



**ESPE**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE  
CONTROL DE CALIDAD PARA LA DETECCIÓN DE CONTAMINANTES  
SUPERFICIALES DE DIFERENTES TIPOS DE FRUTAS USANDO  
VISIÓN ARTIFICIAL**

**AUTORES: MOLINA LLUMITASIG, LUIS MIGUEL  
VARGAS CORRALES, CARLOS EDUARDO**

**DIRECTOR: ING. REA MINANGO, SYLVIA NATHALY**

**LATACUNGA**

**2019**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

### **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, “**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD PARA LA DETECCIÓN DE CONTAMINANTES SUPERFICIALES DE DIFERENTES TIPOS DE FRUTAS USANDO VISIÓN ARTIFICIAL**” fue realizado por los señores **Molina Llunitasig, Luis Miguel** y **Vargas Corrales, Carlos Eduardo** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, enero del 2019

Firma:

A handwritten signature in blue ink is written over a horizontal line. The signature appears to be 'Nathaly Rea'.

Ing. Nathaly Rea

C.C.:1721261921



## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

### AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Molina Llunitasig, Luis Miguel** y **Vargas Corrales, Carlos Eduardo**, declaramos que el contenido, ideas y criterio del trabajo de titulación: **“ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD PARA LA DETECCIÓN DE CONTAMINANTES SUPERFICIALES DE DIFERENTES TIPOS DE FRUTAS USANDO VISIÓN ARTIFICIAL”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, enero del 2019

Firma:

Luis Molina Llunitasig

C.C.:0504001017

Firma:

Carlos Vargas Corrales

C.C.:0503195547



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

### **AUTORIZACIÓN**

Nosotros, **Molina Llunitasig, Luis Miguel** y **Vargas Corrales, Carlos Eduardo** autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD PARA LA DETECCIÓN DE CONTAMINANTES SUPERFICIALES DE DIFERENTES TIPOS DE FRUTAS USANDO VISIÓN ARTIFICIAL**”, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, enero del 2019

Firma:

Luis Molina Llunitasig

C.C.:0504001017

Firma:

Carlos Vargas Corrales

C.C.:0503195547

## DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado a mi padre Luis y a mi madre Graciélita que, con su ejemplo de lucha y humildad, supieron guiarme en cada etapa de mi vida, haciéndome crecer con profesional y más aún como un buen ser humano. A mis hermanos, Guido y Verónica que fueron un gran apoyo para mí, estando siempre en las buenas y malas, ayudándome en cada obstáculo que se me presentaba en la vida. A mis queridísimos sobrinos, Lenin y Shirly que, con su alegría y afecto, ayudaron a no rendirme y seguir siempre adelante, disfrutando el tiempo, que es el verdadero tiempo vivido, a mi querido tío Freddy, familiares y amigos, quienes han sido una bendición en mi vida, ayudándome a crecer y aprender de mis errores, este trabajo va dedicado a cada uno de ustedes.

**Luis**

Este proyecto va dedicado a mis padres, Carlos y Martha quienes con su amor, paciencia y apoyo fueron mi motivación para poder alcanzar este objetivo y siempre serán la fuerza motriz que me ayudará a cumplir mis sueños. A mis hermanas Verónica y Gabriela quienes entre risas y llantos hemos forjado un amor puro de hermanos para superar obstáculos y mantener un apoyo mutuo en todo momento. A Milton Andrés quien más que un amigo es un hermano con quien desde pequeños hemos compartido sueños los cuales poco a poco se van haciendo realidad, y a todos mis amigos que siempre me brindaron su apoyo.

**Carlos**

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente, queremos agradecer a Dios, que con su infinita bondad nos permitió culminar este trabajo de la mejor manera, de igual forma agradecer el esfuerzo de nuestros padres y hermanos que han hecho todo lo posible para ayudarnos a culminar con éxito nuestra etapa universitaria.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y a cada uno de sus docentes quienes inculcaron en nosotros conocimientos y valores, los cuales nos ayudarán en la vida profesional y social. Un agradecimiento especial a nuestra tutora, Ing. Nathaly Rea por su paciencia, colaboración y amistad durante el desarrollo de este proyecto.

A nuestros amigos que fueron y seguirán siendo nuestra segunda familia, muchas gracias a cada uno de ustedes por esa sincera amistad y compañerismo.

A cada una de las personas que directa o indirectamente nos ayudaron a cumplir este sueño, que hoy es una realidad.

Gracias a todos

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

### CARÁTULA

<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	<b>i</b>
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD</b> .....	<b>ii</b>
<b>AUTORIZACIÓN</b> .....	<b>iii</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>iv</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>x</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xix</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xx</b>

### CAPÍTULO I

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Planteamiento del problema .....	1
1.2. Antecedentes.....	2
1.3. Justificación e importancia .....	3
1.4. Objetivos:.....	4
1.4.1. Objetivo General.....	4
1.4.2. Objetivos Específicos .....	4
1.5. Alcance .....	5
1.6. Estructura del documento .....	6

### CAPÍTULO II

<b>FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....	<b>8</b>
2.1. Control de calidad.....	8
2.2. Control de calidad para frutas.....	8
2.3. Contaminantes en frutas .....	9
2.3.1. Factores que influyen en la alteración de los alimentos.....	9

2.3.2. Contaminación de los alimentos .....	10
2.3.3. Tipos de contaminación en los alimentos.....	10
2.4. Frutas y contaminantes para analizarse .....	11
2.4.1. Tomate.....	11
2.4.2. Durazno .....	13
2.5. Normativas para el diseño .....	15
2.5.1. Norma ISO 16143-2:2014.....	15
2.5.2. NTE INEN 3039, en el punto 4.8.....	16
2.5.3. Norma OSHA 1910.305 (a) (2) (xi).....	16
2.6. Sistema de almacenamiento y dosificación.....	16
2.6.1. Almacenamiento con tolva cilíndrica de acrílico.....	17
2.6.2. Almacenamiento por descenso en espiral .....	18
2.6.3. Almacenamiento con tolva cuadrada de acero inoxidable .....	19
2.7. Sistema de transporte .....	20
2.7.1. Tipos de sistemas de transporte.....	21
2.7.2. Banda transportadora de cinta .....	23
2.8. Sistema electrónico .....	24
2.8.1. Generalidades de sistema electrónico .....	24
2.8.2. Sensores de proximidad .....	26
2.8.3. Actuador .....	27
2.9. Sistema de visión artificial.....	30
2.9.1. Imágenes.....	30
2.9.2. Etapas de un sistema de visión artificial .....	31
2.9.3. Tipos de cámaras para el sistema de visión artificial .....	32
2.10. Tipos de iluminación .....	35
2.11. OpenCV .....	37
2.12. Redes Neuronales .....	37
2.12.1. Ventajas de la red neuronal .....	37
2.12.2. Elementos de una red neuronal .....	38
2.12.3. TensorFlow.....	39



## CAPÍTULO III

<b>CARACTERIZACIÓN Y DISEÑO DEL SISTEMA .....</b>	<b>40</b>
3.1. Caracterización de los parámetros de diseño.....	40
3.1.1. Parámetros previos al diseño.....	40
3.1.2. Análisis funcional.....	43
3.2. Generación de conceptos de las diferentes etapas .....	44
3.2.1. Sistema de almacenamiento .....	44
3.2.2. Sistema de transporte .....	45
3.2.3. Sistema de visión artificial .....	46
3.2.4. Sistema de clasificación .....	48
3.3. Selección de componentes electrónicos.....	49
3.3.1. Selección del motor y driver .....	49
3.3.2. Selección de la tarjeta de control.....	52
3.3.3. Selección de la fuente de alimentación .....	53
3.3.4. Selección de la cámara .....	55
3.3.5. Selección del actuador lineal.....	56
3.3.6. Selección del actuador de giro.....	57
3.3.7. Selección del sensor de presencia .....	58
3.4. Diseño del sistema mecánico y eléctrico .....	59
3.4.1. Criterios de diseño.....	59
3.4.2. Factor de seguridad .....	60
3.4.3. Diseño de la banda transportadora .....	60
3.4.4. Diseño del sistema mecánico .....	71
3.4.5. Diseño del sistema de transmisión .....	73
3.4.6. Diseño del eje de transmisión.....	76
3.4.7. Diseño de la tolva.....	93
3.5. Diseño de la estructura.....	98
3.6. Análisis CAE de la estructura .....	99

## CAPÍTULO IV

<b>IMPLEMENTACIÓN Y PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA .....</b>	<b>105</b>
4.1. Construcción del sistema mecánico.....	105
4.2. Implementación del circuito electrónico .....	111
4.3. Programación del sistema.....	115
4.3.1. Descripción general del sistema.....	115
4.3.2. Creación de la red neuronal.....	116
4.3.3. Interfaz gráfica.....	118
4.3.4. Desarrollo de la interfaz gráfica .....	119
4.3.5. Programación de GUI y comunicación .....	121
4.3.6. Programación de la tarjeta de control.....	125
4.3.7. Funcionamiento de la GUI .....	126

## CAPÍTULO V

<b>PRUEBAS Y RESULTADOS .....</b>	<b>130</b>
5.1. Entrenamiento de la red neuronal.....	130
5.2. Validación de referencias normativas .....	134
5.2.1. Norma ISO 16143-2:2014.....	134
5.2.2. NTE INEN 3039.....	135
5.2.3. Norma OSHA 1910.305 (a) (2) (xi).....	137
5.3. Reconocimiento de imágenes.....	137
5.3.1. Prueba 1: Ambiente poco iluminado .....	137
5.3.2. Prueba 2: Ambiente con iluminación natural .....	138
5.3.3. Prueba 3: Ambiente con iluminación artificial.....	138
5.4. Clasificación de las frutas.....	140
5.4.1. Pruebas en tomates en buen estado.....	140
5.4.2. Pruebas en tomates en mal estado .....	144
5.4.3. Pruebas en duraznos en buen estado.....	149
5.4.4. Pruebas en duraznos en mal estado .....	152
5.5. Prueba de alimentación al sistema de transporte.....	155

5.5.1. Resultados de la tabulación .....	155
5.6. Prueba de separación de las frutas.....	159
5.7. Validación de la hipótesis.....	160
5.8. Análisis económico del proyecto .....	168

## **CAPÍTULO VI**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....171**

6.1. Conclusiones.....	171
6.2. Recomendaciones .....	174

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....176**

### **ANEXOS .....184**

#### **ANEXO A. LÁMINAS DEL SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD**

#### **ANEXO B. VALORES DE LA DISTRIBUCIÓN T-STUDENT**

#### **ANEXO C. MANUAL DE USUARIO DEL SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Factores que influyen en la alteración de los alimentos .....	9
<b>Tabla 2.</b> Tipos de contaminación en los alimentos .....	11
<b>Tabla 3.</b> Ficha técnica del tomate .....	12
<b>Tabla 4.</b> Contaminantes y plagas en tomates .....	13
<b>Tabla 5.</b> Ficha técnica del durazno .....	14
<b>Tabla 6.</b> Contaminantes y plagas del durazno .....	14
<b>Tabla 7.</b> Ventajas y desventajas de usar una tolva cilíndrica de acrílico .....	17
<b>Tabla 8.</b> Ventajas y desventajas de usar una tolva con descenso espiral .....	19
<b>Tabla 9.</b> Ventajas y desventajas de usar una tolva cuadrada de acero inoxidable.....	20
<b>Tabla 10.</b> Ventajas y desventajas de usar un transportador continuo liso .....	21
<b>Tabla 11.</b> Ventajas y desventajas de usar un sistema de transporte por rodillos.....	22
<b>Tabla 12.</b> Partes de un sistema electrónico.....	25
<b>Tabla 13.</b> Tipos de sensores de proximidad .....	26
<b>Tabla 14.</b> Ventajas y desventajas de usar un cilindro neumático de acero inoxidable.....	28
<b>Tabla 15.</b> Ventajas y desventajas de usar un Servomotor .....	28
<b>Tabla 16.</b> Ventajas y desventajas de usar un actuador lineal eléctrico.....	29
<b>Tabla 17.</b> Ventajas y desventajas de usar una Cámara HD Pro Webcam C920.....	33
<b>Tabla 18.</b> Ventajas y desventajas de usar una Cámara Térmica.....	34
<b>Tabla 19.</b> Ventajas y desventajas de usar una Cámara Matricial .....	35
<b>Tabla 20.</b> Tipos de técnicas de iluminación .....	35
<b>Tabla 21.</b> Matriz de evaluación de conceptos para el sistema de almacenamiento.....	45

<b>Tabla 22.</b> Matriz de evaluación de conceptos para el sistema de transporte y rotación.....	46
<b>Tabla 23.</b> Matriz de evaluación de conceptos para el sistema de visión artificial.....	47
<b>Tabla 24.</b> Matriz de evaluación de conceptos para el sistema de clasificación.....	48
<b>Tabla 25.</b> Especificaciones técnicas del motor NEMA 23 19kg.cm .....	50
<b>Tabla 26.</b> Especificaciones técnicas del driver BL-TB6600 5A .....	50
<b>Tabla 27.</b> Distribución de pines del driver BL-TB6600 5A.....	51
<b>Tabla 28.</b> Especificaciones técnicas fuente WX-DC2416.....	54
<b>Tabla 29.</b> Características técnicas de la cámara web.....	55
<b>Tabla 30.</b> Especificaciones técnicas del actuador lineal.....	56
<b>Tabla 31.</b> Especificaciones del servo MG996R .....	57
<b>Tabla 32.</b> Características del sensor infrarrojo E18-D80NK.....	58
<b>Tabla 33.</b> Porcentaje de acierto de la red neuronal para tomates .....	131
<b>Tabla 34.</b> Porcentaje de acierto de la red neuronal para duraznos .....	131
<b>Tabla 35.</b> Tabulación de los resultados de las pruebas con tomates en buen estado.....	141
<b>Tabla 36.</b> Tabulación de los resultados de las pruebas con tomates en mal estado .....	145
<b>Tabla 37.</b> Tabulación de los resultados de las pruebas con duraznos en buen estado.....	149
<b>Tabla 38.</b> Tabulación de los resultados de las pruebas con duraznos en mal estado .....	152
<b>Tabla 39.</b> Resultados de las pruebas de alimentación .....	156
<b>Tabla 40.</b> Resultados de las pruebas de separación.....	159
<b>Tabla 41.</b> Frecuencias de valores observados.....	165
<b>Tabla 42.</b> Frecuencias esperadas .....	166
<b>Tabla 43.</b> Condiciones para la aceptación de las hipótesis alternativas .....	161
<b>Tabla 44.</b> Análisis económico de los materiales utilizados.....	168

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Tolva cilíndrica de acrílico .....	17
<b>Figura 2.</b> Descenso espiral .....	18
<b>Figura 3.</b> Almacenamiento con tolva cuadrada de acero inoxidable.....	19
<b>Figura 4.</b> Transportador continuo liso inclinado .....	21
<b>Figura 5.</b> Rotación por rodillos .....	22
<b>Figura 6.</b> Partes de una banda transportadora .....	24
<b>Figura 7.</b> Partes de un sistema electrónico .....	25
<b>Figura 8.</b> Cilindro neumático de acero inoxidable .....	27
<b>Figura 9.</b> Servomotor Micro MG90S .....	28
<b>Figura 10.</b> Actuador lineal Easye-50.....	29
<b>Figura 11.</b> Imagen RGB .....	30
<b>Figura 12.</b> Imagen en escala de grises.....	31
<b>Figura 13.</b> Etapas de un sistema de Visión Artificial.....	32
<b>Figura 14.</b> Cámara Web HD Pro Webcam C920 .....	32
<b>Figura 15.</b> Cámara Térmica BOBCAT-320 CL.....	33
<b>Figura 16.</b> Cámara Matricial AD-080 CL.....	34
<b>Figura 17.</b> Sistema global de proceso de una red neuronal.....	38
<b>Figura 18.</b> Casa de la calidad del sistema completo con su simbología.....	42
<b>Figura 19.</b> Función de entrada o principal .....	43
<b>Figura 20.</b> Funciones específicas del sistema.....	44
<b>Figura 21.</b> Motor Nema 23.....	50

<b>Figura 22.</b> Driver BL-TB6600 5[A].....	51
<b>Figura 23.</b> Distribución de pines de Arduino Uno .....	53
<b>Figura 24.</b> Fuente WX-DC2416 .....	54
<b>Figura 25.</b> Cámara Genius FaceCam 1000x.....	56
<b>Figura 26.</b> Actuador lineal de alta velocidad .....	57
<b>Figura 27.</b> Servo MG996R .....	58
<b>Figura 28.</b> Sensor de proximidad fotoeléctrico infrarrojo E18-D80NK .....	59
<b>Figura 29.</b> Factores de diseño recomendados.....	60
<b>Figura 30.</b> Parámetros de una banda transportadora .....	60
<b>Figura 31.</b> Área de la fruta de mayor diámetro .....	62
<b>Figura 32.</b> Superficie en contacto con las frutas .....	62
<b>Figura 33.</b> Área de contacto de la fruta .....	62
<b>Figura 34.</b> Tambor motriz .....	63
<b>Figura 35.</b> Tambor motriz .....	64
<b>Figura 36.</b> Banda transportadora .....	64
<b>Figura 37.</b> Propiedades mecánicas del poliuretano .....	65
<b>Figura 38.</b> Coeficiente de fricción entre poliuretano y plástico .....	66
<b>Figura 39.</b> Selección del factor C1 .....	67
<b>Figura 40.</b> Holgura de la banda transportadora .....	70
<b>Figura 41.</b> Carga distribuida en el eje motriz .....	78
<b>Figura 42.</b> Carga puntal sobre el eje motriz .....	79
<b>Figura 43.</b> Diagrama de fuerzas cortantes .....	80
<b>Figura 44.</b> Diagrama de momentos flectores .....	80

<b>Figura 45.</b> Diagrama de cuerpo libre.....	89
<b>Figura 46.</b> Diagrama de fuerzas cortantes.....	89
<b>Figura 47.</b> Diagrama de momentos flectores .....	90
<b>Figura 48.</b> Vista lateral de la rampa .....	93
<b>Figura 49.</b> Espiral de la tolva .....	94
<b>Figura 50.</b> Características de la tolva vacía.....	95
<b>Figura 51.</b> Características del perfil en C.....	99
<b>Figura 52.</b> Estudio estático aplicado a la mesa de soporte .....	101
<b>Figura 53.</b> Tensión de Von Mises para el análisis de la mesa.....	102
<b>Figura 54.</b> Desplazamientos para el análisis de la mesa .....	102
<b>Figura 55.</b> Estudio estático aplicado a la estructura de la banda.....	103
<b>Figura 56.</b> Tensión de Von Mises para el análisis de la estructura de la banda.....	104
<b>Figura 57.</b> Desplazamientos para el análisis de la estructura de la banda.....	104
<b>Figura 58.</b> Mesa con las perforaciones.....	105
<b>Figura 59.</b> Mesa base.....	105
<b>Figura 60.</b> Perfiles tipo C de la banda transportadora .....	106
<b>Figura 61.</b> Piezas pintadas con pintura electroestática.....	106
<b>Figura 62.</b> Ensamble de los soportes de la banda transportadora.....	107
<b>Figura 63.</b> Soporte de la iluminación .....	107
<b>Figura 64.</b> Soporte del actuador lineal .....	107
<b>Figura 65.</b> Acople del actuador lineal .....	108
<b>Figura 66.</b> Soporte del motor a pasos.....	108
<b>Figura 67.</b> Sistema de transmisión por poleas.....	108



<b>Figura 68.</b> Soporte de la compuerta .....	109
<b>Figura 69.</b> Compuerta de la tolva .....	109
<b>Figura 70.</b> Tolva espiral con su cubierta .....	109
<b>Figura 71.</b> Soportes regulables .....	110
<b>Figura 72.</b> Traslapo de la banda transportadora .....	110
<b>Figura 73.</b> Implementación de la banda en los tambores .....	110
<b>Figura 74.</b> Ensamble mecánico final .....	111
<b>Figura 75.</b> Circuito eléctrico implementado.....	111
<b>Figura 76.</b> Configuración de los switch del driver .....	112
<b>Figura 77.</b> Energización del sistema .....	112
<b>Figura 78.</b> Cableado de los elementos.....	113
<b>Figura 79.</b> Aseguramiento de los elementos .....	113
<b>Figura 80.</b> Conexión del circuito de control.....	114
<b>Figura 81.</b> Canaletas en el circuito electrónico .....	115
<b>Figura 82.</b> Diagrama de flujo del funcionamiento del algoritmo.....	116
<b>Figura 83.</b> Verificación de instalación Python y Tensorflow.....	117
<b>Figura 84.</b> Entrenamiento de la red con 2 clases.....	118
<b>Figura 85.</b> Configuración de un nuevo proyecto GUI.....	119
<b>Figura 86.</b> Distribución de los botones del HMI.....	120
<b>Figura 87.</b> Comunicación entre OpenCV y arduino.....	121
<b>Figura 88.</b> Generar frames.....	122
<b>Figura 89.</b> Mostrar el video en la GUI .....	122
<b>Figura 90.</b> Comunicación de los sensores y la GUI .....	123

<b>Figura 91.</b> Condición de lectura de la red neuronal .....	123
<b>Figura 92.</b> Vectores de identificación de clases y clasificador .....	124
<b>Figura 93.</b> Estructura de la red neuronal .....	124
<b>Figura 94.</b> Acción del botón de selección del tomate .....	124
<b>Figura 95.</b> Envío de las señales del sensor infrarrojo.....	125
<b>Figura 96.</b> Lectura de las señales en Arduino .....	125
<b>Figura 97.</b> Pantalla inicial de la GUI.....	126
<b>Figura 98.</b> Pantalla de verificación y operación de la GUI .....	127
<b>Figura 99.</b> Mensaje de verificación exitosa.....	127
<b>Figura 100.</b> Mensaje de verificación errónea .....	128
<b>Figura 101.</b> Mensaje de ausencia de tipo de fruta.....	128
<b>Figura 102.</b> Mensaje de ausencia de tipo de ciclo.....	128
<b>Figura 103.</b> Funcionamiento de la red neuronal en la GUI.....	129
<b>Figura 104.</b> Resultados del análisis para un tomate en buen estado .....	131
<b>Figura 105.</b> Resultados del análisis para un durazno en buen estado .....	132
<b>Figura 106.</b> Muestras de imágenes de tomates en buen estado.....	132
<b>Figura 107.</b> Muestras de imágenes de tomates en mal estado.....	133
<b>Figura 108.</b> Muestras de imágenes de duraznos en buen estado.....	133
<b>Figura 109.</b> Muestras de imágenes de duraznos en mal estado.....	134
<b>Figura 110.</b> Propiedades de los aceros .....	135
<b>Figura 111.</b> Sistema de alimentación con cubierta removible .....	136
<b>Figura 112.</b> Confirmación de la Norma en altura .....	136
<b>Figura 113.</b> Aseguramiento de los cables a la estructura .....	137

<b>Figura 114.</b> Ambiente poco iluminado.....	138
<b>Figura 115.</b> Ambiente con iluminación natural.....	138
<b>Figura 116.</b> Ambiente con iluminación artificial .....	139
<b>Figura 117.</b> Comparación de la red en diferentes estados de la iluminación .....	139
<b>Figura 118.</b> Resultado del análisis a un tomate en buen estado .....	140
<b>Figura 119.</b> Resultado del análisis a un tomate en mal estado .....	144
<b>Figura 120.</b> Resultado del análisis a un durazno en buen estado .....	149
<b>Figura 121.</b> Resultado del análisis a un durazno en mal estado.....	152
<b>Figura 122.</b> Causas de la mala alimentación al sistema en el tomate.....	157
<b>Figura 123.</b> Causas de la mala alimentación al sistema en el durazno.....	158
<b>Figura 124.</b> (a) Accionamiento actuador lineal, (b) Accionamiento banda transportadora .....	160

## **RESUMEN**

La contaminación superficial en las frutas es un problema que afecta tanto a productores como a consumidores, por lo cual es necesario la implementación de un sistema de control para detectar dichos contaminantes en los frutos antes de ser ingresados al mercado. El presente proyecto consiste en el diseño y construcción de un sistema de control para detectar contaminantes superficiales en duraznos y tomates siendo algunas de las frutas más demandadas en el mercado local. Este sistema consta de una etapa de almacenamiento diseñada específicamente para el tratamiento de productos alimenticios, transporte por medio de una banda transportadora, clasificación con un actuador lineal y visión artificial a través de redes neuronales implementadas mediante el lenguaje de programación Python y el uso de la biblioteca de software libre llamada TensorFlow, las cuales conjuntamente permiten identificar si la fruta analizada está en buenas condiciones, o por lo contrario si presenta algún tipo de fallo o problema. La programación está realizada para generar dos tipos de secuencias, una continua y una programada para analizar un lote específico de frutas, el sistema cuenta con una interfaz gráfica que permite el control y supervisión del proceso, al final se separa las frutas en dos grupos, frutas en buen y mal estado, logrando así un control de calidad del producto que va a ser ingresado al mercado comercial. La implementación de este proyecto se realizó en el Laboratorio de Mecatrónica de la “Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, extensión Latacunga.”

