriente: 195mA	

<p>Voltaje:117V</p>	
<p>Potencia</p>	<p>23W</p>
<p>Consumo energético en Stand By</p>	
<p>Corriente: 81mA</p>	
<p>Voltaje:117v</p>	
<p>Potencia</p>	<p>9.5W</p>

Realizado por: (Remache.S,2021)

Como se puede observar las mediciones realizadas por cada uno de los componentes del prototipo se determinó un consumo energético bajo en comparación con productos comerciales como: la

máquina clasificadora de frutos redondos realizado por el fabricante Longkou Fushi Packing Machinery Co., Ltd. Y tiene un consumo energético de 1,5KW.(Co. 2021)

CAPÍTULO IV

4. EVALUACION ECONOMICA

Teniendo en cuenta que en el país no existen fabricantes de este tipo de dispositivos los costes de importación son elevados, por lo que al realizar la implementación del prototipo favorece a las personas involucradas en la producción y comercialización de las naranjas.

En la Tabla 1-4 se muestra un análisis económico del prototipo.

Tabla 1-4. Análisis de costos del prototipo.

N°	Artículo	Cantidad	Precio C/U (USD)	Precio total (USD)
1	Raspberry pi 4B	1	\$120	\$120
2	Estructura	1	\$60	\$60
3	Cámara Raspberry pi	1	\$40	\$40
4	Tarjeta micro sd High Speed	1	\$10	\$10
5	Servomotores	2	\$11	\$22
6	Motor	1	\$15	\$15
7	Sistema de trasmisión	1	\$5	\$5
8	Banda	1	\$10	\$10
9	Sensor de presencia	1	\$5	\$5
10	Diplay LCD	1	\$25	\$25
11	Contenedores	2	\$7	\$14
12	Piezas impresas en 3D	1	\$25	\$25
13	Sistema de iluminación	1	\$15	\$15
14	Ejes y rodillos	2	\$10	\$20
			Total	\$386

Realizado por: (Remache.S,2021)

4.1. Relación Costo/beneficio

El prototipo tiene un costo de 386 dólares que es asequible para los productores de naranjas del sector, otra ventaja es la corrección del error que se puede producir en la supervisión de la naranja una persona a lo largo de la jornada laboral y además los costos de mantenimiento no son muy altos.

CONCLUSIONES

Se implementó un prototipo electrónico de monitoreo y selección de calidad de naranjas en tiempo real utilizando visión artificial, con un costo beneficio asequible para el agricultor.

Se logró establecer que la norma NTE 2844 que rige los parámetros de calidad en la naranja para nuestro país, lo cual sirvió para el diseño del algoritmo del prototipo.

Se determinó que la cámara más adecuada para el prototipo es la Raspberry pi de 8MP V2 por sus características que se emplea en visión artificial y por el puerto de comunicación CSI que brinda menos latencia en la comunicación apta para aplicaciones en tiempo real.

Se encontró el método más apropiado para medir el diámetro y detectar el color de la naranja mediante visión artificial siendo el método del borde inscrito en una circunferencia, teniendo márgenes de tolerancia acorde a la normativa.

Mediante las pruebas realizadas se obtuvo un margen de error en la medición de tamaño en un 1,3% con el método de inscribir el borde en la circunferencia de la naranja donde se obtuvo un error de 3% en la selección del color tomando en cuenta que el algoritmo permite un 5% de margen de error. El consumo energético del prototipo es de 23W en estado de funcionamiento y de 9,5 W en stand by. El costo estimado del prototipo es de \$386.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar una programación estructurada mediante el uso de funciones que facilita la interpretación, modificación o corrección en caso de posibles adecuaciones adicionales en el prototipo.

Es aconsejable realizar las mediciones de la naranja en la época del año comprendidas entre Julio a septiembre donde la fruta a alcanzado su grado de madurez y coloración con la finalidad de que la captura de las imágenes sean las más adecuadas para su análisis.

A futuro se recomienda la incorporación de un sistema de lavado de naranjas previo a su clasificación para poder tener los mejores resultados y no se detecten falsos positivos por el prototipo.

Para mejorar la eficiencia energética se recomienda usar disparadores de luz en forma de flash solo cuando se necesite capturar la imagen.

Para tener un mejor registro de los datos es aconsejable implementar una base de datos para revisiones posteriores de la fruta y la toma de decisiones oportunas por parte de los productores.

BIBLIOGRAFÍA

- ARIZA FLORES, M., ALIA, I., NICOLÁS, M., CERVANTES, A., ALONSO, L., AYALA, B. y MORENO, B.** Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 2010 [en línea], vol. 11, pp. 148-153. [Consulta: 18 noviembre 2021]. ISSN 1665-0204. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81315809006>.
- ARREAGA GÓMEZ, L.F.** *Universidad De Guayaquil Facultad De Ciencias Económicas, 2021* [en línea]. 2017. Guayaquil: s.n. [Consulta: 5 junio 2021]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/23040>.
- BALLESTEROS, A.** IMPACTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE INOCUIDAD ALIMENTARIA BAJO LA NORMA ISO 22000 EN PYMES DE LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS. , pp. 6. , 2021.
- BNCVISION.** Sistemas de iluminación para aplicaciones de visión artificial. [en línea]. [Consulta: 18 febrero 2022]. Disponible en: <https://www.bcnvision.es/blog-vision-artificial/iluminacion-vision-artificial2/>, 2017.
- CAMPELO VALLE, G.A.** Universidad técnica de babahoyo. , 2020.
- CERVIÑO, J., RODRÍGUEZ, P., SALVACHÚA, J., ESCRIBANO, F. y HUECAS, G...** Marte 3.0: Una videoconferencia 2.0. *Actas de las IX Jornadas de Ingeniería Telemática, JITEL 2008*, pp. 209-216, **2008**.
- CO., L.F.P.M.** La mejor naranja venta de frutas y de la clasificación La clasificación y selección de la máquina la máquina - China Máquina de clasificación de color naranja, máquina de clasificación, 2021 [en línea]. [Consulta: 2 febrero 2022]. Disponible en: https://es.made-in-china.com/co_lkfushijixie/product_Best-Selling-Fruit-Orange-Sorting-and-Grading-Machine-Selecting-Machine_eiunnhyey.html.
- CONSTANTE, P. y GORDÓN, A.** Diseño e implementación de un sistema de visión artificial para clasificación de al menos tres tipos de frutas, 2015 [en línea], pp. 1-108. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/11368>.
- CSANYI, E.** Purpose and Working Principle of Inductive Sensors, 2020 [en línea]. [Consulta: 15 junio 2021]. Disponible en: <https://electrical-engineering-portal.com/purpose-and-working-principle-of-inductive-sensors>.
- GUERRERO AGUIRRE, Á., JIMENA, P. y GIRALDO, R.** Sistema embebido de bajo costo para visión artificial Low cost embedded system for machine vision. *Scientia et Technica Año XIX*, vol. 19, no. 2. ISSN 0122-1701, 2014.
- LARCHER, L.I., JUÁREZ, P.M., RUGGERI, A.I., BIASONI, E.M., CATTANEO, C.A., VILLALBA, G.A., GARCÍA GARINO, C.G., MIRASSO, A.E., STORTI, M.A., TORNELLO, M.E. y MENDOZA, A.** Ponderacion De Calidad En Frutas Usando

Técnicas De Visión Artificial Para La Estimación De Daños. *Mecánica Computacional*, 2016 [en línea], vol. 32, no. 30, pp. 2473-2484. ISSN 2591 - 3522. Disponible en: <http://faa.unse.edu.ar/http://fce.unse.edu.ar://www.amcaonline.org.ar>.

LEILA A. GIMENEZ 1 , BEATRIZ G. VARELA , NILDA D. VIGNALE, A.A.G.

Caracterización micrográfica del fruto de *Punica granatum* y su importancia en el control de calidad botánica. *ojs.dominguezia.org* , 2020 [en línea]. S.l.: [Consulta: 13 junio 2021]. Disponible en: <http://ojs.dominguezia.org/index.php/Dominguezia/article/view/241>.