### **PALABRAS CLAVE:**

- **TENSORFLOW**
- **CLASIFICACIÓN DE FRUTAS**
- **CONTROL DE CALIDAD**

## **ABSTRACT**

Surface contamination in fruits is a problem that affects both producers and consumers, which is why it is necessary to implement a control system to detect these contaminants in the fruits before entering the market. The present project consists of the design and construction of a control system to detect surface contaminants in peaches and tomatoes being some of the most demanded fruits in the local market. This system consists of a storage stage designed specifically for the treatment of food products, transport by means of a conveyor belt, classification with a linear actuator and artificial vision through neural networks implemented through the Python programming language and the use of the free software library called TensorFlow, which together allow to identify if the analyzed fruit is in good condition, or on the contrary if it presents some type of failure or problem. The programming is made to generate two types of sequences, one continuous and one programmed to analyze a specific lot of fruits, the system has a graphical interface that allows the control and supervision of the process, in the end the fruits are separated into two groups, fruit in good and bad condition, thus achieving a quality control of the product that is going to be entered into the commercial market. The implementation of this project was carried out in the Mechatronics Laboratory of the "Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, extension Latacunga."

### **KEYWORDS:**

- **TENSORFLOW**
- **FRUITS**
- **QUALITY CONTROL**

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Planteamiento del problema

Varias industrias alimenticias realizan el control de calidad de sus productos de forma artesanal en la cual un operador se encarga de seleccionar los productos defectuosos para evitar su comercialización. El control de calidad artesanal también se lo realiza de forma común en la inspección de frutas, en donde un operador es el encargado de identificar las frutas que posean defectos superficiales como pueden ser manchas o golpes en la piel de la fruta, pero este trabajador no puede analizar a profundidad la fruta, ya que no es capaz de identificar si esta contiene rastros en la piel producidos por fungicidas.

Los alimentos insalubres que contienen bacterias, virus, parásitos o sustancias químicas nocivas causan más de 200 enfermedades, que van desde la diarrea hasta el cáncer. Se estima que cada año enferman en el mundo unos 600 millones de personas (casi 1 de cada 10 habitantes) por ingerir alimentos contaminados y que 420 000 mueren por esta misma causa. Al ejercer una presión excesiva en los sistemas de atención de la salud, las enfermedades transmitidas por los alimentos obstaculizan el desarrollo económico y social, y perjudican a las economías nacionales, al turismo y al comercio. (Organización Mundial de la Salud, 2017)

Hoy en día las empresas buscan implementar sistemas inteligentes dentro de sus instalaciones para mejorar los niveles de control de calidad de sus productos y optimizar los tiempos de verificación, por consiguiente, el presente trabajo consiste en elaborar un prototipo de sistema de

control de calidad integral que cubra las necesidades de suministro, transporte, inspección, y clasificación de diferentes tipos de frutas.

## **1.2. Antecedentes**

Los sistemas de visión por computador permiten caracterizar cuantitativamente diversos rasgos físicos como el tamaño, la morfología, el color y las propiedades de textura empleando una imagen digital. Además, en estos sistemas frecuentemente se acoplan sistemas opto eléctricos y sistemas mecatrónicos que permiten reemplazar la manipulación humana con el fin de que los procesos sean más eficaces.

Un campo donde el uso de esta tecnología se ha extendido rápidamente es el de la inspección de productos agroalimentarios, en particular, en la inspección automática de frutas y verduras, en donde se analiza la composición, las propiedades internas y los contaminantes de los alimentos. Esto se realiza mediante técnicas de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR), visión artificial y visión hiperespectral. (Martínez Vicedo, 2017)

Según los archivos Latinoamericanos de Nutrición, (2005): “El control de calidad para frutas y hortalizas se basa en las características organolépticas y fisicoquímicas, y gracias al análisis de estas se puede obtener un beneficio tanto para el producto como para el consumidor”.

Las propiedades organolépticas de los alimentos son las características físicas que pueden percibir de ellos los distintos sentidos como el sabor, el olor, la textura y el color, mientras que las propiedades fisicoquímicas son todas aquellas propiedades que pueden ser tanto físicas como químicas. Las propiedades físicas son: textura, color, aroma, sabor, tensión superficial y

propiedades coloidales, y las propiedades químicas son: valor nutricional, humedad, cenizas, grasas, proteínas, fibra cruda, enzimas, tóxicos, hidratos de carbono, entre otros.

### **1.3. Justificación e importancia**

En una publicación de la Cámara de Comercio de Medellín (2017) se explican las ventajas que conlleva la automatización de los procesos industriales, tales como: disminuir los costos de producción (optimizando los procesos), aumentar la eficiencia en los procesos, mejorar la calidad y seguridad del producto, automatizar procesos de control e inspección complejos. Además de satisfacer las demandas de los consumidores por productos inocuos, homogéneos y con mejores atributos de calidad.

La visión artificial representa una de las herramientas transversales más relevantes dentro de la industria 4.0. Esta tecnología afecta, directa o indirectamente, a aspectos tan importantes como: el control de calidad, la seguridad industrial, control de logística y procesos, soporte a la producción. A su vez esta tecnología es rápida, precisa, objetiva, no es destructiva para los alimentos y evita la inspección humana, que en jornadas largas tiende a ser costosa, subjetiva e imprecisa. (Nunsys, 2017).

En una conferencia impartida por el Grupo SPRI Taldea (2017) hace referencia a la utilidad de la visión artificial para el mejoramiento de la calidad en la industria y más específicamente de la implementación de la industria 4.0. “Son sistemas que evitan rechazos de calidad y permiten obtener información cuanto antes. Es poner ojos donde no tienes”, afirma José Ángel Gutiérrez, de Tecnalía.



La implementación de un sistema de control de calidad tiene como fin reducir la comercialización de productos defectuosos o contaminados en el mercado, ya que el control de calidad artesanal puede tener errores, los cuales surgen debido a factores que afectan al desempeño en el trabajo de la persona, como puede ser el sueño o cansancio, además de que el obrero no posee la capacidad de determinar ciertas sustancias químicas que pueden tener los productos en sus superficies, los cuales pueden afectar a la salud de los consumidores.

## **1.4. Objetivos:**

### **1.4.1. Objetivo General**

Implementar un prototipo de sistema de control de calidad para la detección de contaminantes superficiales de diferentes tipos de frutas usando visión artificial.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Investigar los diferentes tipos de contaminantes, sistemas de transporte, sistemas de alimentación y sistemas de clasificación, para cumplir con la mayor cantidad de normativas posibles que ayuden a que el sistema sea seguro en la industria alimenticia.
- Seleccionar los componentes del sistema de transporte idóneos en la manipulación de productos alimenticios, para garantizar el bienestar de los consumidores.
- Diseñar el sistema de transporte para movilizar un lote de diferentes tipos de frutas, desde el suministro hasta la clasificación de estas, validándolo mediante un software de análisis.
- Diseñar el sistema de suministro, para trabajar con diferentes tipos de frutas.

- Seleccionar los componentes del sistema de visión artificial, para luego programar el sistema para clasificar las frutas tomando en cuenta la presencia o ausencia de contaminantes superficiales.
- Diseñar una etapa de clasificación que dependa de la programación realizada.
- Implementar un panel de control para configurar los parámetros y visualizar las variables del sistema.
- Realizar pruebas de funcionamiento para validar la hipótesis y el prototipo diseñado.

## **1.5. Alcance**

El propósito de este proyecto es desarrollar un prototipo de sistema para el control de calidad de diferentes tipos de frutas, realizando un análisis por lotes, detectando la presencia de contaminantes superficiales tales como: aberturas naturales o heridas, suciedad adherida a las frutas, hongos, entre otras fallas producidas en la coloración de la piel, con el fin de prevenir su ingreso al mercado comercial y evitar consecuencias posteriores en el consumo de dichos productos. Por ello se realizará una investigación bibliográfica de los defectos y contaminantes en frutas, luego se investigará sobre los sistemas de transporte, sistemas de alimentación y mecanismos de clasificación analizando ventajas y desventajas de estos, con el fin de seleccionar el más idóneo para cumplir con normativas de seguridad requeridas por las empresas cuando se manipulan industrialmente productos alimenticios.

Luego se realizará el diseño y selección de componentes del sistema de transporte, el cual trasladará las frutas desde el suministro hasta la etapa de clasificación. Este diseño se validará mediante un software CAD/CAE para verificar que cuente con un factor de seguridad adecuado.

El proyecto continuará con el diseño del sistema de alimentación o suministro de los diferentes tipos de frutas, las cuales son tomate y durazno, estará compuesto por un sistema de dosificación, que ayude a regular la cantidad de frutas que van a ingresar al sistema de transporte; y, una tolva diseñada para evitar la acumulación y maltrato de las frutas a examinar.

Posteriormente, se seleccionarán los componentes del sistema de visión artificial como son: cámara, sistema de iluminación, sensores, entre otros aspectos que influyen en el procesamiento digital, para luego desarrollar el respectivo algoritmo de detección que permitirá determinar las frutas con contaminantes superficiales, y también materiales extraños o frutas distintas a las que se están analizando.

A continuación, se diseñará un sistema mecánico que permita clasificar la fruta en buen o mal estado, dependiendo del resultado del análisis realizado por el sistema de visión artificial. Finalmente, se implementará una Interfaz Humano Máquina (HMI) para configurar los parámetros y visualizar las variables del sistema; se realizarán pruebas de funcionamiento para validar la hipótesis y el prototipo diseñado.

## **1.6. Estructura del documento**

El capítulo 1 aborda la problemática que se pretende resolver, así como los antecedentes de trabajos similares que ayudarán a guiarnos en la elaboración e implementación del sistema de

control de calidad de frutas. A su vez, plantea los objetivos a conseguir y también un resumen del alcance del presente proyecto de titulación.

El capítulo 2 describe una investigación bibliográfica de los diferentes contaminantes superficiales de las frutas a tratar. También muestra una conceptualización de los diferentes tipos de sistemas de suministro, transporte, y sistemas electrónicos, así como las técnicas y métodos usados dentro de la visión artificial.

El capítulo 3 detalla un estudio de la casa de la calidad, el cual ayuda a satisfacer los requerimientos potenciales del cliente, también se presentan la selección de conceptos con los cuales se buscan las mejores alternativas para el desarrollo del trabajo de titulación. Además, se detallan los cálculos para el diseño de ejes, sistema de transmisión, análisis estáticos de la banda transportadora, mesa y tolva validados con ecuaciones de diseño y en software CAE.

El capítulo 4 describe el proceso de construcción del sistema integral y el resultado de la implementación. Presenta los algoritmos de control de visión artificial y la comunicación de los diferentes sistemas.

El capítulo 5 detalla las pruebas realizadas en el sistema de clasificación, mecanismo de alimentación y mecanismo de expulsión de la fruta, también se describe la validación de normativas usadas en el trabajo, así como la validación de la hipótesis y estudio financiero.

El capítulo 6 presenta las conclusiones del proyecto y recomendaciones para trabajos futuros, de acuerdo con el estudio desarrollado.

## **CAPÍTULO II**

### **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

#### **2.1. Control de calidad**

El control de calidad se define como la integración de programas o sistemas dentro de una empresa para verificar la calidad de sus productos, servicios y productividad garantizando que la empresa busque la mejora continua en la calidad de sus productos. (Arreaga, 2013)

Establecer un control de calidad significa ofrecer y satisfacer a los clientes al máximo y conseguir los objetivos de las empresas, por lo que suele aplicarse a todos los procesos de la empresa, esto se realiza obteniendo la información necesaria acerca de los estándares de calidad que el mercado espera y, desde ahí, se controla cada proceso hasta la obtención del producto/servicio. (Debitoor, 2018)

#### **2.2. Control de calidad para frutas**

La calidad es una percepción compleja evaluada de forma objetiva y subjetiva por el consumidor, debido a que el cerebro procesa la información recogida por el tacto, vista y olor y posteriormente la asocia con experiencias pasadas. La percepción del sabor, aroma y textura que se produce al ingerirlo, ayudan a confirmar las sensaciones percibidas al momento de la compra.

Una de las preocupaciones más relevantes en los consumidores es que los alimentos tengan contaminantes bióticos o abióticos que afecten a su salud, debido a la poca o nula preparación antes de ingerirlos. (FAO, 2018)

## 2.3. Contaminantes en frutas

Es cualquier elemento químico, biológico o físico ajeno al alimento, haciéndole perder su inocuidad, quitándole su aptitud para el consumo. (Fernández, 2017)

### 2.3.1. Factores que influyen en la alteración de los alimentos

Los factores pueden ser químicos, físicos o biológicos. Algunos ejemplos de cada uno según se detallan en la investigación de Garcinuño (2016) del departamento de Ciencias Analíticas de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), los cuales se detallan en la Tabla 1.

**Tabla 1.**

*Factores que influyen en la alteración de los alimentos*

<b>Factores</b>	
<b>Factores físicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deshidratación</li> <li>• Congelación</li> <li>• Aplastamiento</li> <li>• Luz, calor, humedad, aire.</li> <li>• Modificaciones de temperatura y acidez.</li> </ul>
<b>Factores químicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acción de enzimas.</li> <li>• Reacciones químicas</li> </ul>
<b>Factores biológicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia bacterias, levaduras y hongos.</li> <li>• Acción de insectos, aves, roedores y otros animales.</li> </ul>

Fuente: (Garcinuño, 2016)

### **2.3.2. Contaminación de los alimentos**

Según Garcinuño (2016): “La contaminación en los alimentos son aquellas modificaciones que pueden ser ocasionadas por la presencia de gérmenes o elementos extraños como: metales, productos tóxicos, etc, y que suponen un riesgo en la salud del consumidor”.

Muchas veces se considera una fruta en buen estado solo por la apariencia externa que tenga, pero lo que en verdad importa es el estado interno de las mismas. Así un alimento puede estar:

- Deteriorado y contaminado (se aprecia).
- Deteriorado y no contaminado (se aprecia).
- Contaminado y no deteriorado (no se aprecia).

En la investigación se van a analizar los productos deteriorados-contaminados y deteriorados-no contaminados.

### **2.3.3. Tipos de contaminación en los alimentos**

En la Tabla 2 se observan los tipos de contaminantes en los alimentos con sus causas que lo producen, algunos de los contaminantes son producidos por el tiempo que tardan las personas en consumir dichos alimentos, mientras que en otros casos son producidos por la presencia de organismos extraños a la fruta.

**Tabla 2.***Tipos de contaminación en los alimentos*

<b>Tipos de contaminación en los alimentos</b>	
Contaminación física	Es ocasionado por la presencia de cualquier material o elemento como, por ejemplo: huesos o esquirlas, piedras, plásticos, cristales, trozos de metal, papel o materiales de envasado y embalaje, etc
Contaminación química de origen biológico	Es ocasionada por la presencia de determinados tipos de micotoxinas (mohos) que, dependiendo de la humedad y temperatura, pueden crecer en algunos alimentos como frutos secos, uvas, cereales, etc.
Contaminación química de origen no biológico o artificial	Se originan por la presencia de metales pesados (Mercurio, plomo, etc.), residuos de plaguicidas, herbicidas y fertilizantes, también por algunos aditivos alimenticios y por la presencia de residuos de antibióticos de uso veterinario y hormonas
Contaminación biológica	La contaminación biológica se divide en contaminación biológica primaria y secundaria, la primera se da en materias primas mientras que la segunda es producida en alimentos durante su preparación y manipulación

Fuente: (Garcinuño, 2016)

## **2.4. Frutas y contaminantes para analizarse**

### **2.4.1. Tomate**

El tomate es cuarto fruto con mayor importancia de producción a nivel nacional en el país existen 3333 hectáreas de plantación y la producción anual es ronda las 61426 toneladas al año.

El fruto del tomate tiene una gran cantidad de vitaminas y sales minerales por se lo considera como un excelente purificador de sangre y el organismo, por lo que la mejor manera de consumirlo



es cruda. Algunas de las características técnicas del tomate se pueden ver en la Tabla 3. (Moreta, 2011)

**Tabla 3.**

*Ficha técnica del tomate*

<b>Ficha técnica del tomate</b>	
<b>Nombre científico</b>	<i>Lycopersicon esculentum Mill</i>
<b>Familia</b>	<i>Solanaceae</i>
<b>Zonas de producción</b>	Azuay, Imbabura, Santa Elena y Carchi
<b>Clima</b>	Producción es mejor en zonas secas, donde la temperatura varía de 20 °C a 25 °C, la humedad relativa óptima debe estar en el rango de 60% a 80%
<b>Época de plantación</b>	Puede ser cultivado todo el año
<b>Tamaño promedio</b>	Su diámetro varía de 60 mm a 100 mm




Fuente: (Tábara, s.f.)

Los contaminantes y plagas que se analizaran en el tomate se describen en la Tabla 4 pero es necesario aclarar que existen otros infortunios los cuales también afectan a fruta, pero no serán analizadas debido a que en la zona de estudio no existen estos, tales como: rajado del tomate, vasantes del tomate, trips, *heliothis*, entre otras.

Según el Agrónomo José Tipán, especialista en la siembra y cultivo del tomate en ciertos sectores de la ciudad de Latacunga, las causas de la presencia de contaminantes en los tomates se deben a plagas o enfermedades que afectan a estas frutas, siendo las más relevantes de la zona la antracnosis o comúnmente conocida como ojo de pollo o polilla del tomate y la deficiencia de calcio.

Además, José Tipán, supo manifestar que la selección y clasificación del tomate se las realiza manualmente, ocasionando fallos en la selección de entre frutas en buen y mal estado, ya que la cantidad de productos a ser clasificados es alta.

**Tabla 4.**  
*Contaminantes y plagas en tomates*

Contaminantes y Plagas del Tomate		
Nombre	Descripción	Imagen
<b>Podredumbre gris</b>	Esta enfermedad muestra sus primeros rastros en las hojas y en las flores del árbol, mientras que en el fruto se presenta una podredumbre en la cual se observan vellosidades del hongo	
<b>Polilla del tomate</b>	Esta plaga afecta cualquier estado de desarrollo del tomate, por lo que desde su formación los frutos ya pueden ser atacados, las larvas ingresan a los frutos, para alimentarse de ellos, por lo que crean perforaciones y minas.	
<b>Deficiencia de calcio</b>	Esta enfermedad inicia con la presencia de zonas color marrón sobre la piel de la fruta, la cual con el paso del tiempo se seca a medida que las células del área afectada van muriendo.	

Fuente: (Bernal, 2010)

#### 2.4.2. Durazno

El durazno es un fruto rico en nutriente y vitaminas para la salud, es un fruto delicado, por lo que su manejo debe ser cuidadoso. La producción anual de este fruto es de 7750 toneladas.

La venta de la mayoría de estos frutos se realiza en fresco para la elaboración de concentrados y enlatados. Algunas de las características técnicas se presentan en la Tabla 5. (Astudillo, 2011)

**Tabla 5.**

*Ficha técnica del durazno*


<b>Ficha técnica del durazno</b>	
<b>Nombre científico</b>	<i>Prunus Persica</i>
<b>Familia</b>	<i>Rosaceae</i>
<b>Zonas de producción</b>	Tungurahua, Azuay, Chimborazo, Pichincha, Imbabura
<b>Clima</b>	Se produce en zonas con una altitud de 2000 msnm a 2700 msnm, por lo que la temperatura para el crecimiento del árbol va desde 8 °C a 40 °C.
<b>Primera cosecha</b>	125 días después de la primera floración
<b>Tamaño promedio</b>	Su diámetro varía de 61 mm a 75 mm

Fuente: (Moya, 2015)



Los contaminantes y plagas que se analizaran en el durazno se describen en la Tabla 6, pero es necesario aclarar que existen otras calamidades como los Trips, Grafolita y Viroide del mosaico que no serán analizadas debido a que en la zona de estudio no existen estos contaminantes.

**Tabla 6.**

*Contaminantes y plagas del durazno*

<b>Contaminantes y Plagas del Durazno</b>		
<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>	<b>Imagen</b>
<b>Podredumbre morena</b>	Es la enfermedad de hongos más importante, los frutos atacados inician con una podredumbre de color café, luego de la cosecha la fruta se pudre velozmente y puede contagiar a los frutos que estén junto a ella.	

**CONTINÚA** 

<b>Podredumbre blanda</b>	Esta enfermedad se inicia en los duraznos con pequeñas manchas húmedas de color marrón que avanzan rápidamente. Sobre las zonas afectadas por esta enfermedad, la piel se desprende con facilidad, se ablanda la pulpa y se liberan líquidos, a la vez que comienza a crecer gran cantidad de micelio blanco.	
<b>Bacteriosis</b>	En los frutos se generan manchas húmedas, las cuales tienen la tonalidad de color violáceo oscuro, posteriormente pueden aparecer rajaduras estrelladas, en las cuales en algunos casos se produce un exudado gomoso.	

Fuente: (Soria, 2010)

## 2.5. Normativas para el diseño

En el manejo de alimentos es indispensable cuidar la salubridad e integridad de estos y así prevenir la contaminación y garantizar que los productos lleguen en buen estado al consumidor, por lo cual existen normas las cuales regularizan el manejo de los alimentos en las zonas de procesamiento y análisis las cuales tienen como objetivo que el consumidor reciba un producto saludable y libre de impurezas. Además, es necesario cuidar la integridad del personal en el área de procesamiento de productos por lo que existen normas que regularizan el lugar en donde se van a desarrollar las actividades laborales.

### 2.5.1. Norma ISO 16143-2:2014

- Aceros inoxidables resistentes a la corrosión

“Aceros con al menos 10,5% (fracción másica) Cr y un máximo de 1,2% (fracción másica) C cuya resistencia a la corrosión es de importancia primordial”. (ISO, 2014)

### **2.5.2. NTE INEN 3039, en el punto 4.8.**

- Almacenamiento y refrigeración

“Los almacenes o áreas de almacenamiento deben ser de material resistentes que permita una fácil limpieza, deben mantenerse limpios, secos, ventilados, protegidos contra el ingreso de personas ajenas al establecimiento, así mismo se deben limpiar con frecuencia las bandejas o anaqueles.” (INEN, 2015)

“Los alimentos deben colocarse en anaqueles o tarimas de material fácil de limpiar y desinfectar, resistentes, los cuales deben mantenerse en buenas condiciones, ya que los alimentos no deben estar en contacto con el piso, sino a una distancia mínima de 20 cm. La distancia entre hileras debe ser de 50 cm, así como a la pared; los alimentos contenidos en sacos, bolsas o cajas pueden apilarse hasta una distancia de 60 cm del techo y tener una distancia entre sí de 15 cm para la debida circulación del aire”. (INEN, 2015)

### **2.5.3. Norma OSHA 1910.305 (a) (2) (xi)**

Los conjuntos de cables y los cables y cordones flexibles deben sostenerse en su lugar a intervalos que garanticen que estarán protegidos contra daños físicos. El soporte debe ser en forma de grapas, ataduras de cables, correas o accesorios de tipo similar instalados para no causar daños. (OSHA, 2007)

## **2.6. Sistema de almacenamiento y dosificación**

Un sistema de almacenamiento y dosificación es un mecanismo que tiene como principio fundamental el almacenar una variedad de componentes, por lo que debe estar diseñado de acuerdo con las características de los materiales que van a ser guardados, además debe preparar cantidades

predeterminadas de material en un periodo de tiempo concretado para que este ingrese a la línea de producción. (Salazar, 2017)

### 2.6.1. Almacenamiento con tolva cilíndrica de acrílico

El sistema es utilizado para el almacenamiento de materiales granulados, consta de una tolva de acrílico, un soporte y un sistema de suministro. El material parte desde la tolva hasta el sistema de suministro como se observa en la Figura 1, este tiene una inclinación de  $60^\circ$  y posee una compuerta accionada por un servomotor para regular la cantidad. Posee una escobilla para cuidar que los granos no se rompan. Las ventajas y desventajas de este sistema se detallan en la Tabla 7. (Mata & Molina, 2014)



**Figura 1.** Tolva cilíndrica de acrílico  
Fuente: (Mata & Molina, 2014)

#### Tabla 7.

*Ventajas y desventajas de usar una tolva cilíndrica de acrílico*

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>El material es transparente, por lo que es fácil la visualización el estado del material que está en la tolva.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Limitado tamaño del sistema para el tipo de material que puede almacenar.</li> </ul>

**CONTINÚA** 

<ul style="list-style-type: none"> <li>• El acrílico es un material que se caracteriza por tener una dureza tres veces mayor a la del vidrio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espesor reducido</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El material fluye con gran facilidad debido a la inclinación del sistema de suministro.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo elevado</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La forma de la tolva ayuda al correcto flujo del material.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aglomeramiento del material dentro de la tolva</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material liviano.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El acrílico tiene buena resistencia térmica y química.</li> </ul>	

Fuente: (Mata & Molina, 2014)

### 2.6.2. Almacenamiento por descenso en espiral

El sistema de descenso en espiral es una combinación de clasificador espiral, zanja espiral, máquina girada, clasificador centrífugo. El sistema puede ser construido con varios tamaños por lo que las aplicaciones son variadas, como se observa en la Figura 2. El sistema consiste en un canal en forma de espiral que desciende directamente al sistema de transporte. Las ventajas y desventajas de usar este tipo de almacenamiento se describen en la Tabla 8. (Henan Zhongke Ingeniería y Tecnología Co. Ltd., 2018)



**Figura 2.** Descenso espiral

Fuente: (Henan Zhongke Ingeniería y Tecnología Co. Ltd., 2018)

**Tabla 8.**

*Ventajas y desventajas de usar una tolva con descenso espiral*

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adecuado para espacios limitados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Complejidad de construcción</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fácil de instalar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costos elevados</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema estable y seguro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vulnerable a contaminantes volátiles</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gran capacidad de almacenamiento</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta eficiencia</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El material fluye con gran facilidad debido a la inclinación y fuerzas centrífugas.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los alimentos no van a sufrir aplastamiento.</li> </ul>	

Fuente: (Henan Zhongke Ingeniería y Tecnología Co. Ltd., 2018)

### 2.6.3. Almacenamiento con tolva cuadrada de acero inoxidable

Este tipo de tolvas tiene muchos usos y aplicaciones tales como: tratamiento de desechos orgánicos o almacenamiento de frutos secos, está formada de una tolva de acero inoxidable, un soporte y un sistema de suministro con un canal variable en su ángulo de inclinación, su forma cuadrada ayuda a que el sistema sea apilable verticalmente, la estructura está realizada con acero inoxidable como se muestra en la Figura 3, además se presentan las ventajas y desventajas en la Tabla 9. (Alibaba, 2018)



**Figura 3.** Almacenamiento con tolva cuadrada de acero inoxidable

Fuente: (Alibaba, 2018)



**Tabla 9.***Ventajas y desventajas de usar una tolva cuadrada de acero inoxidable*

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El material tiene bajo contenido de carbono y es resistente a la corrosión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplastamiento de las frutas</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor estabilidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poca rigidez.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor adaptabilidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor dificultad de transporte</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilidad de construcción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiene dificultad en el deslizamiento de las frutas, por lo que es necesario el uso de un forro interno.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las dimensiones pueden adecuarse a las necesidades del usuario.</li> </ul>	

Fuente: (Alibaba, 2018)

## 2.7. Sistema de transporte

El manejo de materiales hace referencia al empaque, transporte y almacenamiento de sustancias. Los elementos del manejo de materiales dependen de la posición, localización, forma o características del producto. La selección de equipos de manejo es una de las principales fases en un análisis de movimiento de un material. (López Peralta, 2008)

Los materiales deben ser transportados con el equipo correspondiente según las características del material, según el Systematic Handling Analysis (SHA) o Análisis Sistemático de Manutención (1970) las principales características empleadas para clasificar los materiales son:

- Tamaño
- Forma
- Peso

- Riesgo de deterioro
- Estado físico

### 2.7.1. Tipos de sistemas de transporte

- **Sistema de transporte por rozamiento en banda lisa inclinada**

El sistema consta de una estructura soporte, tambor motriz y de retorno, cinta lisa, elementos tensores y elementos motrices, el transporte por la banda lisa es comúnmente utilizado en la industria alimenticia, por su facilidad de implementación y la adaptabilidad a cualquier entorno. La inclinación que posee ayuda a la rotación de las frutas simultáneamente con el transporte de estas desde un punto A ubicado en la salida del sistema de alimentación, hacia un punto B ubicado en la zona de clasificación. El sistema se puede visualizar en la Figura 4, las ventajas y desventajas se muestran en la Tabla 10.



**Figura 4.** Transportador continuo liso inclinado

Fuente: (Pemigsa, 2017)

**Tabla 10.**

*Ventajas y desventajas de usar un transportador continuo liso*

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gran velocidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo elevado</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad de recorrer distancias largas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La tensión debe aumentar o disminuir debido a los cambios de elevación en la estructura.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta resistencia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necesidad de altos torques en los motores.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usabilidad</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilidad en la limpieza</li> </ul>	

Fuente: (Pemigsa, 2017)

- **Sistema de transporte y rotación por rodillos**

El sistema transporta al mismo tiempo que rota los frutos desde un punto A ubicado en la salida del sistema de alimentación, hacia un punto B ubicado en la zona de clasificación, utiliza rodillos formando una superficie regular para facilitar el manejo y desplazamiento de una gran cantidad de frutas, el sistema se puede ver en la Figura 5 y, las ventajas y desventajas de este se encuentran en la Tabla 11.



**Figura 5.** Rotación por rodillos  
Fuente: (Embalajes Terra, 2017)

**Tabla 11.**

*Ventajas y desventajas de usar un sistema de transporte por rodillos*

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es un sistema modular</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costos elevados</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fácil implementación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mantenimiento complicado</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adaptabilidad a diferentes tipos de frutos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materiales no indicados para el uso de materiales alimenticios</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• No produce ruido</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fácil mantenimiento</li> </ul>	

Fuente: (Embalajes Terra, 2017)

### **2.7.2. Banda transportadora de cinta**

Una cinta transportadora es un bucle continuo motorizado y está alimentada por energía eléctrica o baterías. Estos equipos son indispensables en muchas empresas y lugares de trabajo, ya que son usadas para el transporte de cualquier tipo de objeto. (Lowstars, 2017)

Para su correcto funcionamiento debe tener los siguientes componentes:

- **Estructura**

El soporte de la estructura está formado por los elementos que sustentan a la banda, y el diseño la hace firme y alineada. Según el trabajo de investigación de Fernández (2016), “Las uniones de las diferentes partes/secciones del sistema no deben presentar desniveles respetando la horizontalidad de todo el conjunto para evitar que la banda tienda a escaparse de su trayectoria efectiva”.

- **Cinta o correa transportadora**

Son cinturones hechos de caucho o un material de silicona, dependiendo de la movilidad y condiciones de calor o frío extremo, generalmente tienen un espesor menor a 1 pulgada lo cual ayuda a moverse con gran fluidez. Dos tambores ayudan a mover la cinta transportadora. (Lowstars, 2017)

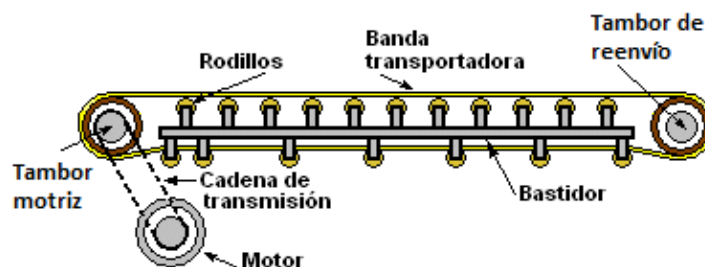
- **Tambores**

Son robustos cilindros que impulsan la cinta a través de su trayectoria, el tambor crea fricción al tiempo que añade presión a la correa. (Lowstars, 2017).

Pueden existir diferentes tipos de tambores:

*Tambor de accionamiento o motriz:* La fricción entre el tambor y la banda transmite la potencia y el movimiento al sistema. A través de diferentes mecanismos de transmisión. Las partes de la banda transportadora se muestran en la Figura 6.

- *Tambor de reenvío o de cola:* Se encuentra en el lado opuesto al tambor de accionamiento o motriz, cumple la función de permitir el retorno de la banda, comúnmente suele ser del mismo diámetro del tambor motriz.
- *Tambor del sistema tensor:* Debido al coeficiente de estiramiento inelástico que posee la banda, es necesario colocar pequeños rodillos que ayuden a evitar este problema, que normalmente es ocasionado en sistemas de transporte pesado y de grandes distancias entre centros. (Fernandez, 2016)



**Figura 6.** Partes de una banda transportadora  
Fuente: (Fernandez, 2016)

## 2.8. Sistema electrónico

### 2.8.1. Generalidades de sistema electrónico

“Un sistema electrónico es un conjunto de dispositivos que se encargan de la aplicación de los circuitos electrónicos cuyo funcionamiento depende del flujo de electrones para generar, recibir, transmitir y almacenar información”. (Maquinariapro, 2017)

Los sistemas electrónicos se dividen en tres partes, las cuales se muestran en la Tabla 12 y se puede visualizar en la Figura 7.

**Tabla 12.**

*Partes de un sistema electrónico*

Partes de un sistema electrónico	Descripción
<b>Entradas</b>	Son los sensores que forman parte del sistema electrónico, la función de estos es tomar las señales de mundo físico y transformarlas en señales de corriente o voltaje
<b>Circuitos de procesamiento de señales</b>	Son los componentes eléctricos que manipulan, interpretan y transforman la señal de voltaje y corriente proveniente del transductor.
<b>Salidas</b>	Son dispositivos que se encargan de convertir las señales de corriente o voltaje en señales físicamente útiles

Fuente: (Miranda, 2013)



**Figura 7.** Partes de un sistema electrónico

Fuente: (Miranda, 2013)

## 2.8.2. Sensores de proximidad

Son dispositivos electrónicos que se basan en detectar la presencia de objetos para poder determinar exactamente la ubicación de un objeto en un determinado tiempo. Sus usos se basan en contar piezas, movilizarlas o accionar otros mecanismos en base a la posición del objeto. Los tipos de sensores de proximidad se detallan en la Tabla 13. (Fidemar, 2018)

**Tabla 13.**  
*Tipos de sensores de proximidad*

Sensores de proximidad	Descripción	Imagen
<b>Sensores fotoeléctricos</b>	Son dispositivos de tamaño conveniente con un grado alto de robustez, los cuales permiten detectar objetos de una gran variedad de tamaños, colores y formas. Utiliza haces de luz infrarrojo, LED visible o láser, la señal modulada se propaga hasta alcanzar el objeto.	
<b>Sensores capacitivos</b>	Estos sensores permiten la detección de objetos que no necesariamente sean metálicos y a corta distancia, utilizan un principio de medición basado en la variación de la capacitancia, por lo que son dispositivos muy versátiles.	
<b>Sensores inductivos</b>	Se usan para detectar objetos metálicos ferrosos, y ofrecen una detección robusta y confiable, desde muy pequeñas distancias como puede ser 1mm, hasta mayores distancias de modelos grandes.	
<b>Sensores magnéticos</b>	Están conformados por contactos tipo reed, son fácilmente influenciados por campos	

CONTINÚA 

magnéticos, por lo que se utilizan con un imán una superficie imantada. Los sensores magnéticos resultan particularmente útiles cuando se desea detectar una pieza metálica, en un ambiente con alta presencia de objetos metálicos



Fuente: (Fidemar, 2018)

### 2.8.3. Actuador

Un actuador es un dispositivo mecánico que tiene la función de generar fuerza para mover otro dispositivo; dependiendo de el origen de la fuerza el existen actuadores neumáticos, hidráulicos y eléctricos. (Vildósola, 2017)

- **Cilindro neumático de acero inoxidable**

Estos sistemas son utilizados en entornos donde existe una alta probabilidad de corrosión, su función principal es sacar a las frutas desechadas de la línea de transporte. Están elaborados a base de aceros inoxidable de alta aleación de cromo – níquel – molibdeno, por lo que sus superficies no sufren daños ocasionados por detergentes o desinfectantes. En la Figura 8 se muestra un ejemplar de la familia de la empresa FESTO, además se detallan las ventajas y desventajas de usar este actuador en la Tabla 14. (FESTO, 2018)



**Figura 8.** Cilindro neumático de acero inoxidable

Fuente: (FESTO, 2018)



**Tabla 14.**

*Ventajas y desventajas de usar un cilindro neumático de acero inoxidable*

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>Resistente a la corrosión superficial</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Costos elevados</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Tiene lubricante de grado alimenticio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Trabajan con sistemas neumáticos</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Son aptos para el trabajo en la industria alimenticia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Baja velocidad</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Resisten altas temperaturas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bajas energías de impacto</li> </ul>

Fuente: (FESTO, 2018)

- Accionamiento por servomotor**

Este sistema es un servomotor con piñonaría metálica y cojinete, posee un tamaño compacto además de ser un sistema de gran durabilidad, el cual permite trabajar con movimientos controlados y precisos. El actuador se puede visualizar en la Figura 9, y las ventajas y desventajas se detallan en la Tabla 15. (store.robodacta, 2018)



**Figura 9.** Servomotor Micro MG90S

Fuente: (store.robodacta, 2018)

**Tabla 15.**

*Ventajas y desventajas de usar un Servomotor*

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>Alta durabilidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Poco robusto</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Bajo voltaje de operación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Baja calidad</li> </ul>

**CONTINÚA**

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Piñonaría metálica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso nulo en el sector alimenticio</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamaño compacto</li> </ul>	

Fuente: (store.robodacta, 2018)

- **Accionamiento por actuador lineal eléctrico**

Este sistema eléctrico de actuación lineal cuenta con un diseño delgado el cual soporta una fuerza elevada de trabajo como se observa en la Figura 10, además que se adaptan a una amplia variedad de aplicaciones ya que posee controladores que definen con facilidad lo que tienen que hacer el actuador. Las ventajas y desventajas se muestran en la Tabla 16. (Bansbach, 2018)



**Figura 10.** Actuador lineal Easye-50

Fuente: (Bansbach, 2018)

**Tabla 16.**

*Ventajas y desventajas de usar un actuador lineal eléctrico*

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta durabilidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ciclo de trabajo limitado</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rápida velocidad de actuación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto voltaje de operación</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adaptabilidad al entorno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los resortes internos no se comprimen completamente</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amplio rango de desplazamiento</li> </ul>	

Fuente: (Bansbach, 2018)

## 2.9. Sistema de visión artificial

La visión artificial tiene como propósito la extracción de toda aquella información del mundo físico a partir de imágenes digitales, utilizando para ello un computador. (Vélez, Moreno, & Sánchez, 2016)

### 2.9.1. Imágenes

Según Vélez, Moreno & Sánchez (2016) se define a la imagen bidimensional como: “Una función que a cada par de coordenadas (x, y) asocia un valor relativo a alguna propiedad del punto que representa (su brillo o matiz)”. También define a la imagen digital como: “Una matriz bidimensional, cada elemento de la matriz se llama pixel”. En el pixel se almacena el brillo con 256 niveles tanto para imágenes en escala de grises como en imágenes a color, con 256 niveles en cada capa (rojo, verde y azul).

- **Imagen RBG**

Es aquella que asocia a cada punto de la imagen una terna de valores de intensidad (rojo, verde y azul). En la Figura 11 se puede observar una imagen de un tomate en buenas condiciones. (Vélez, Moreno, & Sánchez, 2016)



**Figura 11.** Imagen RGB

Fuente: (Ferrer, 2015)

- **Imagen en escala de grises**

Es la representación de una imagen en la que cada pixel se dibuja usando un valor numérico individual, en una escala que se puede ser entre negro y blanco. En la Figura 12 se puede observar la misma imagen de la Figura 11 pero transformada a escala de grises. (Fotonostra, 2018)



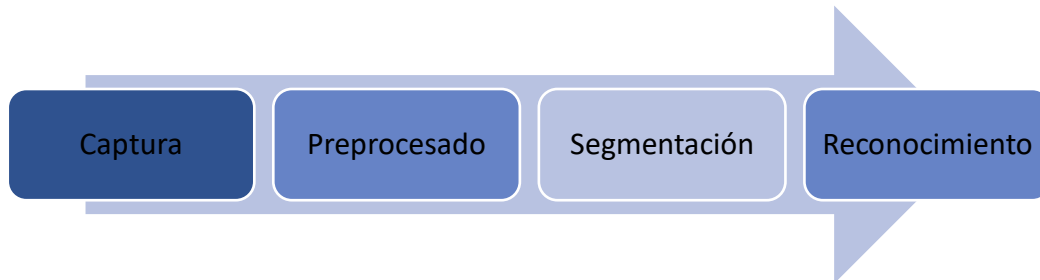
*Figura 12.* Imagen en escala de grises.

### 2.9.2. Etapas de un sistema de visión artificial

La visión artificial intenta reproducir el comportamiento del ojo humano, el cual captura la luz a través de los ojos, y esta información pasa por el nervio óptico hasta el cerebro donde esta información es procesada. En la Figura 13 se muestran las cuatro etapas en forma gráfica. (Vélez, Moreno, & Sánchez, 2016)

- **Primera fase:** Adquisición de imágenes digitales mediante algún tipo de sensor, típicamente un CCD.
- **Segunda fase:** Preparar la imagen eliminando las partes no útiles y/o realzando las partes interesantes.
- **Tercera fase:** Aislar los elementos de interés para su posterior interpretación.

- **Cuarta fase:** Distinguir los diferentes objetos segmentados en función de sus características.



*Figura 13.* Etapas de un sistema de Visión Artificial

### 2.9.3. Tipos de cámaras para el sistema de visión artificial

- **Cámara Web**

Es una cámara digital de tamaño reducido la cual captura y transmite imagen al conectarla a un computador. Su instalación es sencilla, ya que basta con conectarla a un puerto USB. Su circuitería es sencilla por lo que únicamente cuenta con un sensor y una lente para capturar la imagen de forma instantánea. En la Figura 14 se muestra un ejemplo de cámara Web, además en la Tabla 17 se puede visualizar las ventajas y desventajas de usar este tipo de sistema de visión artificial. (InformaticaModerna, 2014).



*Figura 14.* Cámara Web HD Pro Webcam C920  
Fuente: (Logitech, 2018)

**Tabla 17.**

*Ventajas y desventajas de usar una Cámara HD Pro Webcam C920*

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>Tiene una corrección de iluminación automática</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Resolución regular</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Facilidad de implementación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Difícil implementación, ocasionada por el software que necesita</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Tamaño reducido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Limitación en el movimiento de la lente</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Adaptabilidad al medio</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Variedad de aplicaciones</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Costo moderado</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Captura de fotos al instante</li> </ul>	

Fuente: (InformaticaModerna, 2014)

- Cámara Térmica**

Esta cámara opera con longitudes de onda, es decir trabaja con las emisiones de infrarrojos producidos por el espectro electromagnético de los cuerpos, para luego generar imágenes que son visibles para el ojo humano, como se muestra en la Figura 15, también se presentan las ventajas y desventajas en la Tabla 18. (Infaimon, 2017)



**Figura 15.** Cámara Térmica BOBCAT-320 CL

Fuente: (Infaimon, 2017)

**Tabla 18.**

*Ventajas y desventajas de usar una Cámara Térmica*

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>Alta robustez</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Manipulación compleja</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Análisis rápido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Velocidad de toma de imágenes regular</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Detecta problemas sin necesidad de detener la producción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Trabajan con software complejo</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Enfoque automático</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Costo elevado</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Funcionan a temperatura ambiente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Trabajan con radiación</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Variedad de tamaños</li> </ul>	

Fuente: (Infaimon, 2017)

- Cámara Matricial**

Estas cámaras tienen un sensor que cubre un área de esta o que está formado por una matriz de píxeles, produce una imagen de un área, normalmente con una relación de aspecto de 4 a 3. Las cámaras matriciales tienen sensores CCD, los cuales son sensibles a la luz para convertir los fotones en carga eléctrica, como se observa en la Figura 16. En la Tabla 19 se muestran las ventajas y desventajas de usar este tipo de cámaras. (Infaimon, 2018)



**Figura 16.** Cámara Matricial AD-080 CL

Fuente: (Infaimon, 2018)

**Tabla 19.**  
*Ventajas y desventajas de usar una Cámara Matricial*

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variedad de tamaños</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo elevado</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gran estabilidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensible a la luz</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuenta con procesamiento de imagen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja calidad de imagen</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamaño de imagen dependiente de la matriz</li> </ul>

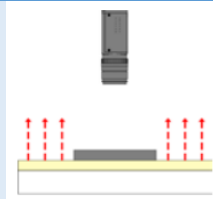
Fuente: (Infaimon, 2018)

## 2.10. Tipos de iluminación

La iluminación es un ámbito indispensable al momento de analizar una imagen con visión artificial, ya que el sistema crea imágenes a partir del análisis de la luz reflejada por un objeto, mas no del análisis del propio objeto.


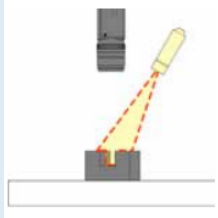

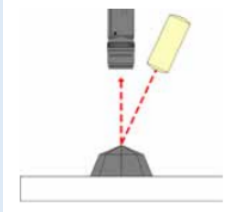
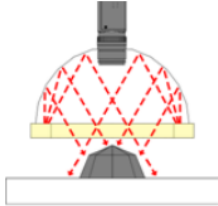
Una técnica de iluminación es colocar una fuente de luz junto a la cámara y al objeto, generando mejoras en la imagen y anulando algunas imperfecciones de esta. Las diferentes técnicas se detallan a continuación en la Tabla 20. (COGNEX, s.f.)

**Tabla 20.**  
*Tipos de técnicas de iluminación*

Técnica de iluminación	Descripción	Imagen
<b>Retroiluminación</b>	Mejora el contorno de un objeto para aplicaciones que solo necesitan medidas externas o de bordes, ayuda a detectar formas y hace más visible las dimensiones.	

**CONTINÚA** 



<p><b>Iluminación frontal</b></p>	<p>En este sistema la iluminación se coloca de forma paralela a la cámara mirando de forma directa al objeto, este sistema reduce las sombras suaviza texturas, y disminuye la presencia de imperfecciones en el objeto. Este tipo de iluminación se consigue mediante anillos de luz.</p>	
<p><b>Luz estructurada</b></p>	<p>Es la proyección de un patrón de luz en un ángulo conocido sobre el objeto. Puede ser muy útil para ofrecer inspecciones superficiales independientes del contraste, adquirir información dimensional y calcular volúmenes.</p>	
<p><b>Iluminación de campo oscuro</b></p>	<p>Permite la visualización de los defectos en la superficie del objeto y se usa cuando no existe mucho contraste, la luz especular al alejarse de la cámara se refleja, y la luz difusa y los cambios de elevación se reflejan en la cámara.</p>	
<p><b>Iluminación de campo brillante</b></p>	<p>Se usa en aplicaciones de alto contraste, las reflexiones especulares y los efectos “hot spot” en superficies brillantes o reflectantes pueden requerir una fuente de luz más difusa que proporcione incluso iluminación en el campo brillante.</p>	
<p><b>Iluminación cenital difusa</b></p>	<p>Ofrece la iluminación más uniforme de las características de interés, y puede enmascarar irregularidades que no se consideren de interés y confundir la escena.</p>	

## 2.11. OpenCV

OpenCV (*Open Source Computer Vision Library*) es una biblioteca de software de visión abierta y software de aprendizaje automático. OpenCV fue creado para brindar una interfaz que permita crear programas y aplicaciones guiadas especialmente a la visión artificial. OpenCV cuenta con varios algoritmos usados en muchas aplicaciones de visión artificial y las más populares son aquellas que se usan para detectar y reconocer rostros, identificar objetos, clasificar, rastrear movimientos de la cámara, rastrear objetos en movimiento, seguir los movimientos oculares, etc. (OpenCV, 2018)

## 2.12. Redes Neuronales

Según Matich Damián (2001) define a la red neuronal como: “redes interconectadas masivamente en paralelo de elementos simples (usualmente adaptativos) y con organización jerárquica, las cuales intentan interactuar con los objetos del mundo real del mismo modo que lo hace el sistema nervioso biológico”.

### 2.12.1. Ventajas de la red neuronal

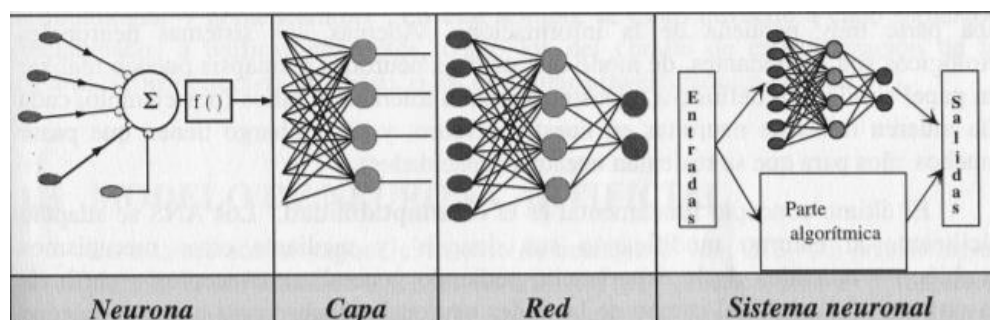
- **Aprendizaje Adaptativo:** Tiene la capacidad de realizar tareas basadas en un entrenamiento o una experiencia inicial.
- **Auto-organización:** Mediante la etapa de aprendizaje la red neuronal puede crear su propia organización o representación de la información.

- **Operación en tiempo real:** La red puede realizar los cálculos en paralelo con la acción de diferentes tareas.
- **Naturaleza para propósitos no lineales, robustez y tolerancia al ruido.** (Matich, 2001)

### 2.12.2. Elementos de una red neuronal

Una red neuronal está formada por un conjunto de entradas y unos pesos sinápticos, es necesario establecer una regla de propagación, la más utilizada consiste en combinar linealmente las entradas y los pesos sinápticos. La función de activación representa la salida de la neurona y su estado de activación.