LORENTE, P.J.N. Solución basada en visión artificial para la inspección automatizada de gajos de mandarina. , pp. 70-77, 2016.

LOZANO MANTILLA, G.A. y ORDUZ RODRIGUEZ, J.J. 空間像再生型立体映像の研究動向. *Nhk 技研*, vol. 151, no. 1, pp. 10-17 ,2016.

MUSSO, C.Objetivos para retrato: los más recomendados | Blog del Fotógrafo, 2014. [en línea]. [Consulta: 1 agosto 2021]. Disponible en:

<https://www.blogdelfotografo.com/objetivos-recomendados-para-fotografia-de-retrato/>.

NEGRETE, T. y LLAGUNO, J. Comparación de técnicas de visión artificial para determinar el grado de fermentación de varios tipos de granos de cacao en el proceso postcosecha en la región litoral del Ecuador, 2017. [en línea], pp. 262. Disponible en:

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15007/1/UPS-CT007403.pdf>.

NILSSON, N. Inteligencia artificial: una nueva síntesis, 2001.[en línea], [Consulta: 5 junio 2021]. Disponible en: [http://www.sidalc.net/cgi-](http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=earth.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mn=012205)

[bin/wxis.exe/?IsisScript=earth.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mn=012205](http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=earth.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mn=012205).

NTE2844. *NTE 2844*, 2014. [en línea]. 27 marzo 2014. Quito: INEN. [Consulta: 27 enero 2022]. Disponible en:

https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2844.pdf.

PACHECO PATIÑO, J.M. Universidad estatal del sur de manabí. [en línea], no. 05, pp. 2601657, 2017.Disponible en: <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/2305>.

PYTHON. What is Python? Executive Summary | Python.org, 2021. [en línea]. [Consulta: 6 junio 2021]. Disponible en: <https://www.python.org/doc/essays/blurb/>.

RASPBERRYPI.ORG. Imágenes del sistema operativo - Raspberry Pi, 2021. [en línea].

[Consulta: 6 junio 2021]. Disponible en: <https://www.raspberrypi.org/software/operating-systems/>.

REYES, E. Tipos de sensores. *Blog* [en línea], vol. 2, no. 2, pp. 1 , 2007 Disponible en:

<https://lbtanc7230.blogspot.com/2007/05/funcionamiento.html>.

ROUHIAINEN, L. Inteligencia artificial 101. *Alienta editorial* , 2018. [en línea], pp. 352.

Disponible en:

https://planetadelibrosar0.cdnstatics.com/libros_contenido_extra/40/39307_Inteligencia_ar

tificial.pdf.

RUSSO, C., RAMÓN, H., SERAFINO, S., CICERCHIA, B., SAROBE, M., BALMER, A., EDUARDO, Á., LUENGO, P., USEGLIO, G., FAROPPA, M. y INVESTIGACIÓN, I. Visión artificial aplicada en Agricultura de Precisión . Resumen Contexto Introducción. , no. Cic, pp. 992-996, 2018.

SALCEDO-TOVAR, M.L. Minicomputador educacional de bajo costo Raspberry Pi: Primera parte. *Revista Ethos Venezolana* , 2015. [en línea], vol. 7, no. 1, pp. 28-45. ISSN 1856-9862. Disponible en: <http://www.meteoven.org/>.

TORRES, F. Clase 2. Sensores y detectores. *rua.ua.es* , 2011. [en línea]. S.l.: [Consulta: 15 junio 2021]. Disponible en: http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/18433/1/Tema_2_Sensores_y_Detectores.pdf.

TORRES, O.L. y NAVARRO, Á.A. Implementación de un Sistema de Visión Artificial para la clasificación de naranja producida en el departamento del Quindío | Torres Vargas | Alimentos Hoy. *Asociacion Colombiana de Ciencia y Tecnologia de Alimentos* , 2018.[en línea], vol. 26, no. 45, pp. 14-25. ISSN 2027 - 291X. Disponible en: <https://alimentos hoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/view/498/389>.

VARELA SOLÓRZANO, M.D. *Universidad Tecnica Estatal De Quevedo Facultad De Ciencias Agrarias*, 2015.[en línea]. 2015. S.l.: s.n. Disponible en: <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/4279/1/T-UTEQ-0227.pdf>.

ANEXOS

ANEXO A: Manual de usuario

Junto al panel frontal del prototipo se encuentra el contenedor de las naranjas donde se ubican las naranjas a ser seleccionadas.



Este prototipo cuenta con una pantalla táctil de 3,5 pulgadas con el cual podemos controlar la tarjeta Raspberry pi y ejecutamos el programa del prototipo donde se presenta un HMI con botones de inicio y fin y muestra también la cantidad de naranjas buenas y malas lo que nos sirve para iniciar, finalizar y monitorear el proceso.



Este prototipo cuenta con iluminación para que las imágenes no tengan sombras el cual se enciende con los botones que se encuentran junto a la pantalla.



En la parte de abajo del prototipo cuenta con dos contenedores donde se depositan las naranjas buenas y malas además estos contenedores tiene la facilidad de poder apilarlos.



Cuando el proceso finalice mediante el botón de paro en el HMI se pueden retirar el contenedor es de naranjas.

Seleccionador de Naranjas

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMATICA Y ELECTRONICA

ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRONICA Y AUTOMATIZACION



Naranjas Buenas

Naranjas Malas

Realizado por: Santiago Remache

Inicio

ANEXO B: Código del Algoritmo

```
#Importar las librerías necesarias
import numpy as np
import time, cv2, imutils ,math
import RPi.GPIO as GPIO
from picamera import PiCamera
#asignamos los pines de la GPIO
servo1 = 33
servo2 = 32
banda1 = 31
banda2 = 29
sensor = 36
#inicializamos la gpio
GPIO.setwarnings(False)
GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
GPIO.setup(sensor, GPIO.IN, GPIO.PUD_DOWN)
GPIO.setup(servo1, GPIO.OUT)
GPIO.setup(servo2, GPIO.OUT)
GPIO.setup(banda1, GPIO.OUT)
GPIO.setup(banda2, GPIO.OUT)
GPIO.output(banda1, GPIO.HIGH)
GPIO.output(banda2, GPIO.LOW)
p1 = GPIO.PWM(servo1, 50) # servo pwm a 50hz
p2 = GPIO.PWM(servo2, 50) # servo pwm a 50hz
p1.start(9)
p2.start(12.2)
#localiza la naranja
while GPIO.input(sensor)==False:
    GPIO.output(banda1, GPIO.HIGH)
    GPIO.output(banda2, GPIO.LOW)
GPIO.output(banda1, GPIO.LOW)
GPIO.output(banda2, GPIO.LOW)
#####Captura la imagen#####
#inicializamos la camara
camera =PiCamera()
camera.start_preview()
```

```

#guardamos la imagen
camera.capture('/home/pi/Desktop/tesis/captura.jpg')
#paramos la camara
camera.stop_preview()
#leemos la imagen capturada
imagen = cv2.imread('captura.jpg')
#redimensionamos la imagen
imagen=imagen[150:390,190:450]###[270:960,640:1350]
#sobreescribimos la imagen redimensionada
cv2.imwrite('/home/pi/Desktop/tesis/imagen.jpg',imagen)
#aplicamos el filtro de mediana para disminuir el ruido
imagenfm=cv2.medianBlur(imagen,5)
imagenf=cv2.GaussianBlur(imagenfm,(5,5),0)
cv2.imwrite('/home/pi/Desktop/tesis/filtro.jpg',imagenf)
#configuramos los valores alto y bajo para la umbralizacion de color en BGR
colorbajo=np.array([25,97,120])
coloralto=np.array([110,212,230])
#cramos una mascara
mascara=cv2.inRange(imagenf,colorbajo,coloralto)
#guardamos la mascara
cv2.imwrite('/home/pi/Desktop/tesis/mascara.jpg',mascara)
#encontramos los contornos
contornos,_=cv2.findContours(mascara,cv2.RETR_EXTERNAL,cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
#evaluamos los contornos 1 por uno
color=False
for i in contornos:
    area=cv2.contourArea(i)
    if area>20000:###210676
        nuevocontorno=cv2.convexHull(i)
        cv2.drawContours(imagen,[nuevocontorno],0,(0,255,255),3)
        color=True
##para calcular el tamaño independientemente del color
#leemos el fondo en escla de gises
#y convertimos la imagen a escala de grises
fondo=cv2.imread('fondo.jpg',0)
imagengris=cv2.cvtColor(imagenf,cv2.COLOR_BGR2GRAY)