La red está formada por una capa de entrada, una capa de salida y varias capas ocultas, dependiendo del número de capas ocultas la red neuronal será más o menos robusta y eficiente, debido a que en estas capas es en donde se realiza el procesamiento. En la Figura 17 se puede observar la estructura del sistema neuronal. (Larrañaga, Inza, & Moujahid, s.f.)



**Figura 17.** Sistema global de proceso de una red neuronal

Fuente: (Larrañaga, Inza, & Moujahid, s.f.)

### 2.12.3. TensorFlow

TensorFlow es una biblioteca de computación numérica que se basa en un sistema de redes neuronales, por lo que está orientada a problemas de *Deep Learning* en donde se la puede usar para reconocimiento de palabras, letras, textos e imágenes.

Esta red fue liberada en febrero del 2017, con mejoras relevantes como optimizando los tiempos de ejecución de algoritmos y mejorando con las interacciones con otras bibliotecas. TensorFlow estructura los datos recibidos para el análisis en forma de *tensores*, los cuales son valores primitivos que se ordenan dentro de una vector de 1 a N dimensiones. (Zaforas, 2017)

TensorFlow fue liberada bajo la licencia Apache 2, la cual expresa que se puede hacer uso del software manteniendo siempre los derechos de autor, pero no se puede hacer uso o redistribución del código fuente. (Apache, 2004)

## CAPÍTULO III

### CARACTERIZACIÓN Y DISEÑO DEL SISTEMA

#### 3.1. Caracterización de los parámetros de diseño

##### 3.1.1. Parámetros previos al diseño

- **Casa de la calidad**

Las especificaciones técnicas que requiere el sistema son determinadas por medio de la casa de la calidad, con la cual se busca identificar los requerimientos del cliente (voz del usuario) y plasmarlos como requerimientos técnicos en base al criterio del ingeniero (voz del ingeniero), con el fin de identificar las características más importantes del sistema, que ayudarán a evaluar el grado de cumplimiento de las especificaciones del prototipo.

- **Voz del usuario**

De acuerdo con el criterio del usuario, la máquina debe contar con las siguientes características:

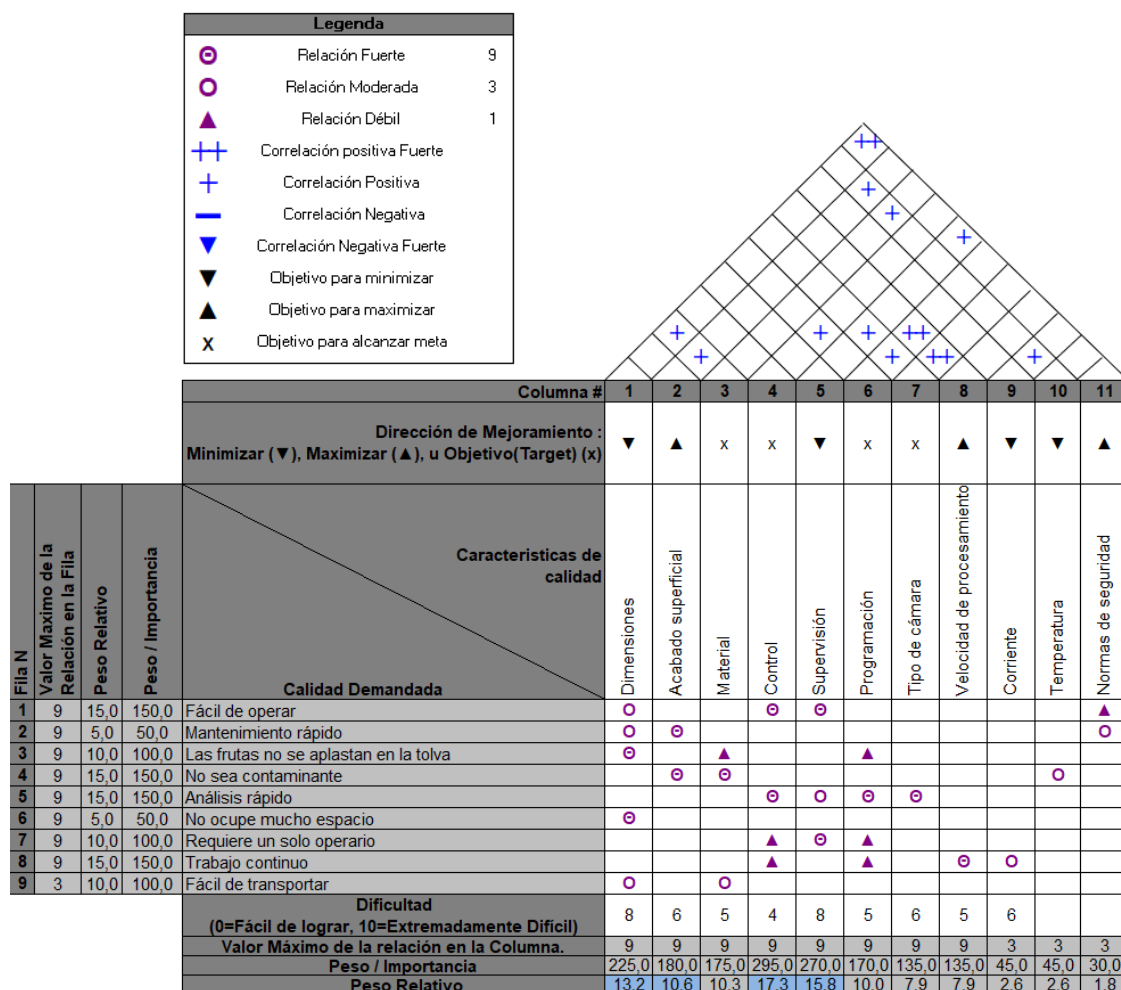
- ✓ Fácil de operar
- ✓ Mantenimiento rápido
- ✓ Las frutas no se aplasten en la tolva
- ✓ No sea contaminante
- ✓ Análisis rápido
- ✓ No ocupe mucho espacio
- ✓ Requiera un solo operario
- ✓ Trabajo continuo

- ✓ Fácil de transportar

- **Voz del ingeniero**

Una vez conocidos los requerimientos y deseos del usuario, se procede a traducirlos a especificaciones o características técnicas:

- ✓ Dimensiones
- ✓ Acabado superficial
- ✓ Material
- ✓ Control
- ✓ Supervisión
- ✓ Programación
- ✓ Tipo de cámara
- ✓ Velocidad de procesamiento
- ✓ Corriente
- ✓ Temperatura
- ✓ Normas de seguridad



**Figura 18.** Casa de la calidad del sistema completo con su simbología

La casa de la calidad de la Figura 18 muestra las características técnicas más relevantes que se deben tratar al momento de realizar el análisis funcional, las cuales ayudarán a llegar al cumplimiento de los objetivos del proyecto, las características más importantes de cumplir son:

- Dimensiones de la estructura mecánica acorde al lugar donde va a ser implementado.
- Control del proceso mediante programación.
- Supervisión mediante una interfaz gráfica.

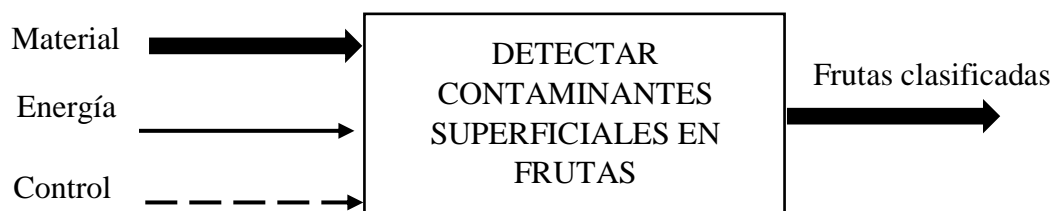
### 3.1.2. Análisis funcional

El análisis funcional es una técnica que ayuda a identificar las diferentes etapas que tiene un sistema relacionadas con la función productiva de una empresa o conglomerado de empresas.

El análisis empieza identificando el propósito de la función principal, y continuamente las funciones específicas que van a permitir que la función principal se cumpla. El objetivo de este análisis es obtener un diseño modular, el cual cuente con señales de actuación, líneas de abastecimiento, flujo de datos, energéticos, etc. Para entender las necesidades del flujo y la relación entre las distintas partes.

- **Función principal**

La función principal que se muestra en la Figura 19 tiene como elementos de entrada diferentes tipos de frutas tales como: tomates y duraznos; el sistema se energizará con corriente alterna de 110 VAC; finalmente el control del sistema será por medio de variables obtenidas a través del sistema de visión artificial.



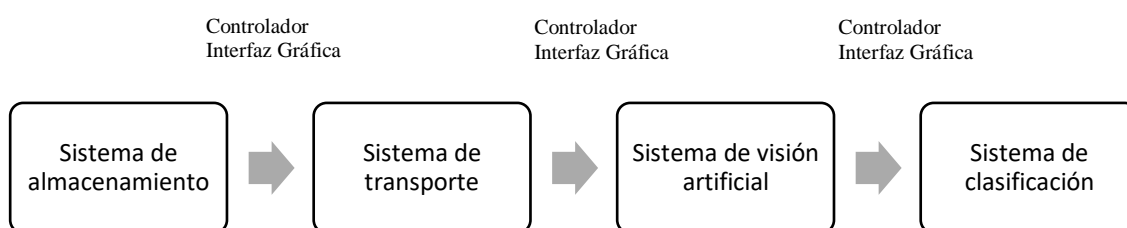
*Figura 19.* Función de entrada o principal

- **Funciones específicas**

Las frutas van a seguir un proceso continuo a través de 4 etapas como se detalla en la Figura 20; el sistema de almacenamiento constará de una tolva y una compuerta que permitirá el



suministro de las frutas hacia el sistema de transporte; el sistema de transporte contará con un mecanismo y un posicionamiento estratégico tanto de los motores como de la banda para generar el movimiento en las frutas; el sistema de visión artificial tendrá una cámara y un sistema de iluminación que permitirá trabajar en cualquier condición ambiental y finalmente el sistema de clasificación contará con un sensor y actuador. Todas estas etapas serán controladas y monitoreadas mediante un controlador junto con una interfaz gráfica.



**Figura 20.** Funciones específicas del sistema

### 3.2. Generación de conceptos de las diferentes etapas

Para la generación de los conceptos se investigaron varias opciones, de las cuales se seleccionaron las tres más relevantes para cada una de las etapas, ponderando con una calificación de 5 como la mejor en cuanto al cumplimiento del criterio de selección y con una calificación de 1 como la peor.

#### 3.2.1. Sistema de almacenamiento

En la Tabla 21 se muestra la matriz de evaluación de conceptos para el sistema de almacenamiento, tomando en cuenta los conceptos investigados, así como las ventajas y desventajas las cuales se detallan en la sección 2.6. Sistemas de almacenamiento y dosificación.

**Tabla 21.**

*Matriz de evaluación de conceptos para el sistema de almacenamiento*

Criterios de selección	Peso	a) Almacenamiento con tolva cilíndrica de acrílico		b) Almacenamiento por descenso en espiral		c) Almacenamiento con tolva cuadrada de acero inoxidable	
		Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada
<b>Tamaño</b>	15%	3	0.45	5	0.75	4	0.6
<b>Peso</b>	10%	5	0.5	4	0.4	3	0.3
<b>Material</b>	25%	3	0.75	5	1.25	5	1.25
<b>Forma</b>	10%	5	0.5	5	0.5	2	0.2
<b>Acabado superficial</b>	20%	3	0.6	4	0.8	4	0.8
<b>Volumen</b>	10%	3	0.3	5	0.5	4	0.4
<b>Espesor</b>	10%	5	0.5	5	0.5	3	0.3
	Total de puntos		<b>3.6</b>		<b>4.7</b>		<b>3.85</b>
	Lugar		3		1		2
	¿Continuar?		No		Desarrollar		No

### **Conclusión**

Para la elaboración del sistema de almacenamiento, se usará una tolva con descenso espiral, al mismo tiempo se usará una protección de acrílico para proteger a los alimentos de contaminantes externos que se tengan en el ambiente.

### **3.2.2. Sistema de transporte**

En la Tabla 22 se muestra la matriz de evaluación de conceptos para el sistema de transporte, tomando en cuenta los conceptos investigados, así como las ventajas y desventajas las cuales se detallan en la sección 2.7.1. Tipos de sistemas de transporte

**Tabla 22.**

*Matriz de evaluación de conceptos para el sistema de transporte*

			a) Sistema de transporte por rozamiento en banda lisa inclinada		b) Sistema de transporte por rodillos	
Criterios de selección	Peso		Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada
Velocidad de transporte	20%		5	1	4	0.8
Adaptabilidad a diferentes frutas	20%		5	1	5	1
Material	20%		4	0.8	3	0.6
Fácil implementación	15%		3	0.45	5	0.75
Fácil mantenimiento	10%		5	0.5	4	0.4
Eliminación de residuos	15%		5	0.75	2	0.3
Total de puntos				<b>4.5</b>		<b>3.85</b>
Lugar				1		2
¿Continuar?				Desarrollar		No

### Conclusión

Para la elaboración del sistema de transporte se usará un transportador continuo a base de una cinta transportadora lisa, se implementarán guías para controlar la posición de la fruta al momento de transportarse por la banda transportadora.

### 3.2.3. Sistema de visión artificial

En la Tabla 23 se muestra la matriz de evaluación de conceptos para la selección del tipo de cámara que debe ser utilizada en el sistema de visión artificial, tomando en cuenta los conceptos

investigados, así como las ventajas y desventajas las cuales se detallan en la sección 2.9.3. Tipos de cámaras para el sistema de visión artificial.

**Tabla 23.**

*Matriz de evaluación de conceptos para el sistema de visión artificial*

Criterios de selección	Peso	a) Cámara Web		b) Cámara Térmica		c) Cámara Matricial	
		Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada
Tamaño de la cámara	10%	4	0.4	3	0.3	3	0.3
Buena resolución	25%	4	1	4	1	3	0.75
Alta velocidad de toma de imágenes	25%	4	1	5	1.25	3	0.75
Adaptabilidad al medio	15%	5	0.75	4	0.6	1	0.15
Costos	15%	5	0.75	3	0.45	4	0.6
Fácil implementación	10%	5	0.5	2	0.2	4	0.4
Total de puntos			<b>4.4</b>		<b>3.8</b>		<b>2.95</b>
Lugar			1		2		3
¿Continuar?			Desarrollar		No		No

## Conclusión

En el sistema de visión artificial se usará una Cámara Web, debido a su buena resolución, alta velocidad de toma de imágenes, y una gran adaptabilidad al medio, la cámara tiene un costo moderado lo que facilita su adquisición e implementación en el prototipo diseñado.

### 3.2.4. Sistema de clasificación

En la Tabla 24 se muestra la matriz de evaluación de conceptos para el sistema de clasificación, tomando en cuenta los conceptos investigados, así como las ventajas y desventajas las cuales se detallan en la sección 2.8.3. Actuador

**Tabla 24.**

*Matriz de evaluación de conceptos para el sistema de clasificación*

Criterios de selección	Peso	a) Accionamiento por neumático con actuador lineal		b) Accionamiento eléctrico por servomotor MG90S		c) Accionamiento por eléctrico por actuador lineal	
		Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada
<b>Velocidad de actuación</b>	20%	5	1	5	1	4	0.8
<b>Fuerza</b>	25%	3	0.75	4	1	5	1.25
<b>Material del mecanismo</b>	10%	3	0.3	5	0.5	5	0.5
<b>Desplazamiento</b>	20%	4	0.8	4	0.8	5	1

**CONTINÚA** 

<b>Adaptabilidad al sistema</b>	15%	3	0.45	3	0.45	5	0.75
<b>Voltaje de operación</b>	10%	5	0.5	5	0.5	3	0.3
Total de puntos			<b>3.8</b>		<b>4.25</b>		<b>4.5</b>
Lugar			3		2		1
¿Continuar?			No		No		Desarrollar

### Conclusión

Para el sistema de clasificación se usará un actuador lineal eléctrico por sus grandes velocidades que ofrece, lo cual ayudará a cumplir con los objetivos establecidos.

## 3.3. Selección de componentes electrónicos

### 3.3.1. Selección del motor y driver

El motor utilizado para el movimiento de la banda transportadora es el motor a Pasos NEMA 23 de 19Kg.cm. El motor utilizará un driver que suministre la suficiente corriente para mover la carga ocasionada por el peso de las frutas, el driver utilizado es el BL – TB6600 – 5 [A], en la Tabla 25 se puede observar las especificaciones técnicas del motor y en la Tabla 26 se puede observar las especificaciones técnicas del driver, a su vez se puede observar las imágenes del motor y driver en las Figuras 21 y 22 respectivamente. La distribución de pines del driver BL – TB6600 se detalla en la Tabla 27.

**Tabla 25.***Especificaciones técnicas del motor NEMA 23 19kg.cm*

Especificaciones técnicas del motor	Valor
Ángulo de paso	1,8 grados
Pasos por vuelta	200
Voltaje	3 VDC
Amperaje	3 A/fase
Numero de fases	2
Diámetro del eje	8 mm
Temperatura máxima de trabajo	80°C

Fuente: (MarkerShopBCN, 2018)

**Figura 21.** Motor Nema 23

Fuente: (MarkerShopBCN, 2018)

**Tabla 26.***Especificaciones técnicas del driver BL-TB6600 5A*

Especificaciones técnicas del driver	Valor
Voltaje de entrada	DC 8~50V

**CONTINÚA** →

<b>Voltaje de funcionamiento</b>	12V-42V	
<b>Corriente de entrada</b>	1-5 A	
<b>Temperatura de funcionamiento</b>	<b>de</b>	-10 a 45°C
<b>Temperatura de almacenamiento</b>	<b>de</b>	-40 a 70°C
<b>Peso</b>	200 gr	

Fuente: (artofcircuits, 2018)



**Figura 22.** Driver BL-TB6600 5[A]

Fuente: (artofcircuits, 2018)

**Tabla 27.**

*Distribución de pines del driver BL-TB6600 5A*

#	Nombre del PIN	Descripción
1	DIR-	Dirección de entrada de cátodo de optoaislador
2	DIR+	Dirección de entrada de ánodo de optoaislador

**CONTINÚA** 



<b>3</b>	PUL-	Entrada de pulsos de cátodo de optoaislador
<b>4</b>	PUL+	Entrada de pulsos de ánodo de optoaislador
<b>5</b>	EN-	Habilitar el cátodo de entrada del optoaislador
<b>6</b>	EN+	Habilitar el ánodo de entrada del optoaislador
<b>7</b>	A+	Bobinado de salida de motor paso a paso positivo
<b>8</b>	A-	Bobinado de salida de motor paso a paso negativo
<b>9</b>	B+	Bobinado de salida del motor paso a paso B positivo
<b>10</b>	B-	Bobinado de salida del motor paso a paso B negativo
<b>11</b>	DC-	Fuente de alimentación de entrada Negativo / 0V
<b>12</b>	DC+	Entrada de fuente de alimentación positiva / 12V a +42V

Fuente: (artofcircuits, 2018)

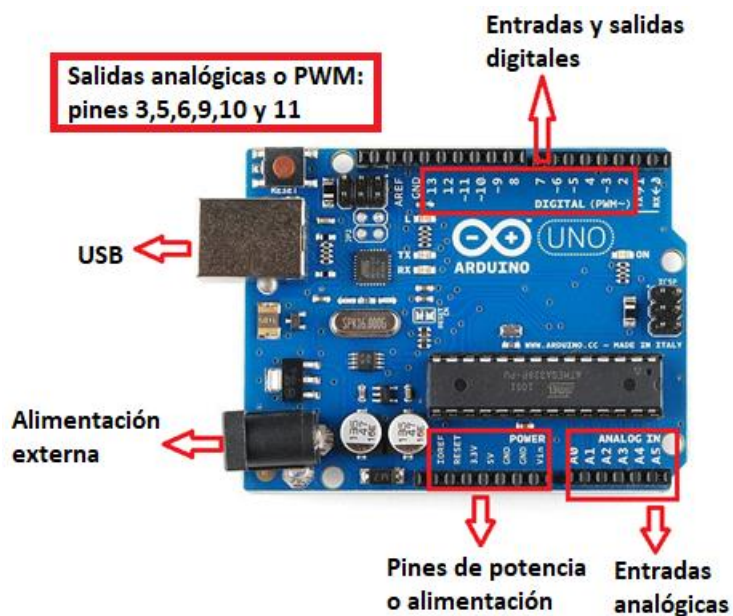
### 3.3.2. Selección de la tarjeta de control

El sistema consta de un motor a pasos, el cual necesita de 4 señales:

- Alimentación con una señal de activación de 5V

- Alimentación de funcionamiento de 24V
- Pulsos
- Pasos

La tarjeta de control que se ajusta mejor al sistema es una tarjeta Arduino, debido a su facilidad de manejo y sus altas prestaciones en el ámbito del control de circuitos electrónicos. En el mercado existen varias versiones de esta tarjeta: Nano, Uno, Mega, y en base al número de pines que necesitamos para la programación, se selecciona el Arduino Uno, el cual consta con la siguiente distribución de pines, como se detalla en la Figura 23.



*Figura 23.* Distribución de pines de Arduino Uno

### 3.3.3. Selección de la fuente de alimentación

La fuente de alimentación debe proporcionar 24 V como se muestra en la Figura 24, para lo cual se seleccionó el modelo WX-DC2416, la cual es una fuente de alimentación conmutada de tablero

desnudo industrial de alta potencia, tiene las siguientes especificaciones técnicas que se detallan en la Tabla 28.

**Tabla 28.**

*Especificaciones técnicas fuente WX-DC2416*

Especificaciones técnicas de la fuente	Valor
Entrada de CA	AC 110-240V
Frecuencia de CA	50Hz / 60Hz
Voltaje de salida	DC 24V
Corriente de salida	6-9A
Potencia de salida	150W

Fuente: (Banggood, 2018)



**Figura 24.** Fuente WX-DC2416

Fuente: (Banggood, 2018)

Para el actuador lineal es necesario una fuente de 12-24V, por lo cual se optó por implementar a una de las salidas de la fuente un regulador de voltaje variable para obtener el voltaje deseado.

### 3.3.4. Selección de la cámara

Para el sistema de visión artificial es necesario tener una buena resolución por lo cual se necesita una cámara con alta resolución, en el mercado existen varios tipos de cámaras HD, una de las más factibles (resolución) y fáciles de encontrar en el mercado es la cámara web, específicamente la cámara web Genius FaceCam 1000x como se muestra en la Figura 25, las características técnicas se especifican en la Tabla 29.

**Tabla 29.**  
*Características técnicas de la cámara web*

<b>Especificaciones técnicas de la cámara web</b>	<b>Especificación</b>
<b>Requisitos del sistema</b>	Windows XP, VISTA, 7 o superior Mac OS 10.4.6 o posterior Linux 2.6.21 o anterior Puerto USB
<b>Sensor de imagen</b>	CMOS de píxeles de alta definición 720p
<b>Tipo de lente</b>	Objetivo de enfoque manual
<b>Formato de archivo</b>	AVI/WMV
<b>Resolución</b>	1MP, 1280x720, 640x480 pixels
<b>Dimensiones (AxAxP)</b>	20x22x60 mm

Fuente: (Genius, 2018)



**Figura 25.** Cámara Genius FaceCam 1000x  
Fuente: (Genius, 2018)

### 3.3.5. Selección del actuador lineal

Para la selección del actuador lineal se tomó como referencia la velocidad a la que sale el vástago, debido a que es necesario tener una gran velocidad al momento de expulsar la fruta hacia el contenedor de la fruta en mal estado, se seleccionó el actuador lineal con las siguientes especificaciones mostradas en la Tabla 30, la imagen del actuador lineal se puede visualizar en la Figura 26.

**Tabla 30.**

*Especificaciones técnicas del actuador lineal*

<b>Especificaciones técnicas del actuador lineal</b>	<b>Especificación</b>
<b>Carrera</b>	150 mm
<b>Potencia de salida</b>	35W
<b>Velocidad</b>	230 mm/seg
<b>Voltaje nominal</b>	24 VDC
<b>Capacidad de carga</b>	50 N
<b>Ciclo de trabajo</b>	25%

Fuente: (Suprlus Auto, 2018)



**Figura 26.** Actuador lineal de alta velocidad

Fuente: (Suprlus Auto, 2018)

### 3.3.6. Selección del actuador de giro

Para la selección del actuador de giro se tomó en cuenta el ángulo y el par que puede mover, por lo cual se eligió el servo motor MG996R de 9Kg-cm, el cual consta de las siguientes especificaciones técnicas, detalladas en la Tabla 31, la imagen del actuador se puede visualizar en la Figura 27.

**Tabla 31.**

*Especificaciones del servo MG996R*

Especificaciones técnicas del actuador de giro		Especificación
<b>Voltaje</b>		4.8-7.2 V
<b>Ángulo</b>		180°
<b>Puesto par</b>		9Kg-cm
<b>Velocidad de funcionamiento</b>	<b>de</b>	0.17 sec / 60 grados (sin carga)
<b>Dimensiones</b>		40x19x43 mm
<b>Peso</b>		55 gr

Fuente: (Moviltronics, 2018)



**Figura 27.** Servo MG996R  
Fuente: (Moviltronics, 2018)

### 3.3.7. Selección del sensor de presencia

Para la verificación de la presencia de las frutas en la banda transportadora se optó por usar un sensor infrarrojo debido al material de las frutas, es por esto que no se usaron sensores capacitivos o inductivos, entonces, el sensor seleccionado es el E18-D80NK, el cual lo podemos visualizar en la Figura 28 y observar las características en la Tabla 32.

**Tabla 32.**

*Características del sensor infrarrojo E18-D80NK*

<b>Especificaciones técnicas del sensor infrarrojo</b>	<b>Especificación</b>
<b>Voltaje de operación</b>	5V DC
<b>Corriente de trabajo</b>	25-100mA
<b>Rango de detección</b>	3cm a 80cm
<b>Emisor de luz</b>	Led infrarrojo
<b>Salida</b>	Tipo NPN normalmente abierto
<b>Dimensiones</b>	D17mm*L45mm
<b>Material de la carcasa</b>	Plástico

**CONTINÚA** 

<b>Temperatura de trabajo</b>	-25 a 70°C
-------------------------------	------------

Fuente: (naylampmechatronics, 2018)



**Figura 28.** Sensor de proximidad fotoeléctrico infrarrojo E18-D80NK

Fuente: (naylampmechatronics, 2018)

### **3.4. Diseño del sistema mecánico y eléctrico**

#### **3.4.1. Criterios de diseño**

Antes de diseñar cada una de las etapas del sistema mecánico, es necesario tomar en cuenta algunas consideraciones que ayudarán al diseño:

- El sistema va a ser implementado en el Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo que se limitarán las dimensiones que tenga el sistema.
- El material de la estructura debe ser resistente a la corrosión y no debe ser contaminante, debido a que se está trabajando con productos de consumo humano.
- El sistema cumplirá con normativas de seguridad referentes al tratamiento industrial de productos alimenticios, como lo detalla la Norma ISO 16143-2:2014 “Aceros inoxidables para fines generales” y la Norma NTE INEN 3039.



- Fácil desmontaje de sus componentes debido a que la estructura se adaptará al análisis de diferentes tipos de frutas.

### 3.4.2. Factor de seguridad

Uno de los aspectos más importantes en el diseño de máquinas industriales es el factor de seguridad o factor de diseño. En algunos casos no se conocen las condiciones previas de servicio, por lo que el diseñador debe hacer estimaciones conservadoras de las condiciones.

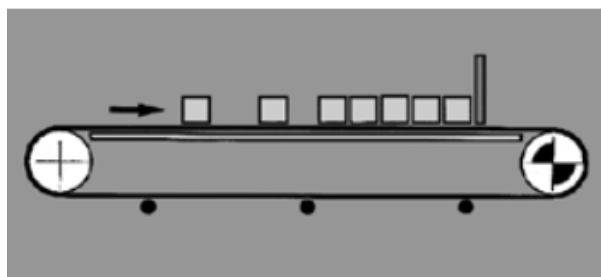
El sistema estará sometido a cargas estáticas por lo que según la teoría de Mott (2009) se debe considerar un factor de diseño de 2, como se detalla en la Figura 29, entonces, en el diseño se pretende obtener un valor por encima de este, con el fin de que el sistema pueda ser más seguro y confiable, además de asegurar que soporte cargas superiores a las diseñadas.

Forma de carga	Factor de diseño	Esfuerzo cortante de diseño
Cargas estáticas	Use $N = 2$	$\tau_d = s_y/4$
Cargas repetidas	Use $N = 4$	$\tau_d = s_y/8$
Choque o impacto	Use $N = 6$	$\tau_d = s_y/12$

**Figura 29.** Factores de diseño recomendados

Fuente: (Mott, 2009)

### 3.4.3. Diseño de la banda transportadora



**Figura 30.** Parámetros de una banda transportadora

Fuente: (Siegling Transilon, 2017)

Se inicia calculando la Fuerza tangencial de la banda transportadora de la Figura 30, mediante la Ecuación 1:

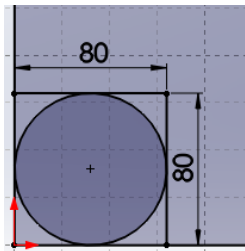
$$Fu = u_T \cdot g \cdot \left(m + \frac{m_b}{2}\right) + u_R \cdot g \cdot \left(\frac{m_b}{2} + m_R\right) + u_{ST} \cdot g \cdot m \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

- $u_T$  = Coeficiente de fricción para marcha sobre la mesa
- $g$  = Aceleración de la gravedad ( $9.81 \frac{m}{s^2}$ )
- $m$  = Masa de la mercancía transportada en toda la longitud de transporte (Carga total)
- $m_b$  = Masa de la banda
- $u_R$  = Coeficiente de fricción para marcha sobre el rodillo
- $m_R$  = Masa de todos los tambores, excepto el tambor motriz
- $u_{ST}$  = Coeficiente de fricción para acumulación
- **Determinación de los parámetros  $m$ ,  $m_R$ ,  $m_b$ ,  $m_T$**
- Masa y diámetro de la mercancía transportada en toda la longitud de transporte (m)

Para la carga máxima se tomará en cuenta a los tomates por ser la fruta de mayor diámetro y peso, los cuales van a estar distribuidos por toda el área de la banda transportadora, los tomates tienen una masa y diámetro promedio de 200 g y 8 cm respectivamente.

- En la Figura 31 se muestra el área de la fruta de mayor diámetro a ser analizada



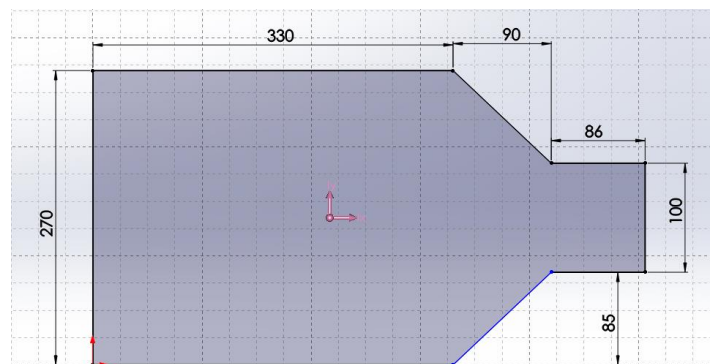
**Figura 31.** Área de la fruta de mayor diámetro

$$\text{Área} = b \times h \quad \text{Ec. 2}$$

$$\text{Área} = (80) \times (80)$$

$$\text{Área} = 6400\text{mm}^2$$

- En la Figura 32 se muestra el área de contacto con las frutas de la banda transportadora



**Figura 32.** Superficie en contacto con las frutas

Haciendo uso de un software CAD, como se muestra en la Figura 33, se determinó el área de la superficie que va a estar en contacto con las frutas en el sistema

Propiedades de sección de Croquis1 de Pieza1

Área = 114350.00 milímetros<sup>2</sup>

**Figura 33.** Área de contacto de la fruta

Con la ayuda de los resultados de la Ecuación 2 y el área de contacto de las frutas se realiza el cálculo de la cantidad de frutas máximas que pueden estar en la superficie del perfil de la banda transportadora, usando la Ecuación 3:

$$\text{Cantidad de frutas} = \frac{\text{Área de la superficie}}{\text{Área de la fruta}} \quad \text{Ec. 3}$$

$$\text{Cantidad de frutas} = \frac{114350\text{mm}^2}{6400\text{mm}^2}$$

$$\text{Cantidad de frutas} = 17.86 \approx 18 \text{ Frutas}$$

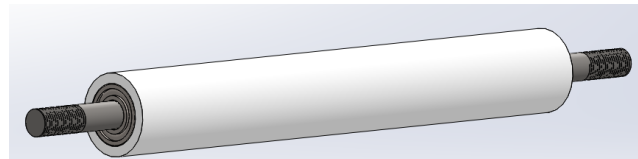
Entonces:

$$m = 200 \text{ g} \times 18$$

$$m = 3600 \text{ g}$$

- Masa de todos los tambores, excepto el tambor motriz ( $m_R$ )

Para determinar la masa de los tambores ( $m_R$ ), se hace uso de un software CAD. El material del tambor es Acero AISI 1020, como se muestra en la Figura 34.



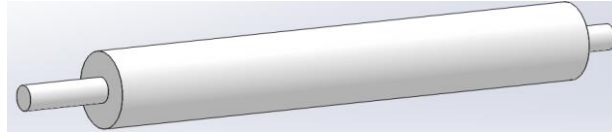
**Figura 34.** Tambor motriz

Donde la masa del tambor de retorno es de 597.03 g, entonces se tiene:

$$m_R = 597.03 \text{ g}$$

- Masa del tambor motriz ( $m_T$ )

Para el cálculo de la masa del tambor motriz, se hace uso de un software CAD, considerando que el material del tambor motriz es de Acero AISI 1020, como se muestra en la Figura 35.



**Figura 35.** Tambor motriz

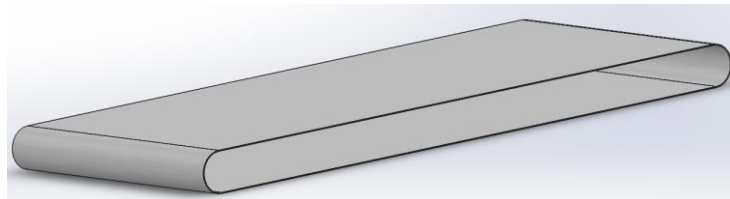
Con ayuda del software se determina que el valor de la masa es cual es de 354.41 g, entonces:

$$m_T = 354.41 \text{ g}$$

- Masa de la banda ( $m_b$ )

Para determinar la masa de la banda ( $m_b$ ) se hace uso de un software CAD, para basarnos en las especificaciones comerciales de material, espesor y tipo de perfil.

El perfil será liso, de poliuretano y con un espesor de 2 mm como se muestra en la Figura 36.



**Figura 36.** Banda transportadora

Donde la masa de la banda es de 435.67 g, entonces:

$$m_b = 435.67 \text{ g}$$

- **Determinación de los parámetros de  $\mu_T$ ,  $\mu_R$  y  $\mu_{ST}$**
- Coeficiente de fricción para marcha sobre la mesa ( $\mu_T$ )

En la determinación del coeficiente de fricción para marcha sobre la mesa ( $\mu_T$ ) se toma en cuenta las características de los materiales que van a estar en contacto, los cuales son acero por parte del soporte de la banda transportadora y poliuretano, el cual es el material de la cinta transportadora

Para obtener este coeficiente de fricción se realiza un análisis de las propiedades mecánicas del poliuretano, las cuales se extrajeron de la Figura 37.

PROPIEDADES MECANICAS A 23°C	UNIDAD	ASTM	DIN	VALORES
PESO ESPECIFICO	gr/cm <sup>3</sup>	D-792	53479	1.15
RESIST. A A LA TRACC.(FLUENCIA / ROTURA)	Kg/cm <sup>2</sup>	D-638	53455	130 / --
RES. A LA COMPRESION ( 1 Y 2 % DEF)	Kg/cm <sup>2</sup>	D-695	53454	2.5 / 4.3
RESISTENCIA A LA FLEXION	Kg/cm <sup>2</sup>	D-790	53452	--
RES. AL CHOQUE SIN ENTALLA	Kg.cm/cm <sup>2</sup>	D-256	53453	NO ROMPE
ALARGAMIENTO A LA ROTURA	%	D-638	53455	90
MODULO DE ELASTICIDAD (TRACCION)	Kg/cm <sup>2</sup>	D-638	53457	120
DUREZA	Shore D	D-2240	53505	48 (95 A)
COEF. DE ROCE ESTATICO S/ACERO		D-1894		0.5 A 0.6
COEF. DE ROCE DINAMICO S/ACERO		D-1894		--
RES. AL DESGASTE POR ROCE				BUENA

**Figura 37.** Propiedades mecánicas del poliuretano

Fuente: (Industrias JQ, 2016)

A partir de la tabla analizada se determina que el valor del coeficiente de fricción para marcha sobre la mesa ( $\mu_T$ ) es 0.55, entonces:

$$\mu_T = 0.55$$

- Coeficiente de fricción para marcha sobre rodillo ( $\mu_R$ )

Para la determinación del coeficiente de fricción sobre rodillo se realiza un análisis de las condiciones que van a actuar sobre dos materiales los cuales en este caso son poliuretano y plástico, en la Figura 38 se detallan las condiciones:

	Material de la Ventosa	Material de la Superficie	Coef. min.	Coef. máx.	Coef. típico
1	Silicona	Plástico	0.3	0.6	0.45
2	Silicona	Goma dura	0.45	0.7	0.6
3	Silicona	Aglomerado	0.4	0.65	
4	Silicona	Cartón	0.4	0.65	0.5
5	Silicona	Papel de lija 120	0.55	0.9	
6	Poliuretano	Plástico	0.55	0.8	0.65
7	Poliuretano	Goma dura	0.85	1.25	1
8	Poliuretano	Aglomerado	0.55	0.8	
9	Poliuretano	Cartón	0.45	1	0.7
10	Poliuretano	Papel de lija 120	0.7	1.2	

**Figura 38.** Coeficiente de fricción entre poliuretano y plástico  
Fuente: (Zabala & Alvarado, 2008)

A partir de la tabla analizada se determina que el coeficiente de fricción para marcha sobre rodillo ( $\mu_R$ ) es 0.65, entonces:

$$\mu_R = 0.65$$

- Coeficiente de fricción para acumulación ( $\mu_{ST}$ )

El coeficiente de fricción para acumulación se considera que la banda transportadora no es estacionaria, ya que va a estar en constante movimiento, por lo que este coeficiente es nulo.

$$\mu_{ST} = 0$$

Reemplazando los datos obtenidos en la Ecuación 1 se tiene:

$$Fu = u_T \cdot g \cdot \left(m + \frac{m_b}{2}\right) + u_R \cdot g \cdot \left(\frac{m_b}{2} + m_R\right) + u_{ST} \cdot g \cdot m$$

$$Fu = (0.55) \cdot (9.81 \frac{m}{s^2}) \cdot (3600 g + \frac{435.67 g}{2}) + (0.65) \cdot (9.81 \frac{m}{s^2}) \cdot (\frac{435.67 g}{2} + 597.03 g) + (0) \cdot (9.81 \frac{m}{s^2}) \cdot (3600 g)$$

$$Fu = (5.3955 \frac{m}{s^2}) (3817.835 g) + (6.3765 \frac{m}{s^2}) (814.865 g)$$

$$Fu = (5.3955 \frac{m}{s^2}) (3.817835 kg) + (6.3765 \frac{m}{s^2}) (0.814865 kg)$$

$$Fu = 25.795 N$$

- **Cálculo de la Fuerza de tracción máxima de la banda**

$$F1 = Fu \cdot c1$$

**Ec. 4**

Donde:

- $Fu$  = Fuerza tangencial de la banda
- $c1$  = Factor para el tambor motriz

Debido al recubrimiento del eje de acero, con un cilindro de poliuretano que actúa como forro de fricción, se selecciona el tipo NOVO, como se observa en la Figura 39, además el ángulo de contacto es  $180^\circ$ .

Recubrimiento de la cara inferior Siegling Transilon	0, U0, NOVO, E0, A0, T, P			TX0 (AmpMiser)		
Ángulo de contacto $\beta$	180°	210°	240°	180°	210°	240°
<b>Tambor de acero liso</b>						
Seco	2,1	1,9	1,7	2,9	2,6	2,3
Mojado	No recomendable			No recomendable		
<b>Tambor con forro de fricción</b>						
Seco	1,5	1,4	1,3	1,8	1,6	1,5
Mojado	2,1	1,9	1,7	No recomendable		

**Figura 39.** Selección del factor C1

Fuente: (Siegling Transilon, 2017)



Entonces el valor de  $c1=15$ , y reemplazando los datos en la Ecuación 4 se tiene:

$$F1 = Fu \cdot c1$$

$$F1 = (25.795 \text{ N}) * (1.5)$$

$$F1 = 38.6925 \text{ N}$$

- **Cálculo de la velocidad de la banda transportadora**

Es necesario determinar el número máximo de frutas que van a ser transportadas a lo largo de la cinta transportadora.

$$n = \frac{L}{D} \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

- $L$  = Longitud de la banda: 0.5 m
- $D$  = Diámetro de la fruta más grande: 8 cm
- $n$  = Número de frutas que pueden ser transportadas

Reemplazando los datos en la Ecuación 5 se tiene:

$$n = \frac{L}{D}$$

$$n = \frac{0.5 \text{ m}}{0.08 \text{ m}}$$

$$n = 6$$

En 1 min se tendrán 6 frutas a lo largo de la banda transportadora de 0.5 metros de longitud. Se aplica la siguiente expresión, para el cálculo de la velocidad lineal de la banda transportadora

$$v = n \times L \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

- $n$  = Número de frutas que pasan por la banda en un minuto
- $L$  = Longitud de la banda: 0.5 m
- $v$  = Velocidad de la banda

Reemplazando los datos en la Ecuación 6 se tiene:

$$v = n \times L$$

$$v = \left(0.1 \frac{\text{frutas}}{s}\right) \times 0.5m$$

$$v = 0.05 \frac{m}{s} + 30\%(\text{eficiencia})$$

$$v = 0.065 \frac{m}{s}$$

- **Cálculo de la holgura de la banda**

La holgura corresponde al espacio libre a mantenerse en los costados de la cinta transportadora para impedir que las frutas sobresalgan.

$$c = 0.055(B + 0.9) \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

- $c$  = Holgura de la banda (pulg)

- $B$  = Ancho de la banda (pulg) el cual es de 10.6299 pulg

Reemplazando en la Ecuación 7 se tiene:

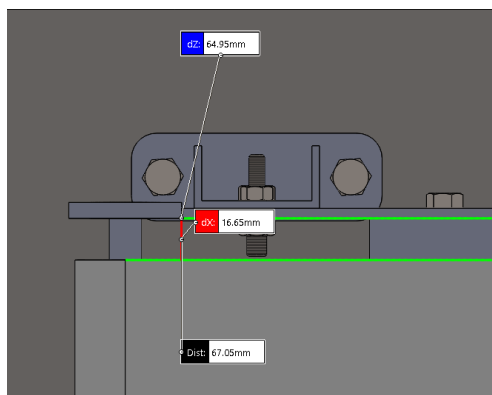
$$c = 0.055(B + 0.9)$$

$$c = 0.055(10.6299 \text{ pulg} + 0.9)$$

$$c = 0.634 \text{ pulg}$$

$$c = 16.10614 \text{ mm}$$

La medida se puede verificar en el diseño CAD de la Figura 40, la cual es de 16.65 mm



**Figura 40.** Holgura de la banda transportadora

- **Cálculo del volumen sobre la cinta completamente cargada ( $V_c$ )**

$$V_c = L \times A \times n$$

**Ec. 8**

Donde:

- $L$  = Longitud entre rodillos de la banda
- $A$  = Área del material a transportar
- $n$  = Número de frutas que van a estar en la banda

Reemplazando en la Ecuación 8 se tiene:

$$V_c = L \times A \times n$$

$$V_c = (0.5 \text{ m}) \times (6.4 \text{ m}^2) \times (18)$$

$$V_c = 57.6 \text{ m}^3$$

#### 3.4.4. Diseño del sistema mecánico

- **Cálculo para determinar la capacidad de carga**

La capacidad de la carga viene dada por la masa de la fruta que soporta la banda 200 g y la longitud 8 cm

$$\text{Capacidad} = \frac{\text{Masa de fruta}}{\text{Longitud}} \quad \text{Ec. 9}$$

Reemplazando en la Ecuación 9 se tiene:

$$\text{Capacidad} = \frac{0.2 \text{ kg}}{0.08 \text{ m}}$$

$$\text{Capacidad} = \frac{2.5 \text{ kg}}{\text{m}} \times \frac{2.2046 \text{ lb}}{1 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ m}}{3.28 \text{ pie}}$$

$$\text{Capacidad} = 1.68033 \frac{\text{lb}}{\text{pie}}$$

- **Cálculo para determinar la Potencia ideal del Motor**

Para determinar la potencia del motor necesario se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Potencia} = \frac{(W+w) \times (u_T) \times (v)}{33000} \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

- $W$  = Peso de la carga (lb)
- $w$  = Peso de la banda (lb)
- $u_T$  = Coeficiente de fricción de la banda con la mesa ( $u_T = 0.55$ )
- $v$  = Velocidad lineal de la banda ( $\frac{pie}{min}$ )

Es necesario transformar las unidades al sistema inglés, debido a la utilización de la Ecuación 10, la cual está normalizada a este sistema de unidades.

$$W = 3.6kg$$

$$W = 3.6 kg \times \frac{2.20462 lb}{1kg}$$

$$W = 7.9366 lb$$

$$w = 435.67 g \times \frac{0.0022046 lb}{1 gr}$$

$$w = 0.9604 lb$$

$$v = 0.065 \frac{m}{seg} \times \frac{3.28 pie}{1m} \times \frac{60 seg}{1min}$$

$$v = 12.792 \frac{pie}{min}$$

Reemplazando en la Ecuación 10 se tiene:

$$Potencia = \frac{(W + w) \times (u_T) \times (v)}{33000}$$

$$Potencia = \frac{(7.9366 \text{ lb} + 0.9604 \text{ lb}) \times (0.55) \times (12.792 \frac{\text{pie}}{\text{min}})}{33000}$$

$$Potencia = 1.8968e^{-3} \text{ HP} \times (1.5 \text{ factor de servicio})$$

$$Potencia \text{ ideal} = 2.845e^{-3} \text{ HP} \approx 2.11 \text{ W}$$

- **Potencia del tambor motriz ( $P_A$ )**

Para la determinación de la potencia motriz se hace uso de la siguiente ecuación:

$$P_A = \frac{F_u \times v}{1000} \quad \text{Ec. 11}$$

Donde:

- $F_u$  = Fuerza tangencial de la banda
- $v$  = Velocidad lineal de la banda ( $\frac{m}{s}$ )

Reemplazando en la Ecuación 11 se tiene:

$$P_A = \frac{25.795 \text{ N} \times 0.065 \frac{m}{s}}{1000}$$

$$P_A = \frac{25.795 \text{ N} \times 0.065 \frac{m}{s}}{1000}$$

$$P_A = 1.676 \text{ W}$$

### 3.4.5. Diseño del sistema de transmisión

Según el motor seleccionado se tienen los siguientes datos:

- Velocidad angular del motor:

$$n_1 = 70 \text{ r.p.m.} \times \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}}$$

$$n_1 = 439.82 \frac{\text{rad}}{\text{min}}$$

- Potencia del motor:

$$P_1 = 15 \text{ W}$$

- Velocidad de la banda:

$$v_b = 12.792 \frac{\text{pie}}{\text{min}}$$

- Diámetro de la polea acoplada al eje motriz:

$$D_2 = 1.45 \text{ pulg}$$

- **Cálculo de la velocidad del eje**

Se calcula la velocidad ( $n_2$ ) necesaria para obtener la velocidad requerida

$$v_b = \frac{\pi \times D_2 \times n_2}{12} \left( \frac{\text{pie}}{\text{min}} \right)$$

**Ec. 12**

Reemplazando los datos en la Ecuación 12 se tiene:

$$n_2 = \frac{12 \times 12.792 \frac{\text{pie}}{\text{min}}}{\pi \times 1.45 \text{ in}}$$

$$n_2 = 33.69 \frac{\text{rev}}{\text{min}}$$

- **Cálculo del diámetro de la polea (D1) acoplada al motor**

$$D_1 \times n_1 = D_2 \times n_2$$

$$D1 = \frac{D2 \times n_2}{n_1} \quad \text{Ec. 13}$$

Reemplazando en la Ecuación 13 se tiene:

$$D1 = \frac{1.45 \text{ in} \times 33.69 \frac{\text{rev}}{\text{min}}}{\frac{\text{rev}}{\text{min}}}$$

$$D1 = 0.68 \text{ pulg}$$

- **Cálculo de la distancia entre centros tentativa**

$$D2 < C < 3(D2 + D1) \quad \text{Ec. 14}$$

Reemplazando en la Ecuación 14 se tiene:

$$1.45 \text{ pulg} < C < 3(1.45 \text{ pulg} + 0.68 \text{ pulg})$$

$$1.45 \text{ pulg} < C < 6.39 \text{ pulg}$$

Con la intención de conservar espacio, se elige un  $C = 2 \text{ pulg}$

- **Cálculo de la longitud de la banda**

$$L = 2C + 1.57(D2 + D1) + \frac{(D2 - D1)^2}{4C} \quad \text{Ec. 15}$$

Reemplazando en la Ecuación 15 se tiene:

$$L = 2(2 \text{ pulg}) + 1.57(1.45 \text{ pulg} + 0.68 \text{ pulg}) + \frac{(1.45 \text{ pulg} - 0.68 \text{ pulg})^2}{4(2 \text{ pulg})}$$

$$L = 7.42 \text{ pulg}$$



Aproximando la longitud a 15 in, se obtiene la siguiente distancia entre centros real

$$B = 4L - 6.28(D2 + D1) \quad \text{Ec. 16}$$

$$B = 4(7.42 \text{ pulg}) - 6.28(1.45 \text{ pulg} + 0.68 \text{ pulg})$$

$$B = 16.30 \text{ pulg}$$

Reemplazando el valor de B en la Ecuación 17 se tiene:

$$C = \frac{B + \sqrt{B^2 - 32(D2 - D1)^2}}{16} \quad \text{Ec. 17}$$

$$C = \frac{16.30 \text{ pulg} + \sqrt{(16.30 \text{ pulg})^2 - 32(1.45 \text{ pulg} - 0.68 \text{ pulg})^2}}{16}$$

$$C = 2 \text{ pulg}$$

- **Cálculo del ángulo de contacto de la banda en la polea menor**

$$\theta = 180^\circ - 2 \sin^{-1} \left[ \frac{D2 - D1}{2C} \right] \quad \text{Ec. 18}$$