```

```

#filtramos el fondo
fondo1=cv2.medianBlur(fondo,9)
#sumamos el fondo la imagen capturada
ultima=cv2.addWeighted(imagengris,0.9,fondo1,0.9,0)
sinfondo=cv2.subtract(ultima,fondo1)
#binarizamos la imagen sin fondo y aplicamos filtros
ret,binarizada=cv2.threshold(sinfondo,70,255,cv2.THRESH_BINARY)
filtros=cv2.medianBlur(binarizada,3)
ufiltro=cv2.GaussianBlur(filtros,(3,3),0)
#encontramos contornos
contornos1,_=cv2.findContours(ufiltro,cv2.RETR_EXTERNAL,cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
tamaño=False
for i in contornos1:
    area1=cv2.contourArea(i)
    if area1>20000:
        nuevocontorno1=cv2.convexHull(i)
        cv2.drawContours(imagenf,[nuevocontorno1],0,(0,0,255),3)
        perimetro=cv2.arcLength(nuevocontorno1,True)
        ar=cv2.contourArea(nuevocontorno1)
        (x,y),radio=cv2.minEnclosingCircle(nuevocontorno1)
        (x, y, radio) = map(int, (x, y, radio))
        cv2.circle(imagen, (x, y), radio, (0, 0, 255), 2)
        tamaño=True
#decidimos la categoria de la naranja
if (color==True)and(tamaño==True):
    #print('la naranja presenta un tamaño adecuado y color adecuado')
    p1.ChangeDutyCycle(12.5)
    GPIO.output(banda1,GPIO.HIGH)
    GPIO.output(banda2,GPIO.LOW)
    time.sleep(7)
    p1.ChangeDutyCycle(9)
    GPIO.output(banda1,GPIO.LOW)
    GPIO.output(banda2,GPIO.LOW)
    time.sleep(1)
    GPIO.output(banda1,GPIO.LOW)
    GPIO.output(banda2,GPIO.LOW)

```

```

else:
    print('la naranja no presenta un tamaño adecuado ')
    p2.ChangeDutyCycle(8.7)
    GPIO.output(banda1,GPIO.HIGH)
    GPIO.output(banda2,GPIO.LOW)
    time.sleep(7)
    p2.ChangeDutyCycle(12.2)
    GPIO.output(banda1,GPIO.LOW)
    GPIO.output(banda2,GPIO.LOW)
    time.sleep(1)
    GPIO.output(banda1,GPIO.LOW)
    GPIO.output(banda2,GPIO.LOW)

perpr=radio*2*3.141592654
peri2=(perpr*14.4513)/372##1086
diame2=peri2/3.141592654
peri=(perimetro*14.4513)/372##1086
diametrop=peri/3.141592654
areacm=((ar*16.619)/10954)##93687
diametro=2*(math.sqrt(areacm/3.141592654))
alto=np.size(imagen,0)
ancho=np.size(imagen,1)
alto1=np.size(mascara,0)
ancho1=np.size(mascara,1)
#print (perpr)
print (perimetro)
print (ar)
print ('el diametro calculado mediante la circunferencia es')
print (diametrop)
print (diametro)
#print ('el area en pixeles es ',ar)
#print ('El diametro en milímetros es ', diametro , 'cm')
#print ('El area es ', areacm,'cm^2')
#presentamos la imagen filtrada
cv2.imshow('Método del perimetro',imagenf)
#presentamos la imagen
cv2.imshow('imagen tomada ',imagen)
#presentamos la mascara

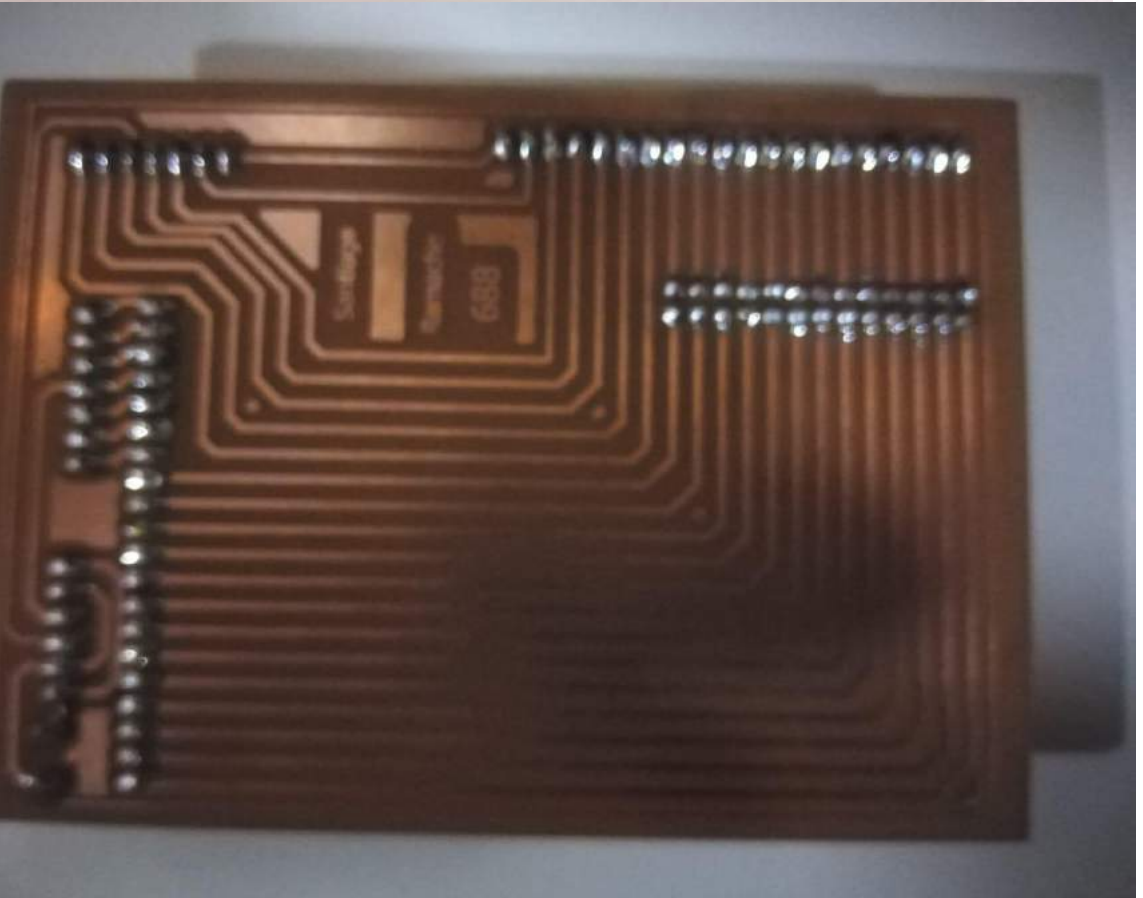
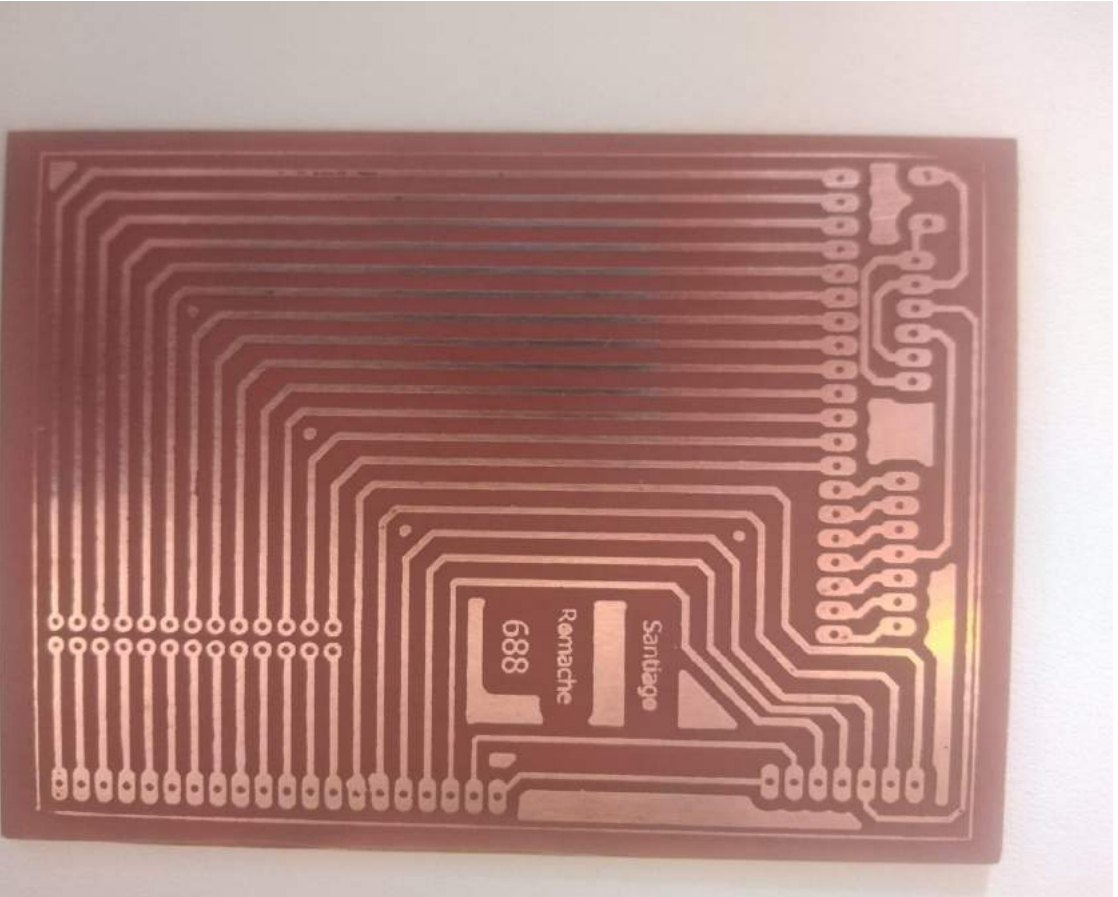
```



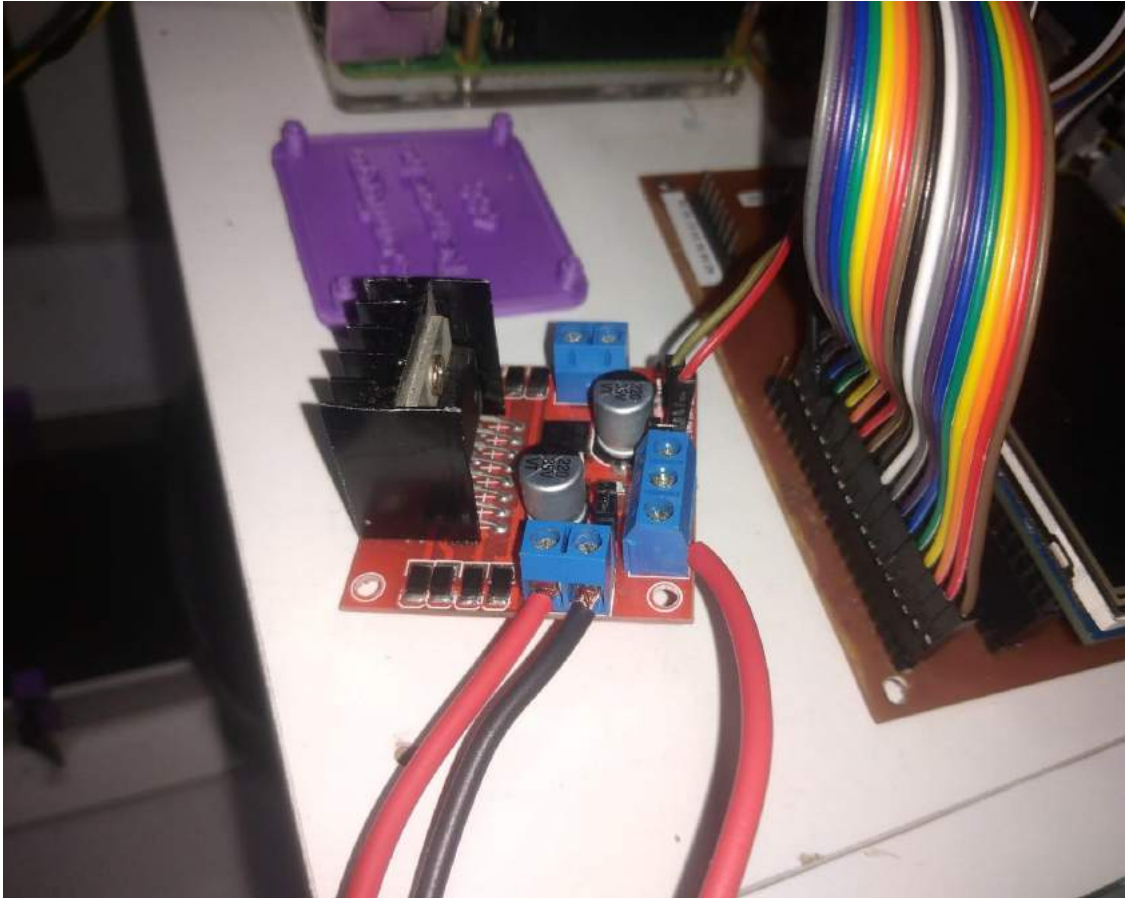
```
cv2.imshow('mascara',mascara)
#mante nemos abiertas las imagenes hasta presionar una tecla
cv2.imshow('grises - binaria',np.hstack([sinfondo,ufiltro]))
cv2.imwrite('/home/pi/Desktop/tesis/grisesbinaria.jpg',np.hstack([sinfondo,ufiltro]))
cv2.imwrite('/home/pi/Desktop/tesis/grisesbinaria.jpg',imagenf)
cv2.waitKey(0)
cv2.destroyAllWindows()
```