Reemplazando los datos obtenidos en la Ecuación 18 se tiene:

$$\theta = 180^\circ - 2 \sin^{-1} \left[ \frac{1.45 \text{ pulg} - 0.68 \text{ pulg}}{2(2)} \right]$$

$$\theta = 157.8^\circ$$

### 3.4.6. Diseño del eje de transmisión

Para realizar un diseño seguro, y que el material no falle se deben tomar en cuenta 3 condiciones:

- No debe fallar por fractura

$$\tau_{Calculado} < \tau_{Recomendado} \quad \text{Ec. 19}$$

$$n_{Calculado} > n_{Recomendado} \quad \text{Ec. 20}$$

- La flexión no debe de ser excesiva

$$\gamma_{Calculado} < \gamma_{Recomendado} \quad \text{Ec. 21}$$

- No debe existir inestabilidad elástica (Solo compresión, con cargas axiales)

$$F < P_{admisibile}$$

## ANÁLISIS ESTÁTICO

- **Cálculo de reacciones en el eje**

Cálculo de esfuerzos en el eje ocasionado por la carga de las frutas

$$W_{FRUTAS} = m_{FRUTAS} \times g \quad \text{Ec. 22}$$

Donde:

- $m_{FRUTAS}$  = Masa total de las frutas en la banda: 3.6 kg
- $g$  = Valor de la gravedad:  $9.81 \frac{m}{s^2}$
- $W_{FRUTAS}$  = Peso total de las frutas

Reemplazando en la Ecuación 22 se tiene:

$$W_{FRUTAS} = m_{FRUTAS} \times g$$

$$W_{FRUTAS} = 3.6 \text{ kg} \times 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$W_{FRUTAS} = 35.316 \text{ N}$$

- **Cálculo de la carga distribuida**

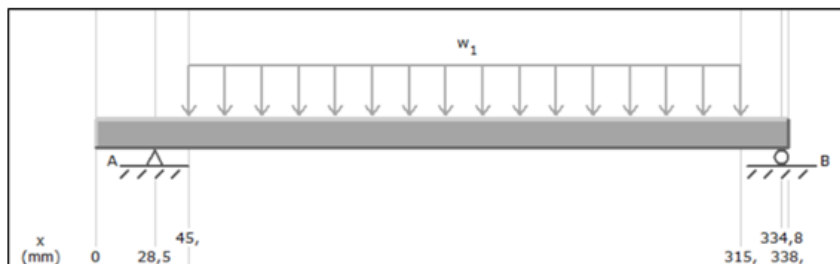
Carga distribuida en el eje motriz de la banda transportadora.

$$q_{FRUTAS} = \frac{W_{FRUTAS}}{d} \quad \text{Ec. 23}$$

Donde:

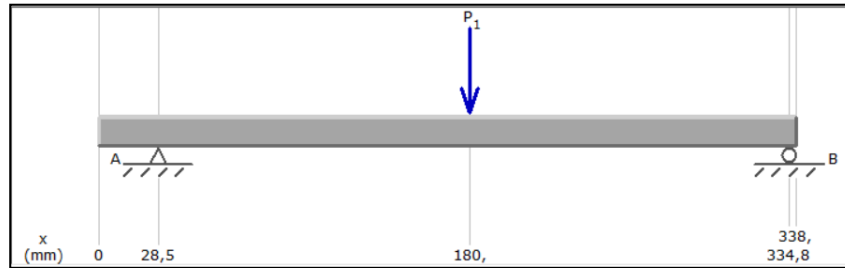
- $q_{FRUTAS}$  = Carga distribuida ocasionada por el peso de las frutas
- $W_{FRUTAS}$  = Peso total de las frutas
- $d$  = Ancho de la banda

Reemplazando en la Ecuación 23 se tiene  $q_{FRUTAS} = 130.8 \frac{N}{m}$ , lo que se ingresa al software de análisis y se obtiene la Figura 41.



**Figura 41.** Carga distribuida en el eje motriz

Para facilitar los cálculos se transforma la carga distribuida a una carga puntual, multiplicando la carga distribuida por el ancho de la banda, como se observa en la Figura 42.



**Figura 42.** Carga puntal sobre el eje motriz

Aplicando las condiciones de equilibrio, se realiza la sumatoria de fuerzas en el eje y considerando las fuerzas hacia arriba como positivas:

$$\sum F_y = 0 \quad \text{Ec. 24}$$

Desarrollando la Ecuación 24 se tiene:

$$R_A + R_B - P_1 = 0$$

$$R_A = P_1 - R_B$$

Se realiza la sumatoria de momentos en el punto A, considerando los momentos antihorarios como positivos.

$$\sum M_A = 0 \quad \text{Ec. 25}$$

Desarrollando la Ecuación 25 se tiene:

$$-P_1(151.5 \text{ mm}) + R_B(306.3 \text{ mm}) = 0$$

$$-(35.316 \text{ N})(151.5 \text{ mm}) + R_B(306.3 \text{ mm}) = 0$$

$$R_B = 17.467 \text{ N}$$

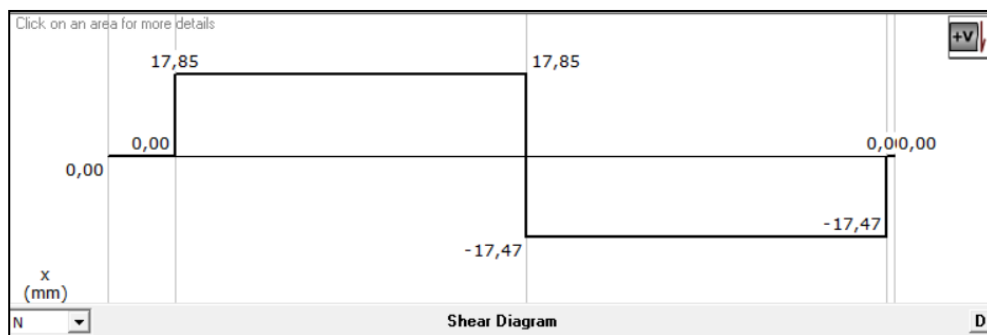
Reemplazando \$R\_B\$ en la Ecuación 24 se tiene:

$$R_A = 35.316 \text{ N} - 17.467 \text{ N}$$

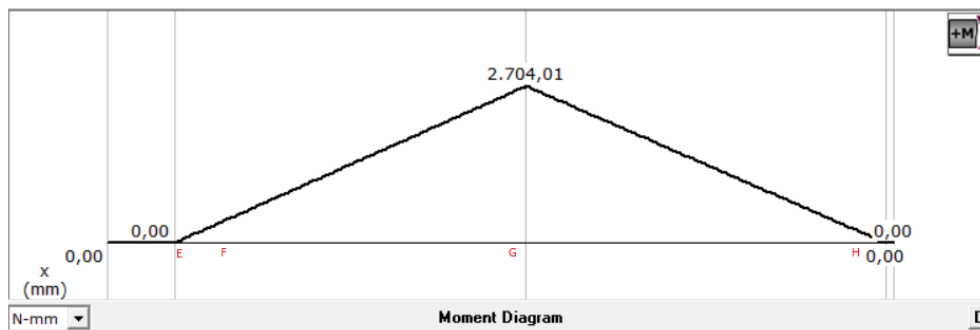
$$R_A = 17.848 \text{ N}$$

- **Diagramas de Fuerzas Cortantes y Momentos flectores**

Se realizan los diagramas de Fuerzas Cortantes y Momentos flectores que se muestran en las Figuras 43 y 44 respectivamente.



**Figura 43.** Diagrama de fuerzas cortantes



**Figura 44.** Diagrama de momentos flectores

Se determinan los valores de los momentos en cada punto de interés

$$M_E = 0$$

$$M_F = \frac{2704.01 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 16.5 \text{ mm}}{151.5 \text{ mm}}$$

$$M_F = 294.49 \frac{N}{mm^2}$$

$$M_G = 2704.01 \frac{N}{mm^2}$$

$$M_H = \frac{2704.01 \frac{N}{mm^2} \times 19.8 \text{ mm}}{154.8 \text{ mm}}$$

$$M_H = 345.86 \frac{N}{mm^2}$$

- **Cálculo del momento de inercia total**

Para el cálculo del momento de inercia total, se determinan los momentos de inercia en cada sección.

$$I = \frac{\pi D^4}{64} \quad \text{Ec. 26}$$

$$I_1 = \frac{\pi(12.7 \text{ mm})^4}{64}$$

$$I_1 = 1276.982 \text{ mm}^4$$

$$I_2 = \frac{\pi(38.1 \text{ mm})^4}{64}$$

$$I_2 = 103435.54 \text{ mm}^4$$

Se realiza la suma de los momentos de inercia en cada sección con la ayuda de la Ecuación 27, y se obtiene el momento de inercia total.

$$I_T = I_1 + I_2 \quad \text{Ec. 27}$$

$$I_T = 1276.982 \text{ mm}^4 + 103435.54 \text{ mm}^4$$

$$I_T = 104712.53 \text{ mm}^4$$

- **Cálculo del diagrama M/EI**

Datos:

- Según Mott (2009) en el apéndice A-16 el módulo de elasticidad del acero A36:

$$E = 200 \text{ Gpas} = \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Se realizan los cálculos de  $\frac{M_E}{EI_1}$  en los puntos de interés del eje, reemplazando valores en la

Ecuación 28:

$$\frac{M_E}{EI_1} \quad \text{Ec. 28}$$

$$\frac{M_E}{EI_1} = \frac{0}{2e^5 \frac{N}{\text{mm}^2} \times 1276.982 \text{ mm}^4}$$

$$\frac{M_E}{EI_1} = 0$$

$$\frac{M_F}{EI_1} = \frac{294.49 \frac{N}{\text{mm}^2}}{2e^5 \frac{N}{\text{mm}^2} \times 1276.982 \text{ mm}^4}$$

$$\frac{M_F}{EI_1} = 1.15e^{-6} \text{ mm}^{-1}$$

$$\frac{M_F}{EI_2} = \frac{294.49 \frac{N}{mm^2}}{2e^5 \frac{N}{mm^2} \times 103435.54 mm^4}$$

$$\frac{M_F}{EI_2} = 1.42e^{-8} mm^{-1}$$

$$\frac{M_G}{EI_2} = \frac{2704.01 \frac{N}{mm^2}}{2e^5 \frac{N}{mm^2} \times 103435.54 mm^4}$$

$$\frac{M_G}{EI_1} = 1.30e^{-7} mm^{-1}$$

$$\frac{M_H}{EI_1} = \frac{345.86 \frac{N}{mm^2}}{2e^5 \frac{N}{mm^2} \times 1276.982 mm^4}$$

$$\frac{M_F}{EI_1} = 1.35e^{-6} mm^{-1}$$

$$\frac{M_H}{EI_2} = \frac{345.86 \frac{N}{mm^2}}{2e^5 \frac{N}{mm^2} \times 103435.54 mm^4}$$

$$\frac{M_F}{EI_2} = 1.67 e^{-8} mm^{-1}$$

- **Cálculo de la flexión máxima**

Para calcular la flexión máxima en el punto crítico de G se utilizan las Ecuaciones 29 y 30:

$$\gamma_{G1} = \sum A \cdot \bar{x} \quad \text{Ec. 29}$$

$$\gamma_{G2} = \sum A \cdot \bar{x} \quad \text{Ec. 30}$$



Cálculo de las Áreas

$$A_1 = \frac{16.5 \text{ mm} \times 1.15e^{-6} \text{ mm}^{-1}}{2}$$

$$A_1 = 9.48e^{-6}$$

$$A_2 = 135 \text{ mm} \times 1.42e^{-8} \text{ mm}^{-1}$$

$$A_2 = 1.917e^{-6}$$

$$A_3 = \frac{135 \text{ mm} \times 1.158e^{-7} \text{ mm}^{-1}}{2}$$

$$A_3 = 7.81e^{-6}$$

$$A_4 = 135 \text{ mm} \times 1.67e^{-7} \text{ mm}^{-1}$$

$$A_4 = 2.25e^{-5}$$

$$A_5 = \frac{135 \text{ mm} \times 1.133e^{-7} \text{ mm}^{-1}}{2}$$

$$A_5 = 7.64e^{-6}$$

$$A_6 = \frac{19.8 \text{ mm} \times 1.35e^{-6} \text{ mm}^{-1}}{2}$$

$$A_6 = 1.33e^{-5}$$

Cálculo de los  $\bar{x}$

$$\bar{x}_1 = \frac{2}{3} \times 16.5 \text{ mm}$$

$$\bar{x}_1 = 11 \text{ mm}$$

$$\bar{x}_2 = 16.5 \text{ mm} + 67.5 \text{ mm}$$

$$\bar{x}_2 = 84 \text{ mm}$$

$$\bar{x}_3 = 16.5 \text{ mm} + \frac{2}{3} \times 67.5 \text{ mm}$$

$$\bar{x}_3 = 61.5 \text{ mm}$$

$$\bar{x}_4 = 19.8 \text{ mm} + 67.5 \text{ mm}$$

$$\bar{x}_4 = 87.3 \text{ mm}$$

$$\bar{x}_5 = 19.8 \text{ mm} + \frac{2}{3} \times 67.5 \text{ mm}$$

$$\bar{x}_5 = 64.8 \text{ mm}$$

$$\bar{x}_6 = \frac{2}{3} \times 19.8 \text{ mm}$$

$$\bar{x}_6 = 13.2 \text{ mm}$$

Reemplazando los datos en la Ecuación 29 se tiene:

$$\gamma_{G1} = A_1 \times \bar{x}_1 + A_2 \times \bar{x}_2 + A_3 \times \bar{x}_3$$

$$\gamma_{G1} = 9.48e^{-6} \times 11 \text{ mm} + 1.917e^{-6} \times 84 \text{ mm} + 7.81e^{-6} \times 61.5 \text{ mm}$$

$$\gamma_{G1} = 0.745e^{-3} \text{ mm}$$

Reemplazando los datos en la Ecuación 30 se tiene:

$$\gamma_{G2} = A_4 \times \bar{x}_4 + A_5 \times \bar{x}_5 + A_6 \times \bar{x}_6$$

$$\gamma_{G2} = 2.25e^{-5} \times 87.3 \text{ mm} + 7.64e^{-6} \times 64.8 \text{ mm} + 1.33e^{-5} \times 13.2 \text{ mm}$$

$$\gamma_{G2} = 2.63e^{-3} \text{ mm}$$

Considerando la 2da condición de diseño, se comparan las flexiones con las recomendadas:

$$\gamma_{Recomendado} = \frac{L}{360} \quad \text{Ec. 31}$$

Donde:

- L es la distancia total del eje, entre apoyo y apoyo ( $L = 306.3 \text{ mm}$ )

Reemplazando datos en la Ecuación 31 se tiene:

$$\gamma_{Recomendado} = \frac{306.3 \text{ mm}}{360}$$

$$\gamma_{Recomendado} = 0.85 \text{ mm}$$

Analizando los valores en la Ecuación 21 se tiene:

$$\gamma_{Calculado} < \gamma_{Recomendado}$$

$$2.63e^{-3} \text{ mm} < 0.85 \text{ mm}$$

Se concluye que el diseño es seguro, ya que cumple con la condición establecida.

## ANÁLISIS DINÁMICO

Para el análisis dinámico del eje, se establecen los siguientes datos iniciales:

- Material: Acero A36, de lo cual podemos determinar la Resistencia a la Fluencia ( $S_y = 248MPa$ )
- Diámetro  $D= 12.7$  mm
- Potencia  $P= 15$  W
- Velocidad del eje  $n= 19.544 \frac{rev}{min}$
- Carga puntual  $F_{frutas} = 35.316$  N
- Radio de la polea  $r = 1.25$  in = 0.03175 m
- **Cálculo del Torque**

Para determinar el torque necesario en el eje de transmisión, se hace uso de la Ecuación 32:

$$T = \frac{P}{n} \quad \text{Ec. 32}$$

Donde:

- $P$  = Potencia del motor
- $n$  = Velocidad lineal de la banda
- $T$  = Torque en el eje de transmisión

Reemplazando los datos en la Ecuación 32 se tiene:

$$T = \frac{15 \text{ W}}{19.544 \frac{rev}{min}} \times \frac{1J}{1W \cdot seg} \times \frac{1N \cdot m}{J} \times \frac{60seg}{1min} \times \frac{1rev}{2\pi rad}$$

$$T = 7.32 \text{ N} \cdot m$$

- **Cálculo de la Fuerza en la polea**

Para determinar la fuerza tangencial en la polea, se aplica la Ecuación 33

$$F_1 = \frac{T}{r} \quad \text{Ec. 33}$$

Donde:

- T = Torque en el eje de transmisión
- r = Radio de la polea
- $F_1$  = Fuerza tangencial en la polea

Reemplazando en la Ecuación 33 se tiene:

$$F_1 = \frac{7.32 \text{ N.m}}{0.03175 \text{ m}}$$

$$F_1 = 230.55 \text{ N}$$

- **Aplicación de las condiciones de equilibrio**

Para el cálculo de las reacciones, se realiza la sumatoria de momentos en el punto B, considerando los momentos antihorarios como positivos:

$$\sum M_B = 0 \quad \text{Ec. 34}$$

Reemplazando datos en la Ecuación 34 se tiene:

$$F_1 \times 19.8 \text{ mm} - F_{frutas} \times 151.5 \text{ mm} + R_D \times 306 \text{ mm} = 0$$

$$230.55 \text{ N} \times 19.8 \text{ mm} - 35.316 \text{ N} \times 151.5 \text{ mm} + R_D \times 306 \text{ mm} = 0$$

$$R_D = 2.567 \text{ N}$$

Realizando sumatoria de fuerzas en y, considerando las fuerzas hacia arriba como positivas:

$$\sum F_y = 0 \quad \text{Ec. 35}$$

Sustituyendo datos en la Ecuación 35 se tiene:

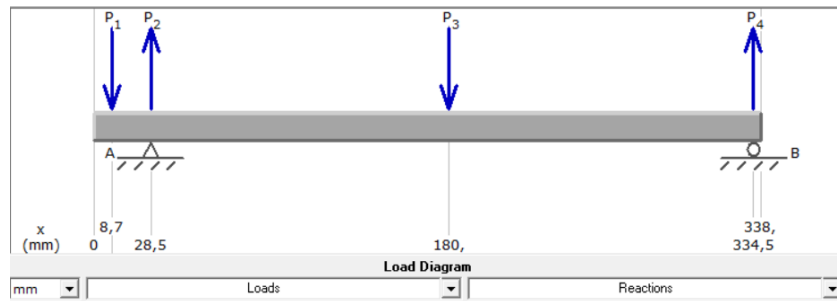
$$-F_1 + R_A - F_{frutas} + R_D = 0$$

$$-230.55 \text{ N} + R_A - 35.316 \text{ N} + 2.567 \text{ N} = 0$$

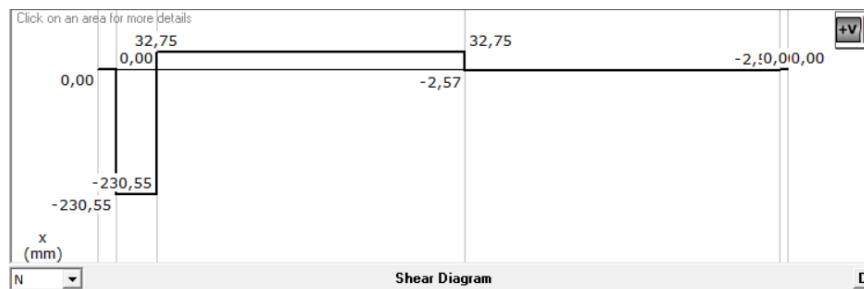
$$R_A = 236.299 \text{ N}$$

- **Diagramas de Fuerzas Cortantes y Momentos flectores**

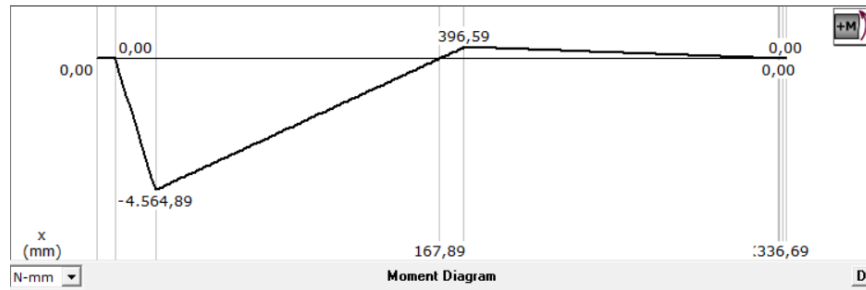
Con los datos obtenidos se grafican los diagramas de Fuerzas cortantes y momentos flectores que actúan sobre el eje, como se muestra en la Figura 45, además se muestran los diagramas de fuerzas cortantes y momentos flectores en las Figuras 46 y 47 respectivamente.



**Figura 45.** Diagrama de cuerpo libre



**Figura 46.** Diagrama de fuerzas cortantes



**Figura 47.** Diagrama de momentos flectores

- **Cálculo del esfuerzo cortante máximo**

Según la teoría del esfuerzo cortante máximo

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{k_T \times T_e}{Z_p} \quad \text{Ec. 36}$$

Donde:

- $k_T$  = Concentración de esfuerzos
- $T_e$  = Torque equivalente
- $Z_p$  = Módulo de sección polar

El valor de  $k_T$  se extrae del Apéndice A-22 del libro de Mott (2009)

$$k_T = 2$$

Para determinar el torque equivalente se aplica la Ecuación 37.

$$T_e = \sqrt{M_{m\acute{a}x}^2 + T^2} \quad \text{Ec. 37}$$

Donde:

- $M_{m\acute{a}x}$  se determina con el diagrama de momentos flectores, el cual es de  $M_{m\acute{a}x} = 4.564 N.m$
- $T_e =$  Torque equivalente
- $T =$  Torque en el eje de transmisi3n

Reemplazando datos en la Ecuaci3n 37 se tiene:

$$T_e = \sqrt{(4.564 N.m)^2 + (7.32 N.m)^2}$$

$$T_e = 8.622 N.m$$

La ecuaci3n para  $Z_p$  se extrae del Ap3ndice A-1 del libro de Mott (2009)

$$Z_p = \frac{\pi \cdot D^3}{16} \quad \text{Ec. 38}$$

Donde:

- $D =$  Diámetro del eje de transmisi3n

$$Z_p = \frac{\pi \times (0.0127 m)^3}{16}$$

$$Z_p = 4.0219e^{-7} m^3$$

Reemplazando datos en la ecuaci3n 36 se tiene:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{2 \times 8.622 N.m}{4.0219e^{-7} m^3}$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = 42.875 MPa$$



- **Cálculo del factor de seguridad**

$$\tau_d = \tau_{m\acute{a}x} = \frac{S_{sy}}{N} \quad \text{Ec. 39}$$

Donde:

- $S_{sy}$  es el límite de cedencia al corte ( $S_{sy} \cong \frac{S_y}{2}$ )
- $N$  = Factor de seguridad
- $\tau_d$  = Esfuerzo cortante de diseño

Se reemplazan datos en la Ecuación 39 y se despeja N.

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{S_y}{2N}$$

$$N = \frac{S_y}{2 * \tau_{m\acute{a}x}}$$

$$N = \frac{248 \text{ MPa}}{2 * 42.875 \text{ MPa}}$$

$$N = 2.89$$

Analizando los valores en la Ecuación 20 se tiene:

$$n_{\text{Calculado}} > n_{\text{Recomendado}}$$

$$2.89 > 2$$

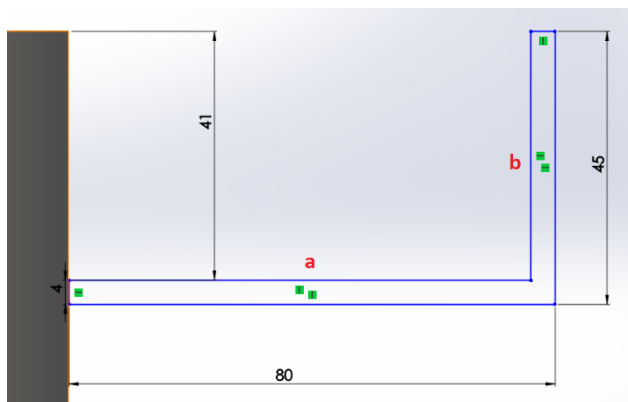
Se concluye que el diseño es seguro, ya que cumple con la condición establecida.