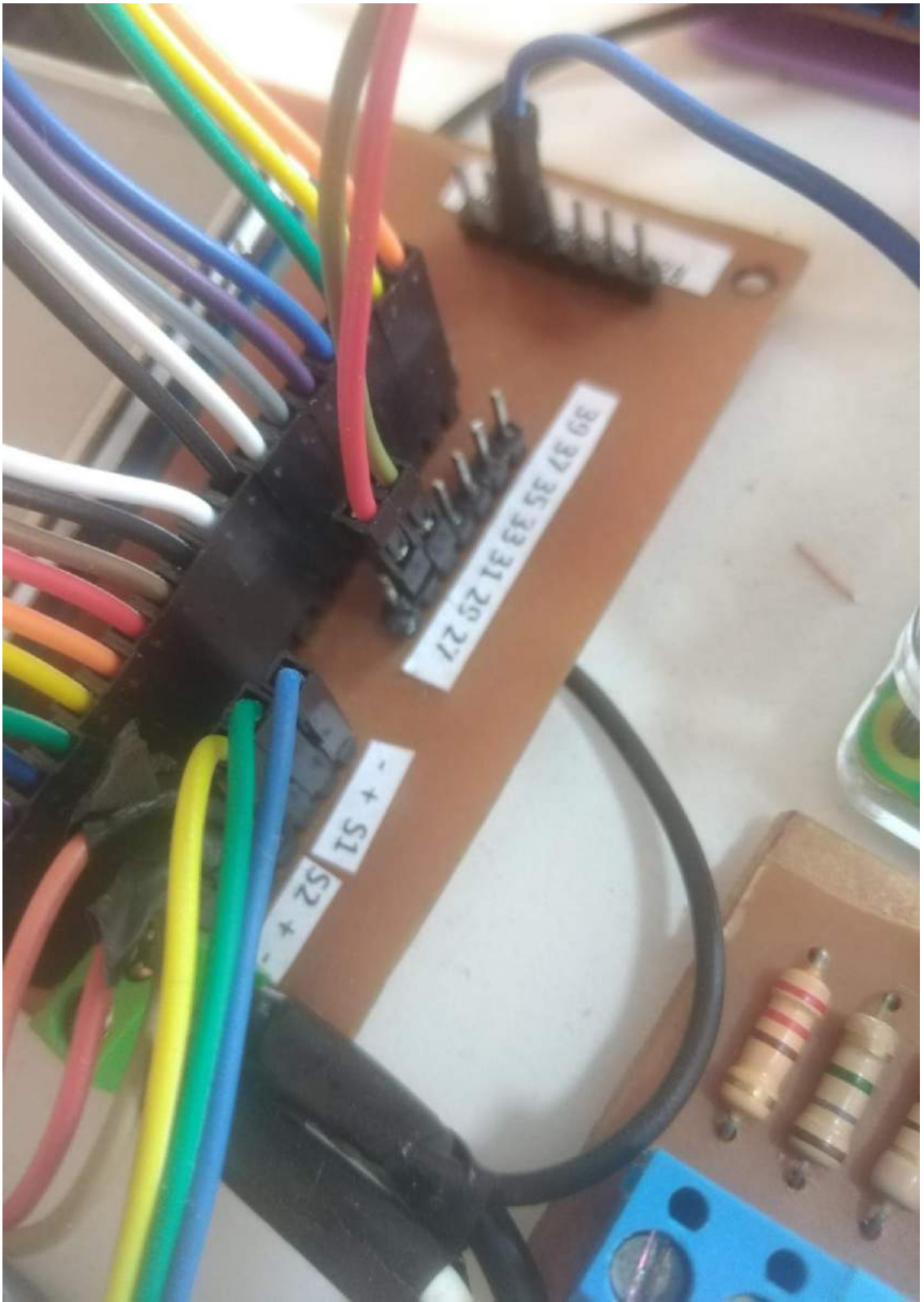
ANEXO C: Proceso de implementación





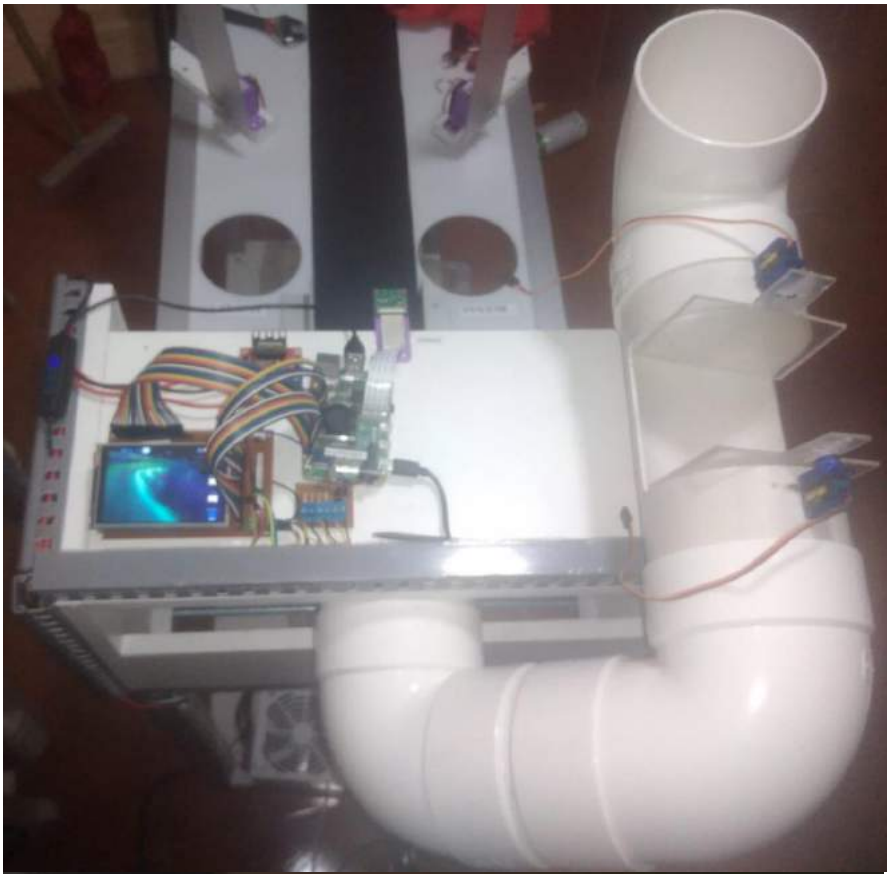