### 3.4.7. Diseño de la tolva

Al ser una tolva en espiral, el volumen que se tiene que calcular es de la espiral, por ende, se deben seleccionar los parámetros adecuados, los cuales son, el área de la rampa y la longitud de la espiral.

- **Cálculo del área de la rampa**

Las dimensiones de la rampa de la espiral se extraen del diseño CAD como se muestra en la Figura 48.



*Figura 48.* Vista lateral de la rampa

El perfil de la rampa se considera como un rectángulo, por lo que el cálculo del área se realiza tomando en cuenta esta característica.

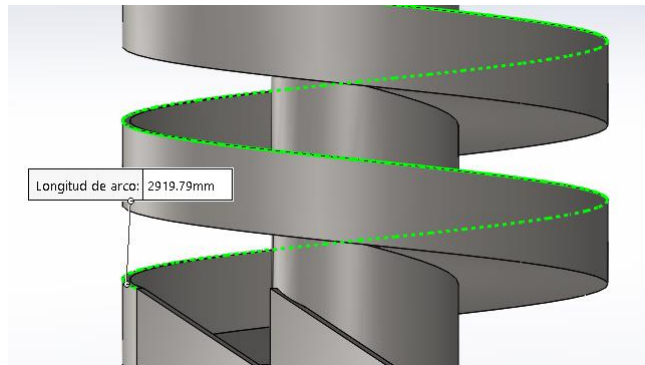
$$A1 = a \times b \quad \text{Ec. 40}$$

$$A1 = 76 \times 41$$

$$A1 = 3116 \text{ mm}^2$$

- **Determinación de la longitud de la espiral**

La longitud de la espiral se obtiene a partir del modelo CAD diseñado del sistema de almacenamiento, como se muestra en la Figura 49.



**Figura 49.** Espiral de la tolva

Por lo tanto, la longitud de espiral es:

$$l1 = 2919.79 \text{ mm}$$

- **Cálculo del volumen de la tolva**

El volumen total de la tolva es la multiplicación entre el área de la rampa, y la longitud de la espiral.

$$V = A1 \times l1 \quad \text{Ec. 41}$$

Donde:

- $A1$ = Área de la rampa
- $l1$ = Longitud de la tolva
- $V$ = Volumen de la tolva

Reemplazando los datos en la Ecuación 41 se tiene:

$$V = 3116 \text{ mm}^2 \times 2919.79 \text{ mm}$$

$$V = 9098065.64 \text{ mm}^3$$

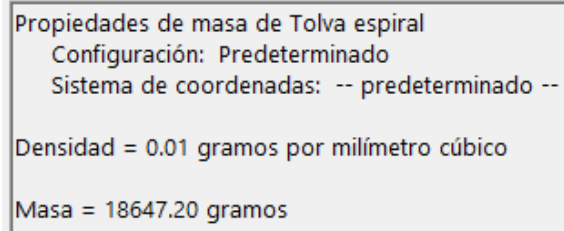
$$V = 9098.065 \text{ cm}^3$$

Finalmente se determina que el volumen de la tolva será de  $9098.065 \text{ cm}^3$ .

- **Diseño del soporte de la tolva**

En el diseño del soporte se toma en cuenta la masa de la tolva vacía extraída del software como se muestra en la Figura 50, más la tolva con las frutas.

Masa de la tolva vacía: 18.6472 kg



**Figura 50.** Características de la tolva vacía

Masa promedio de las frutas: 0.18 kg

Se determina la cantidad de frutas en la tolva por lo que se evalúa el volumen promedio de cada fruta.

$$V_f = \pi \times r_f^3 \quad \text{Ec. 42}$$

Donde:

- $V_f$  = Volumen promedio de una fruta

- $r_f =$  Radio promedio de una fruta,  $r_f = 4\text{cm}$

Reemplazando en la Ecuación 42 se tiene:

$$V_f = \pi \times (4\text{cm})^3$$

$$V_f = 201.61 \text{ cm}^3$$

La relación para determinar la cantidad de frutas dentro de la tolva es

$$x = \frac{V}{V_f} \quad \text{Ec. 43}$$

Donde:

- $V_f =$  Volumen promedio de una fruta
- $V =$  Volumen de la tolva
- $x =$  Relación de cantidad de frutas

Reemplazando en la Ecuación 43 se tiene:

$$x = \frac{9098.065 \text{ cm}^3}{201.61 \text{ cm}^3}$$

$$x = 45.12 \approx 45$$

Por lo tanto, la cantidad promedio de frutas dentro de la tolva es de 45 frutas.

- **Fuerza máxima en la tolva**

Con la cantidad de frutas dentro de la tolva, se procede a determinar el peso de la tolva llena, para lo cual primero se calcula la masa total de las frutas.

$$mf = x \times \text{Masa promedio de las frutas}$$

**Ec. 44**

Donde:

- $mf$  = masa total de las frutas
- $x$  = Relación de cantidad de frutas

Reemplazando en la Ecuación 44 se tiene:

$$mf = 45 \times 0.18 \text{ kg}$$

$$mf = 8.1 \text{ kg}$$

La masa total de las frutas dentro de la tolva es 8.1 kg

Para calcular la masa máxima en la tolva se realiza la adición entre la masa de la tolva vacía con la masa de la cantidad de frutos dentro de la tolva.

$$mt = 18.6472 \text{ kg} + 8.1 \text{ kg}$$

$$mt = 26.7472 \text{ kg}$$

Por lo tanto, el peso máximo que actúa sobre la tolva es:

$$Wt = mt \times g$$

**Ec. 45**

Donde:

- $Wt$  = Peso máximo en la tolva
- $mt$  = Masa máxima en la tolva
- $g$  = Valor de la gravedad

Reemplazando en la Ecuación 45 se tiene:

$$Wt = 26.7472 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$Wt = 262.39 \text{ N}$$

Por lo tanto, al tener un peso de 262.39 N se selecciona un soporte de acero 1020, ya que este brinda un alto grado de confiabilidad y resistencia.

### 3.5. Diseño de la estructura

Para dimensionar la estructura soporte se toma de referencia la banda transportadora ubicada en el Laboratorio de Robótica Industrial, debido a que el diseño es de un prototipo mas no industrial, también es importante tomar en cuenta las limitaciones en el espacio que existen en el Laboratorio de Mecatrónica, debido a que es en ese lugar donde se va a implementar posteriormente.

Las dimensiones de la banda transportadora del Laboratorio de Robótica Industrial son:

- Largo: 1950 mm
- Ancho: 300 mm

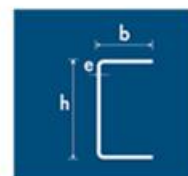
Entonces, se tomarán de referencia el ancho y la mitad del largo, además la altura mínima a la que deben estar los alimentos con respecto al piso es 20 cm, con respecto a las paredes 50 cm, según la Norma NTE INEN 3039 en el punto 4.8 “Almacenamiento y refrigeración”.

Entonces, para cumplir con los aspectos detallados anteriormente, se han planteado las siguientes dimensiones aproximadamente:

- Ancho: 350 mm
- Largo: 700 mm
- Altura: 650 mm

Para la estructura se usa perfil de canal tipo C de la empresa NOVACERO, se detallan las especificaciones del perfil seleccionado en la Figura 51. Además, para la mesa de soporte se usan tubos cuadrados de 50mm x 50mm x2mm de la misma empresa.

Denominación	Dimensiones			Peso		Área
	h	b	e	kg/m	kg/6m	
	mm	mm	mm			cm <sup>2</sup>
CU	50	25	1.50	1.13	6.79	1.35
CU	50	25	2.00	1.47	8.82	1.87
CU	50	25	3.00	2.12	12.72	2.70
CU	80	40	2.00	2.41	14.46	3.07
CU	80	40	3.00	3.54	21.24	4.51
CU	80	40	4.00	4.49	26.94	5.87
CU	100	50	2.00	3.04	18.24	3.87
CU	100	50	3.00	4.48	26.88	5.71
CU	100	50	4.00	5.75	34.47	7.48
CU	125	50	2.00	3.43	20.58	4.37
CU	125	50	3.00	5.07	30.42	6.46
CU	125	50	4.00	6.76	40.56	8.47
CU	150	50	2.00	3.82	22.93	4.87
CU	150	50	3.00	5.66	33.96	7.21



**Figura 51.** Características del perfil en C  
Fuente: (NOVACERO S.A., 2018)

### 3.6. Análisis CAE de la estructura

- Análisis de la mesa

Para analizar la estructura se deben considerar todas las Fuerzas presentes sobre la mesa, las cuales son consideradas en condiciones máximas o extremas:



Peso de la estructura de la tolva junto con el peso máximo de las frutas que pueden estar en la tolva, el cual se calculó anteriormente dándonos un valor de una masa de 18.64 kg

$$W_T = 262.39 N + 18.64 \text{ kg} \times 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$W_T = 445.24 N$$

Peso de la estructura de la banda transportadora juntamente con la estructura del sistema de visión artificial (cámara, soportes, lámpara) y el peso generado por las frutas a su máxima carga que pueden estar en la banda transportadora.

$$W_E = 3.6 \text{ kg} \times 9.81 \frac{m}{s^2} + 19.72 \text{ kg} \times 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$W_E = 228.76 N$$

Peso de las estructuras que soportan al motor, actuador lineal y servomotor.

$$W_S = 0.204 \text{ kg} \times 9.81 \frac{m}{s^2} + 0.733 \text{ kg} \times 9.81 \frac{m}{s^2} + 1.696 \text{ kg} \times 9.81 \frac{m}{s^2} + 0.689 \text{ kg} \times 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$W_S = 32.58 N$$

Peso de las 2 canastas llenas con las frutas.

$$W_C = 16 \text{ kg} \times 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$W_C = 156.96 N$$

Se procede a obtener una sumatoria de todos los pesos haciendo uso de la Ecuación 46, para posteriormente trasladarlo al software CAE para su respectivo análisis.

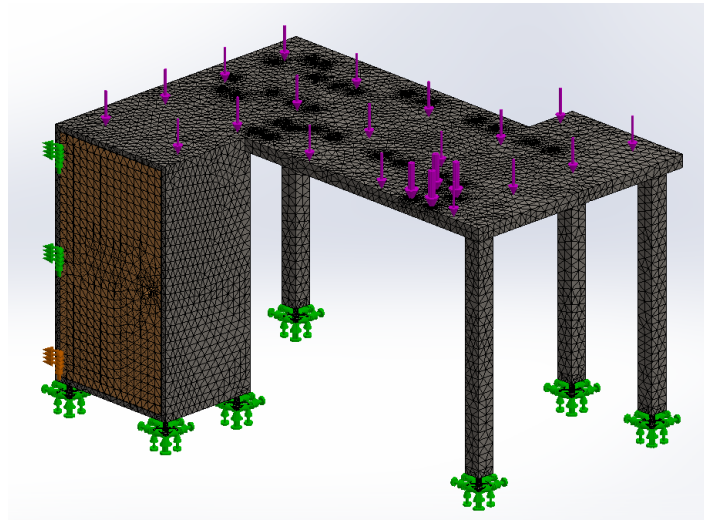
$$W = W_T + W_E + W_S + W_C$$

**Ec. 46**

$$W = 445.24 N + 228.76 N + 32.58 N + 156.96 N$$

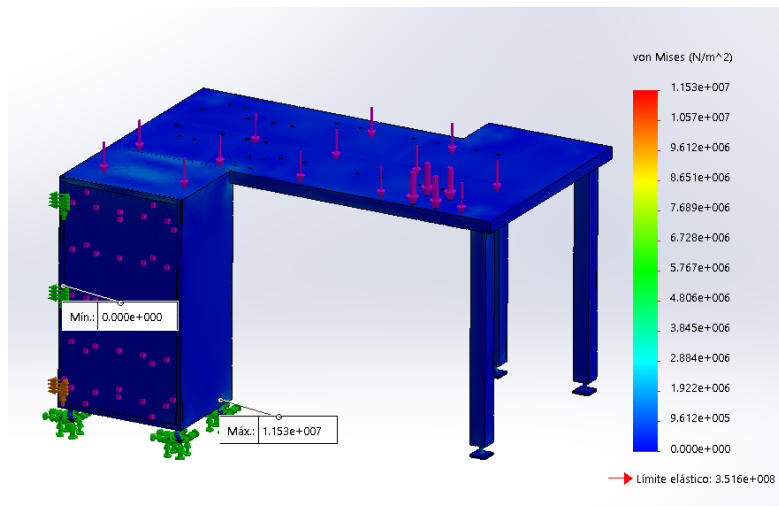
$$W = 863.54 N$$

Luego mediante el software CAE, se genera el estudio en el cual se colocaron las sujeciones fijas y las 2 bisagras que tiene el modelo, también se colocó la carga externa proveniente del resultado de la Ecuación 46 y se generó un mallado fino como se observa en la Figura 52.

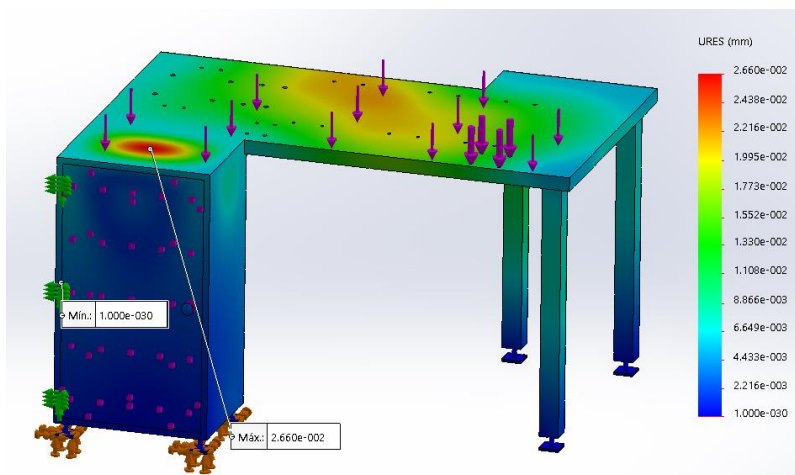


**Figura 52.** Estudio estático aplicado a la mesa de soporte

Posteriormente se generaron los resultados de las tensiones de Von Mises y los desplazamientos máximos como se detallan en las Figuras 53 y 54 respectivamente:



**Figura 53.** Tensión de Von Mises para el análisis de la mesa



**Figura 54.** Desplazamientos para el análisis de la mesa

Como se observa en la Figura 53, el esfuerzo de Von Mises máximo que se obtiene es de  $1.153e^{+7}$  y el límite elástico es de  $3.51e^{+8}$  con lo cual se concluye que el esfuerzo calculado es menor que el esfuerzo recomendado, cumpliendo así la primera condición de diseño descrita en la Ecuación 19.

En la Figura 54 se puede apreciar la deformación máxima, la cual es de  $2.660e^{-2}$  mm la cual es mínima y no ocasiona un fallo en el sistema.

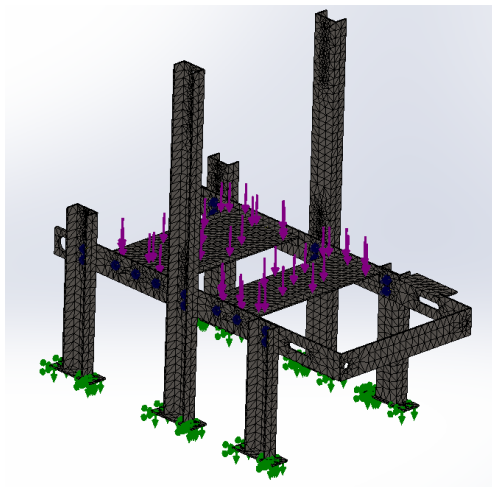
- **Análisis de la estructura de la banda transportadora**

Para analizar la estructura de la banda transportadora es necesario considerar el peso de las frutas que van a estar sobre la cinta transportadora, la cual es de:

$$W_E = 3.6 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

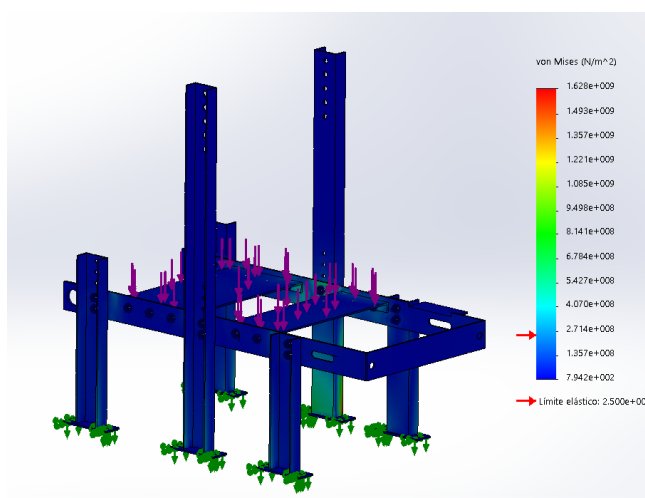
$$W_E = 35.316 \text{ N}$$

Luego mediante el software CAE, se genera el estudio en el cual se colocaron las sujeciones fijas, también se colocó la carga externa proveniente del resultado de la Fuerza que producen las frutas en la cinta de la tolva y se generó un mallado fino, como se observa en la Figura 55.

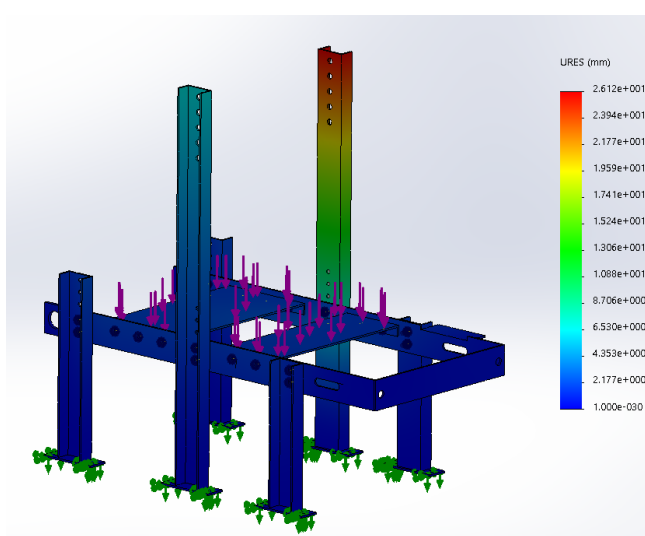


**Figura 55.** Estudio estático aplicado a la estructura de la banda

Posteriormente se generaron los resultados de las tensiones de Von Mises y los desplazamientos máximos como se detallan en las Figuras 56 y 57 respectivamente:



**Figura 56.** Tensión de Von Mises para el análisis de la estructura de la banda



**Figura 57.** Desplazamientos para el análisis de la estructura de la banda

Como se observa en la Figura 56, el límite elástico está dentro de la zona segura del sistema, cumpliendo la primera condición de diseño.

En la Figura 57 se puede apreciar la deformación máxima, en la base de la estructura soporte es de aproximadamente 2 mm, lo que es mínimo y ayuda a concluir que el diseño es seguro.

## CAPÍTULO IV

### IMPLEMENTACIÓN Y PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA

#### 4.1. Construcción del sistema mecánico

La estructura mecánica del sistema fue fabricada en acero estructural A36, a la vez se hizo uso de perfiles de canal tipo C de la empresa NOVACERO detallada en la Figuras 51, para la construcción se siguieron los siguientes pasos:

1. Con el diseño realizado en el software CAD, se construyó la mesa y se realizaron las perforaciones necesarias para ensamblar los soportes del sistema, como se muestra en la Figura 58.



*Figura 58.* Mesa con las perforaciones

2. Se añaden las patas de la mesa y el gabinete, las cuales ayudarán a soportar el peso del sistema, como se observa en la Figura 59.



*Figura 59.* Mesa base

3. Se cortan los perfiles que van a sostener la banda transportadora y se realizan las perforaciones para sujetar las placas que soportan el peso de la fruta y las guías laterales como se muestra en la Figura 60.



**Figura 60.** Perfiles tipo C de la banda transportadora

4. Se pintan las piezas con pintura electroestática la cual ayuda a crear un acabado duro que es más resistente que la pintura convencional, como se muestra en la Figura 61.



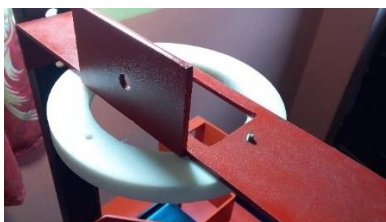
**Figura 61.** Piezas pintadas con pintura electroestática

5. Se construyen las bases de la banda transportadora, para lo cual se utilizan planchas y tubos redondos de 2 in y 2mm de espesor de acero extruido en frío, el tambor motriz está sujeto con 2 chumaceras y el tambor de cola con una pieza que permite regular su posición longitudinal, como se muestran en la Figura 62.



**Figura 62.** Ensamble de los soportes de la banda transportadora

6. Se construyen las guías para el transporte de las frutas y el soporte del sistema de iluminación, además se implementa la base de la lámpara que fue impresa en plástico ADS como se observa en la Figura 63.



**Figura 63.** Soporte de la iluminación

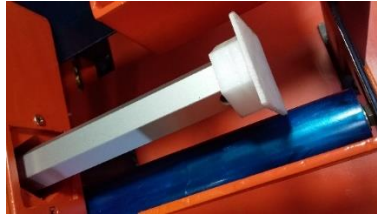
7. Se construye el soporte para el actuador lineal con perfiles de acero A36 y se ensambla a la mesa, como se observa en la Figura 64.



**Figura 64.** Soporte del actuador lineal



- Se coloca un acople para el actuador lineal impreso en plástico ADS, como se observa en la Figura 65.



**Figura 65.** Acople del actuador lineal

- Se construye el soporte del motor a pasos Nema 23, y se ensambla a la mesa como se muestra en la Figura 66.



**Figura 66.** Soporte del motor a pasos

- Se colocan dos poleas para transmitir el movimiento del motor al eje de la banda, las cuales son de acero inoxidable (20 dientes) y otra impresa en plástico ADS (60 dientes), como se observa en la Figura 67.



**Figura 67.** Sistema de transmisión por poleas

11. Se construyen los soportes para el sistema de control de alimentación, luego se ensambla en la mesa, junto con el servo motor y la compuerta de acero inoxidable, como se muestra en la Figura 68 y Figura 69 respectivamente.



**Figura 68.** Soporte de la compuerta



**Figura 69.** Compuerta de la tolva

12. Se construye la tolva espiral en acero inoxidable, además se elaboran los soportes para la cubierta de acrílico, y se ensamblan en la mesa, como se muestra en la Figura 70.



**Figura 70.** Tolva espiral con su cubierta

13. Se añaden soportes regulables a las patas de la mesa como se observa en la Figura 71, para regular la altura de estas que variarán dependiendo del nivel del suelo en donde se implemente.



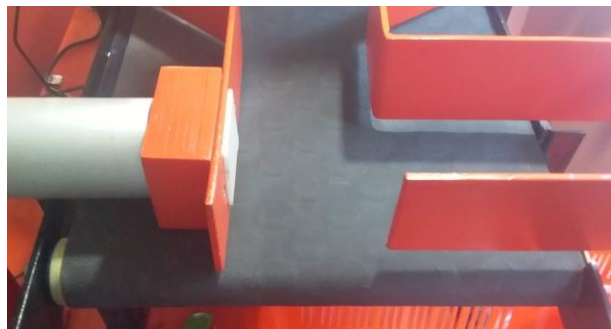
**Figura 71.** Soportes regulables

14. Se define la banda a utilizarse, la cual es una Banda Industrial Técnica tipo botón (B.I.T.), y se realiza la unión con un traslape como se muestra en la Figura 72.