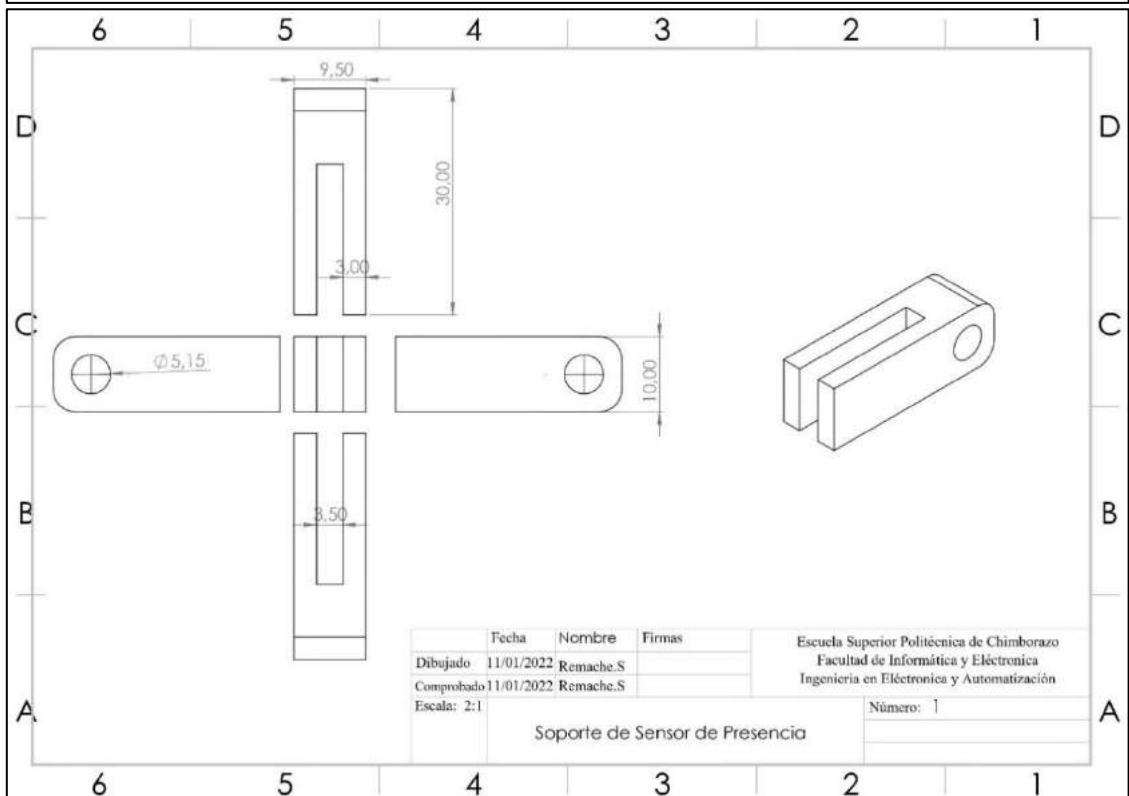
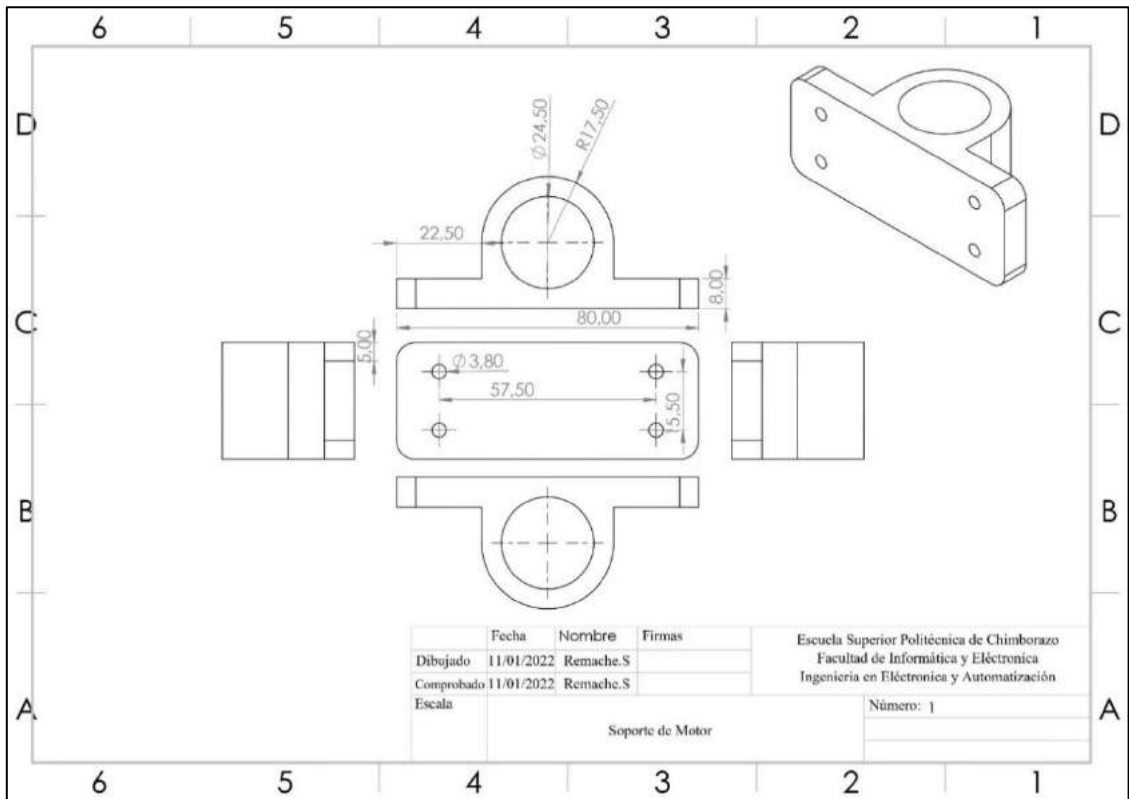


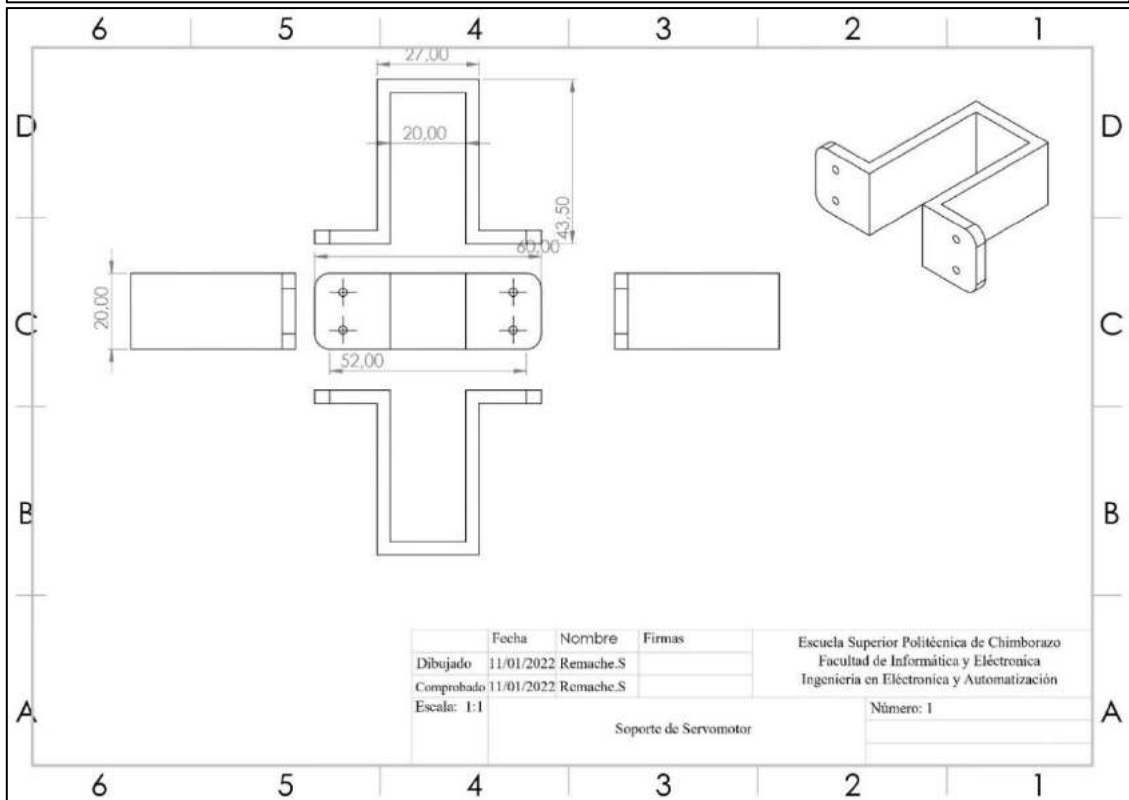
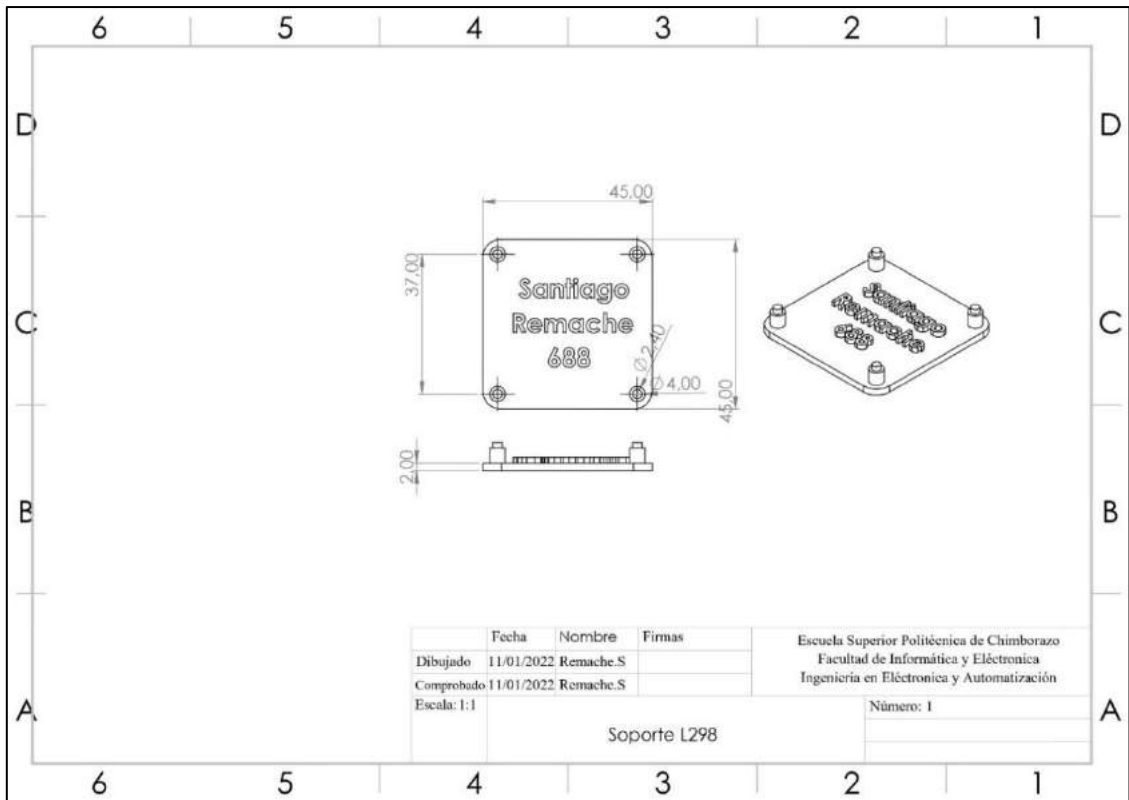


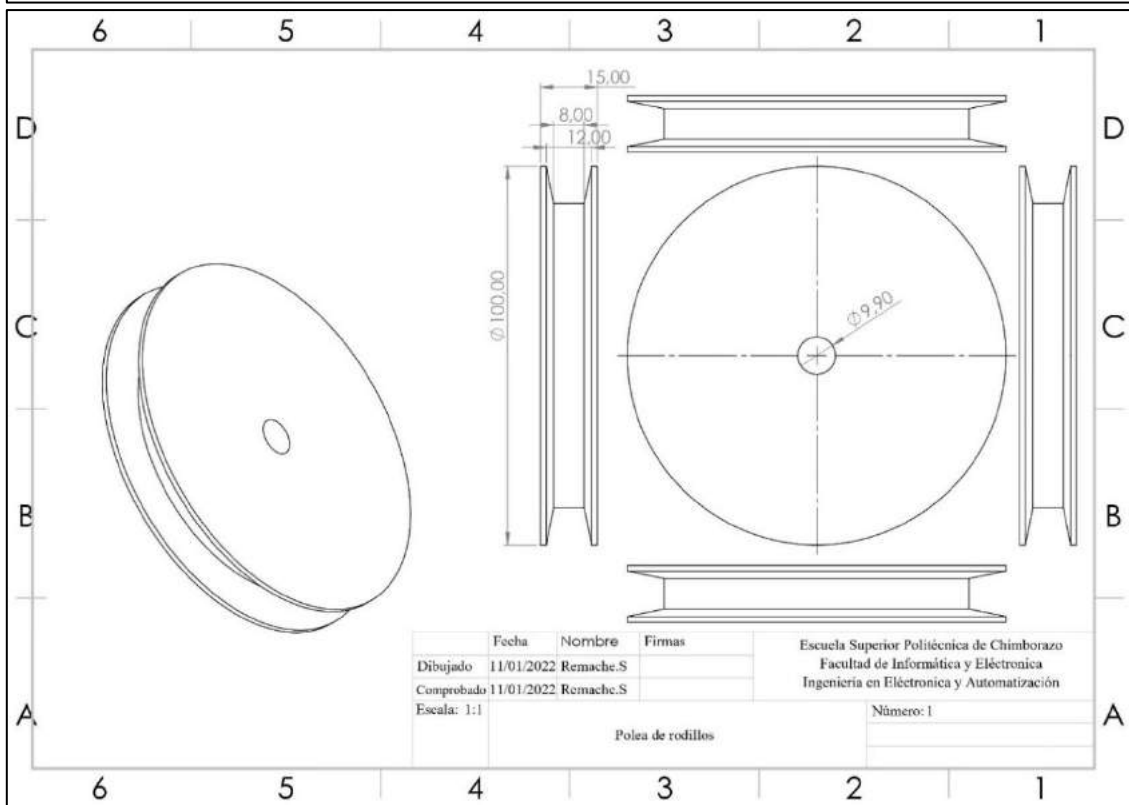
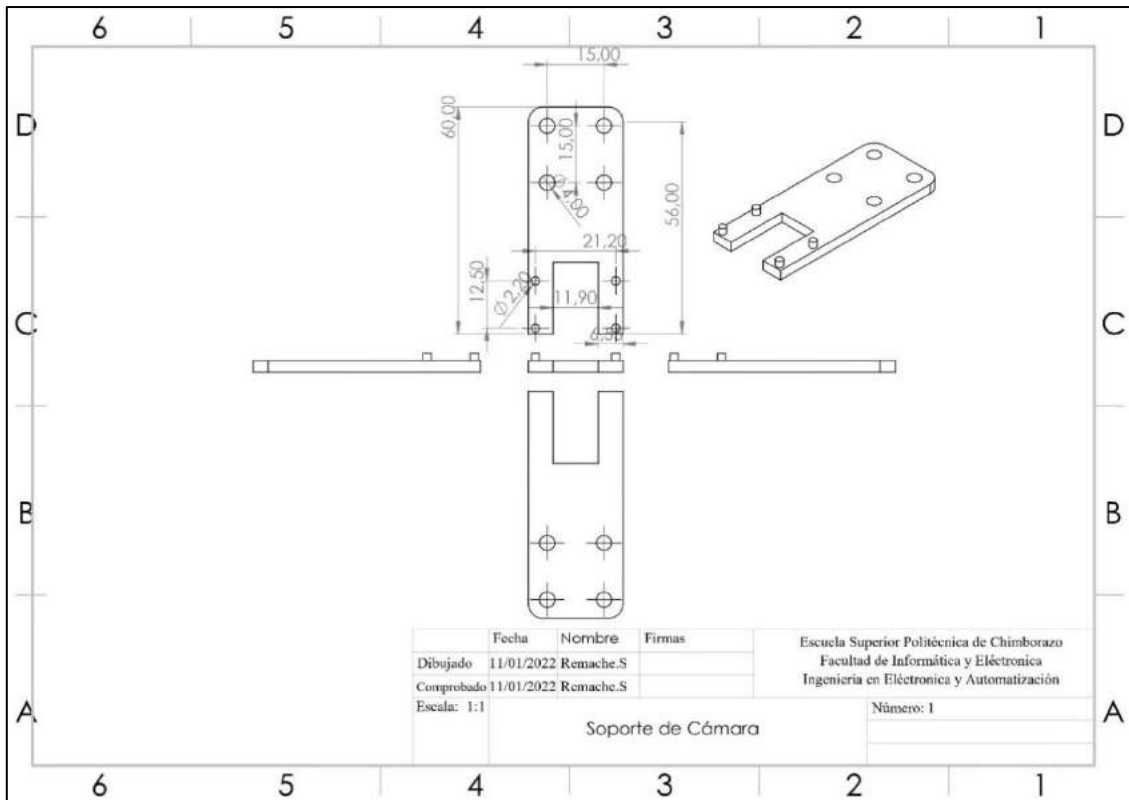


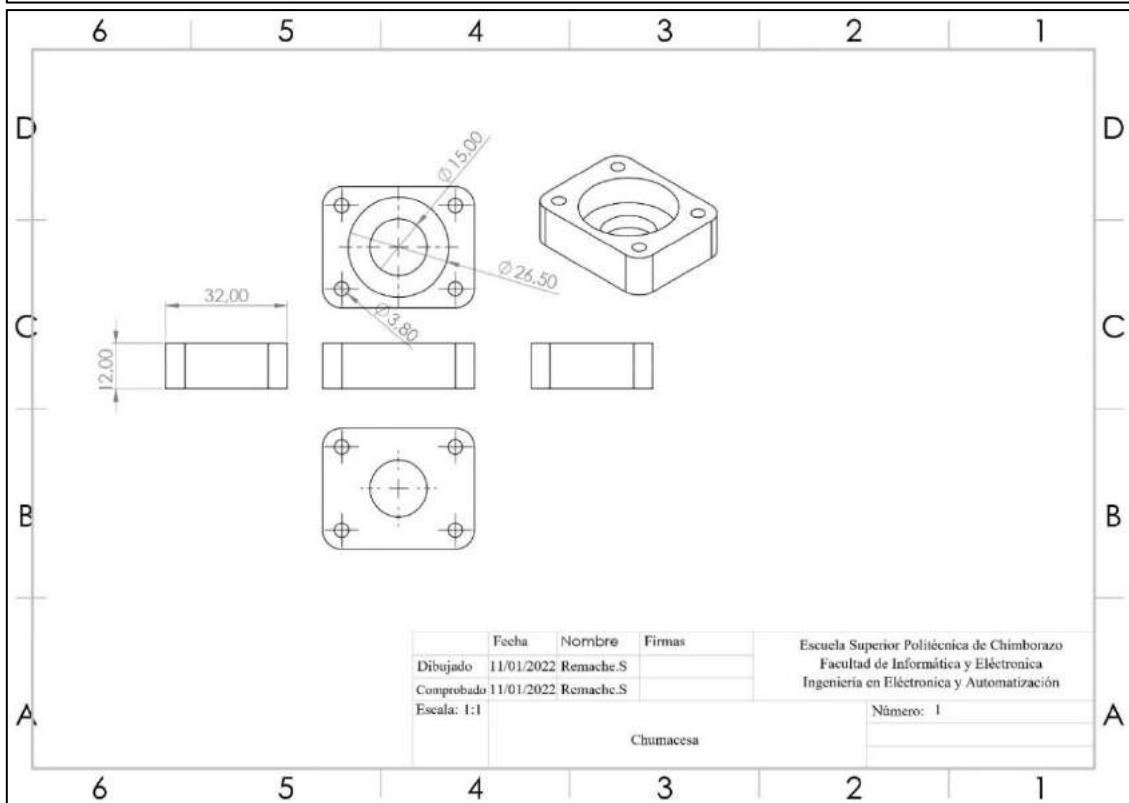
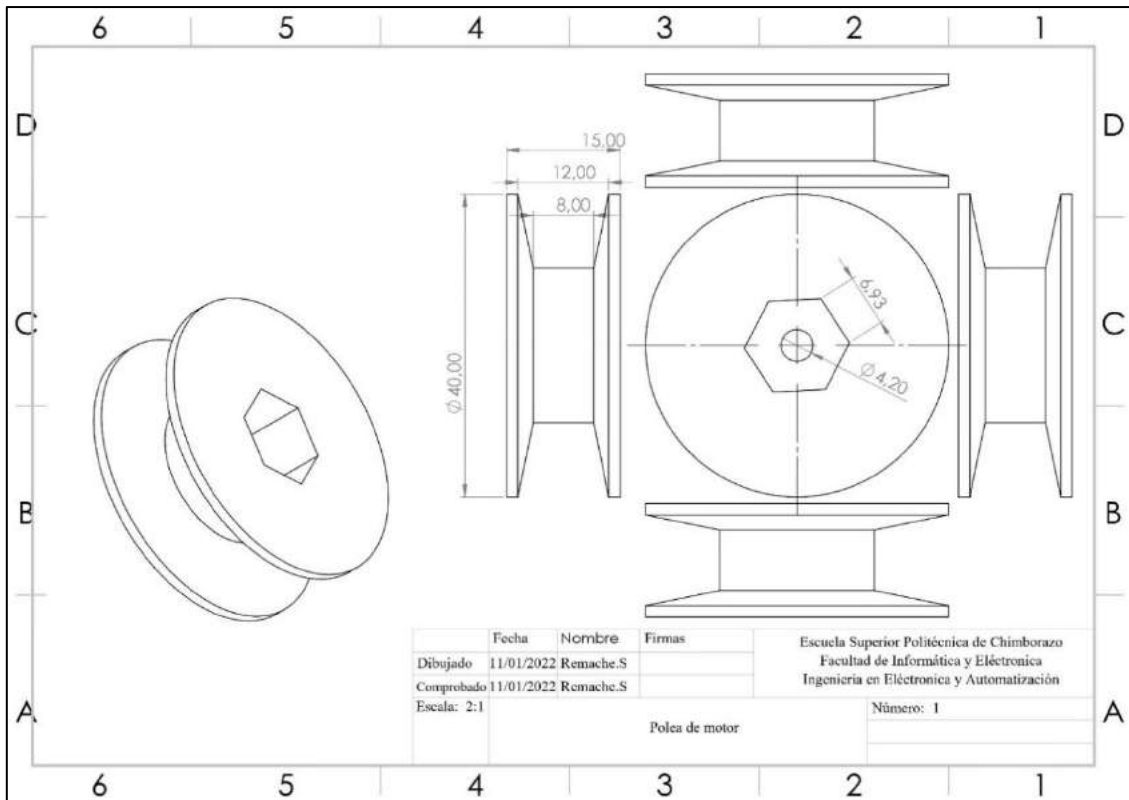


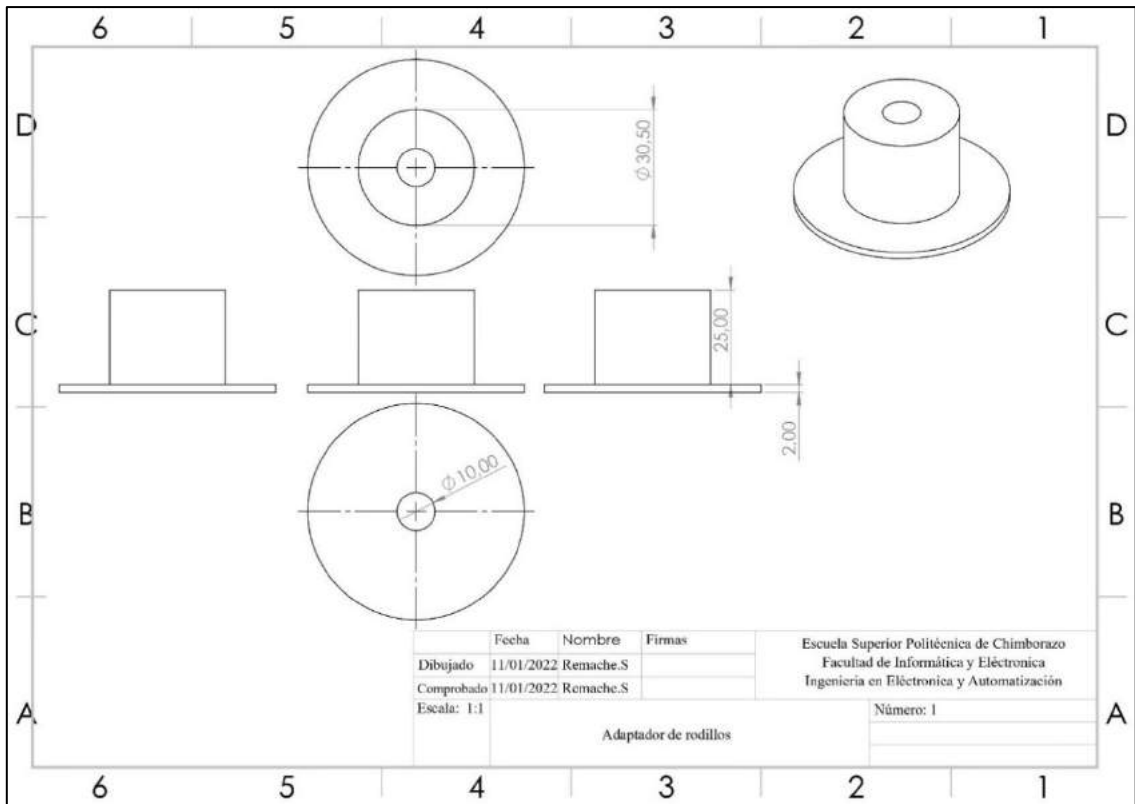
ANEXO D: Piezas modeladas del prototipo













epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 30 / 06 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: SANTIAGO RENAN REMACHE LLIGUISUPA
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
Carrera: ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN
Título a optar: INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN
f. Analista de Biblioteca responsable: Lcdo. Holger Ramos, MSc.



1231-DBRAI-UPT-2022