**Figura 72.** Traslape de la banda transportadora

15. Se ensambla la banda a su base como se observa en la Figura 73.



**Figura 73.** Implementación de la banda en los tambores

16. El ensamble final se muestra en la Figura 74.

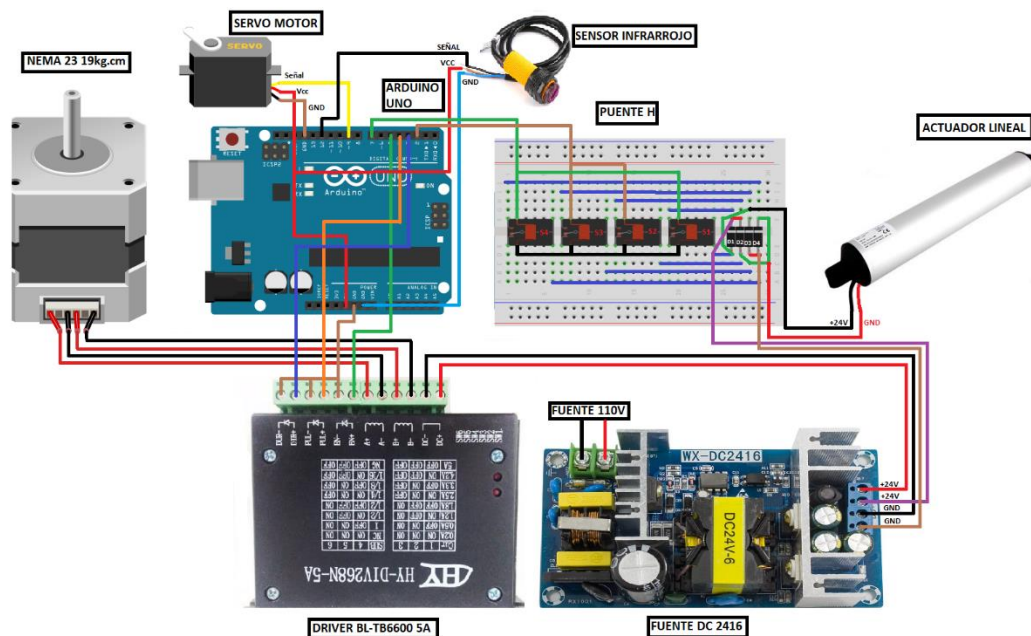


*Figura 74.* Ensamble mecánico final

## 4.2. Implementación del circuito electrónico

Antes de construir el circuito eléctrico, hay que verificar el funcionamiento del actuador lineal y de giro, motores, driver y circuito de control del actuador lineal, con el fin de determinar si no presentan fallas al momento de conectarlos en el sistema mecánico.

En la Figura 75 se muestra el diagrama de conexión del circuito eléctrico implementado en el sistema de clasificación de frutas.



*Figura 75.* Circuito eléctrico implementado

Para la implementación del circuito eléctrico se realizan los siguientes pasos:

1. Se activan los switch del driver BL-TB6600 5A para trabajar con una corriente de 2.5A y un micropaso de 1/8, como se observa en la Figura 76.



**Figura 76.** Configuración de los switch del driver

2. Se energiza el driver con la fuente de 24V y 15A, también se conecta la otra salida de la fuente a un transformador de 24V de voltaje variable, para obtener un voltaje menor a 24V para alimentar al actuador lineal, como se muestra en la Figura 77.



**Figura 77.** Energización del sistema

3. Se realiza una perforación para realizar el cableado de los elementos desde su posición en el sistema hasta el gabinete de control, como se observa en la Figura 78.



**Figura 78.** Cableado de los elementos

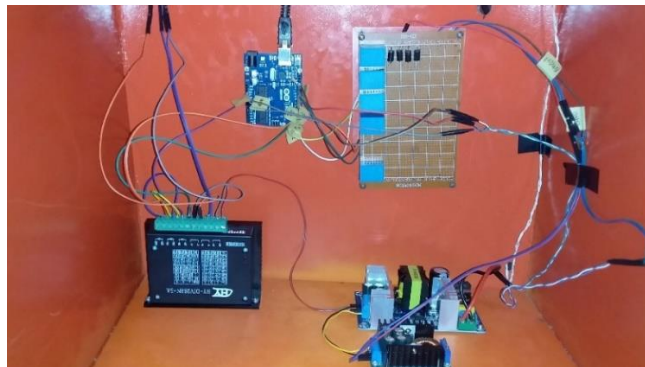
4. Se realizan perforaciones en el gabinete tanto por la parte inferior como posterior, con el fin de asegurar que los elementos en el gabinete no se muevan, como se observa en la Figura 79.



**Figura 79.** Aseguramiento de los elementos

5. Se conecta el Arduino Uno, el motor, el puente H, el actuador lineal y el actuador de giro, y se posiciona en el gabinete.

6. El puente H esta realizado con 4 relés de 5V los cuales están conectados con 4 diodos de potencia, que actúan como protección para el circuito, los relés mantienen una configuración de normalmente abierto que se controlan con el Arduino Uno con el fin de habilitar o deshabilitar dichos elementos para abrir o cerrar el actuador lineal.
7. La iluminación y el sensor infrarrojo E18-D80NK poseen relés para activarlos o desactivarlos mediante el HMI implementados en el computador.
8. Se colocan membretes en los cables de las conexiones de los elementos para evitar confusiones o cables sueltos los cuales no se sepa su procedencia, como se observa en la Figura 80.



**Figura 80.** Conexión del circuito de control

9. Las conexiones generales de los diferentes circuitos del sistema están distribuidas por las paredes laterales de la máquina, las cuales están sostenidas con canaletas como se observa en la Figura 81.



*Figura 81.* Canaletas en el circuito electrónico

### **4.3. Programación del sistema**

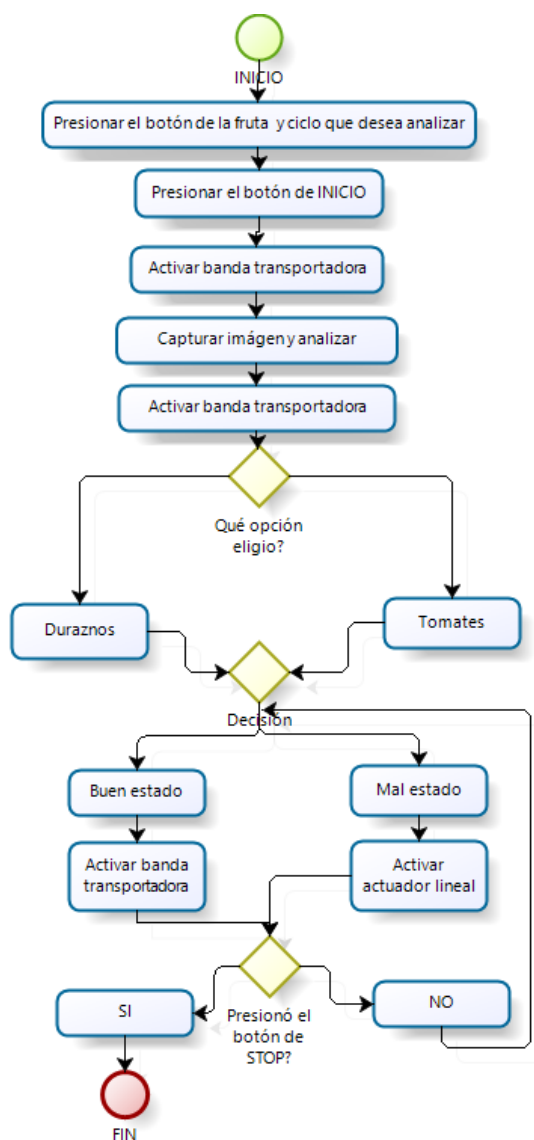
#### **4.3.1. Descripción general del sistema**

El sistema requiere un algoritmo que clasifique las frutas en buen o mal estado, dependiendo de la fruta que se identifique mediante la adquisición de imágenes basado en visión artificial. Para ello se hará uso de una tarjeta Arduino Uno, con la que se comunicará las señales emitidas por el procesamiento de imágenes y se enviará las señales al actuador lineal, quien es el encargado de clasificarlas expulsando a las frutas en mal estado y dejando pasar a las frutas en buen estado.

También se necesita una interfaz gráfica que ayude al control de todo el sistema, para ayudar al usuario al correcto manejo de este y generar un control más amigable para el operario.

En la Figura 82 se puede visualizar el diagrama de flujo del funcionamiento del sistema en general.





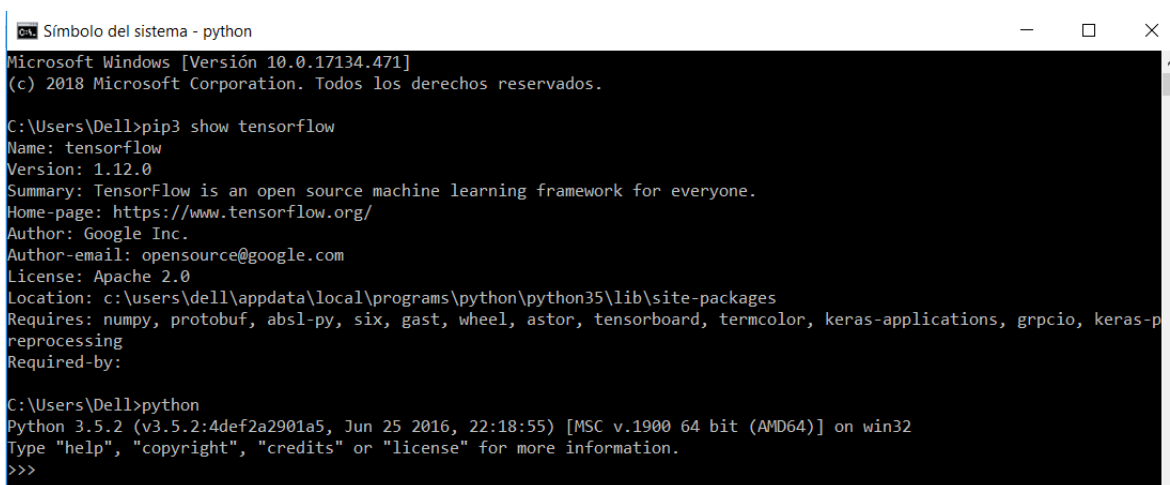
**Figura 82.** Diagrama de flujo del funcionamiento del algoritmo

#### 4.3.2. Creación de la red neuronal

En la programación del sistema es necesario la utilización de una red neuronal, debido a la necesidad de comparar las imágenes captadas por la cámara del sistema con las clases correspondientes a la base de datos de las imágenes de las frutas en buen y mal estado.

Para la creación de la red neuronal se analizaron las librerías más populares, donde, con un 97.53% de popularidad sobresale “Tensorflow” el cual tiene gran capacidad en el manejo de redes neuronales convolucionales (CNN) y recurrentes (RNN), además tiene una arquitectura modular sencilla, el procedimiento para la creación de la red es el siguiente.

1. Instalar Python 3.5.2. amd64 desde la página oficial del software, la versión depende si se posee o no una tarjeta gráfica en el ordenador donde va a ser instalado, el cual mejora la velocidad de procesamiento del entrenamiento.
2. Instalar la versión más reciente de la librería de Tensorflow desde la consola de comandos de Windows utilizando el comando: `pip3 install --upgrade tensorflow-gpu`
3. Verificar las instalaciones realizadas tanto de Python como de Tensorflow en la cmd de Windows, como se observa en la siguiente Figura 83.



```
Símbolo del sistema - python
Microsoft Windows [Versión 10.0.17134.471]
(c) 2018 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\Dell>pip3 show tensorflow
Name: tensorflow
Version: 1.12.0
Summary: TensorFlow is an open source machine learning framework for everyone.
Home-page: https://www.tensorflow.org/
Author: Google Inc.
Author-email: opensource@google.com
License: Apache 2.0
Location: c:\users\dell\appdata\local\programs\python\python35\lib\site-packages
Requires: numpy, protobuf, absl-py, six, gast, wheel, astor, tensorboard, termcolor, keras-applications, grpcio, keras-preprocessing
Required-by:

C:\Users\Dell>python
Python 3.5.2 (v3.5.2:4def2a2901a5, Jun 25 2016, 22:18:55) [MSC v.1900 64 bit (AMD64)] on win32
Type "help", "copyright", "credits" or "license" for more information.
>>>
```

**Figura 83.** Verificación de instalación Python y Tensorflow

4. Crear una carpeta donde se van a guardar las carpetas con las clases necesarias para el entrenamiento de la red, y otra con las librerías de la red neuronal.

5. Entrar en la cmd, direccionar a la carpeta anterior y setear los parámetros para la descarga del modelo “mobilenet\_v1\_1.0\_224” de la red neuronal y la generación de los cuellos de botella, en la Figura 84 se puede observar el entrenamiento de la red con 3 clases (tomates en buen y mal estado y cuando no hay tomates en la banda), con el cual con 4000 pasadas (pasos de iteración o entrenamiento) se obtuvo un 100% de efectividad.

```
INFO:tensorflow:2019-01-16 14:32:13.004023: Step 3990: Validation accuracy = 99.0% (N=100)
INFO:tensorflow:2019-01-16 14:32:13.969411: Step 3999: Train accuracy = 100.0%
INFO:tensorflow:2019-01-16 14:32:13.969755: Step 3999: Cross entropy = 0.000987
INFO:tensorflow:2019-01-16 14:32:14.066155: Step 3999: Validation accuracy = 100.0% (N=100)
INFO:tensorflow:Final test accuracy = 100.0% (N=80)
INFO:tensorflow:Froze 2 variables.
INFO:tensorflow:Converted 2 variables to const ops.
```

*Figura 84.* Entrenamiento de la red con 2 clases

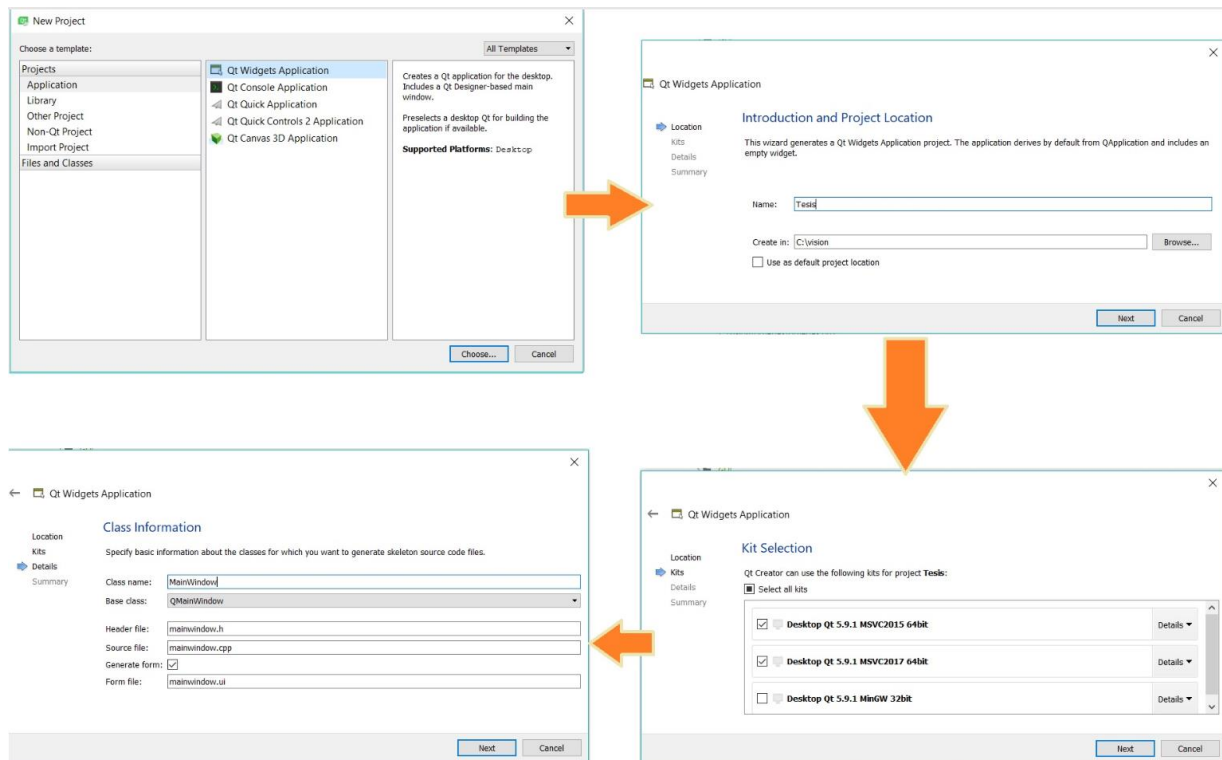
6. Comprobar la red en la cmd y optimizarla si se requiere.
7. Transformar el archivo para que pueda ser reconocido dentro de la librería de OpenCV.

### 4.3.3. Interfaz gráfica

La interfaz gráfica (GUI) es el medio de comunicación entre el usuario y el sistema de control de calidad, es necesario que esta interfaz tenga una estructura sencilla para que el operador no tenga dificultades en el control del sistema.

Para el desarrollo de la interfaz gráfica se hizo uso del software *QT Creator*, ya que permite al usuario desarrollar código basado en C++ además tiene a posibilidad de acceder a librerías de OpenCV.

El desarrollo de la interfaz se inicia con la selección del tipo de proyecto y con la configuración adecuada del mismo, ya que de este parámetro depende que los componentes programables puedan funcionar adecuadamente. La configuración correcta del proyecto se puede apreciar en la Figura 85.

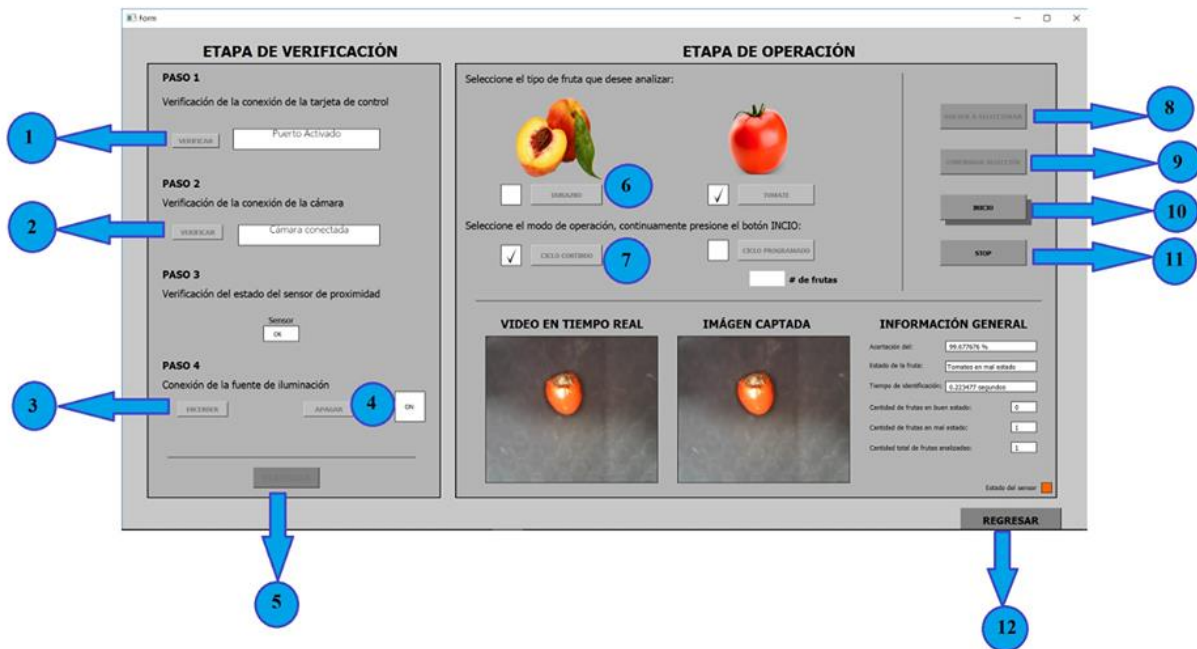


**Figura 85.** Configuración de un nuevo proyecto GUI

#### 4.3.4. Desarrollo de la interfaz gráfica

La GUI desarrollada debe poseer los componentes adecuados para la interacción del usuario con el sistema, por lo que es necesario una interfaz gráfica que contenga los *widgets* correctos que facilitarán la interacción humano máquina.

Cada uno los *widgets* en la interfaz gráfica tendrán una función específica la cual será designada con la programación que se realice en cada componente, es decir ciertos *widgets* recibirán o analizarán las imágenes captadas por la cámara mientras que otros serán botones e indicadores y cumplirán con la función de control y manejo del sistema. La distribución de los botones se puede observar en la Figura 86.



**Figura 86.** Distribución de los botones del HMI

Es necesario asignar una acción para que cada elemento de GUI realice una acción determinada en el análisis.

Las acciones programadas a cada uno de los botones se detallan a continuación:

1. Verificar (Paso 1). - Verifica que la tarjeta de control se encuentre conectada al sistema.
2. Verificar (Paso 2). – Verifica que la cámara se encuentre conectada al sistema.
3. Encender. – Enciende el sistema de iluminación.
4. Apagar. – Apaga el sistema de iluminación.
5. Verificar (General). – Valida las verificaciones de cada uno de los componentes y da inicio a la etapa de operación.
6. Botones de frutas. – Sirven para seleccionar que fruta se va a ser analizada en el sistema.
7. Botones de modo de operación. – Permiten seleccionar el ciclo de operación del sistema.

8. Volver a seleccionar. – Reinicia los parámetros de selección en frutas y el modo de operación.
9. Confirmar selección. – Valida la fruta y el ciclo de la operación seleccionados.
10. Inicio. – Inicia con el proceso de análisis de frutas.
11. Stop. – Detiene todo el proceso de análisis.
12. Regresar. – Regresa a la ventana anterior.

#### 4.3.5. Programación de GUI y comunicación

Para el funcionamiento adecuado de la interfaz gráfica con el sistema es necesario establecer comunicación entre Arduino y la GUI como se observa en la Figura 87, para así poder controlar los diferentes dispositivos eléctricos que forman parte del sistema de control de calidad, por lo que es indispensable hacer uso de las librerías y códigos adecuados.

```

if (hSerial !=INVALID_HANDLE_VALUE){
    DCB ParSerial;
    GetCommState(hSerial,&ParSerial);
    ParSerial.BaudRate = CBR_9600;
    ParSerial.ByteSize = 8;
    ParSerial.Parity = NOPARITY;
    ParSerial.StopBits = ONESTOPBIT;
    SetCommState(hSerial, &ParSerial);

    ui->verificacionarduino->setText("Puerto Activado \n");
    ui->verificacionarduino->setFont(QFont("Segoe UI Light", 12));
    ui->verificacionarduino->setAlignment(Qt::AlignCenter);
    ui->verificacionarduino->setStyleSheet("background-color: rgb(0,255,100)");

    c=true;
}
else{
    if (GetLastError() == ERROR_FILE_NOT_FOUND){
        ui->verificacionarduino->setText("Puerto Inactivo \n");
        ui->verificacionarduino->setFont(QFont("Segoe UI Light", 12));
        ui->verificacionarduino->setAlignment(Qt::AlignCenter);
        ui->verificacionarduino->setStyleSheet("background-color: rgb(255,100,0)");

        c=false;
    }
    ui->verificacionarduino->setText("Error al inicializar el puerto \n");
    ui->verificacionarduino->setFont(QFont("Segoe UI Light", 12));
    ui->verificacionarduino->setAlignment(Qt::AlignCenter);
    ui->verificacionarduino->setStyleSheet("background-color: rgb(255,100,0)");

    c=false;
}
}

```

**Figura 87.** Comunicación entre OpenCV y arduino

Para visualizar el video dentro de la GUI es necesario usar una clase del tipo *QTimer* para capturar los *frames* cada cierto tiempo, para lo cual se usó el código de la Figura 88.

```
//Generar los frames para mostrar el video cada cierto tiempo
timer = new QTimer(this);
connect(timer,SIGNAL(timeout()),this,SLOT(comunicacion()));
timer->start(15);
```

**Figura 88.** Generar frames

*QTimer* se utiliza dentro de la función comunicación y presentará *frames* cada 15 milisegundos, es necesario declarar la librería `#include <QTimer>`; además es necesario crear una variable de tipo *Mat* y *VideoCapture* que ayudarán a trabajar con el video en tiempo real.

Para visualizar las imágenes en el *label* es necesario crear una variable de tipo *QImage* y transformarla a *QPixmap*, como se puede observar en la Figura 89.

```
//Pasar la variable cap a una matriz de video
cap >> video;

if(aux_inicio==1){
    //Vizualizar el video en el label
    cv::resize(video,video,Size(341,261));
    QImage image = QImage((const uchar*)video.data,video.cols,video.rows,video.step, QImage::Format_RGB888).rgbSwapped();
    ui->labelcamara->setPixmap(QPixmap::fromImage(image));
```

**Figura 89.** Mostrar el video en la GUI

La recepción de las señales de los sensores de proximidad E18 dentro de la GUI se la realiza mediante la lectura del puerto serial con ayuda del código de la Figura 90.

```

//Recibir las señales del sensor 1
ReadFile(hSerial, VarSal1, 1, &btsIO, NULL);
if (VarSal1[0]=='a') {
    ui->sensor1_2->setStyleSheet("background-color: rgb(0,255,100)");
}

if (VarSal1[0]=='b') {
    ui->sensor1_2->setStyleSheet("background-color: rgb(255,100,0)");
}

//Recibir las señales del sensor 2
if (VarSal1[0]=='c') {
    ui->sensor2_2->setStyleSheet("background-color: rgb(0,255,100)");
}

if (VarSal1[0]=='d') {
    ui->sensor2_2->setStyleSheet("background-color: rgb(255,100,0)");
}

```

**Figura 90.** Comunicación de los sensores y la GUI

Todas las acciones que se ejecutarán en la función principal tienen una estructura similar, por lo cual se detalla en la Figura 91, la etapa de lectura y análisis de la red neuronal

```

//Esperar un tiempo antes de ejecutar el código
if(temp3==1)temp4++;
if(temp4==15){
    //Confirmar si se a cumplido la etapa anterior
    if(varcam==1){
        //Capturar la imagen que va a ser analizada
        imwrite("C:\\Users\\Dell\\Desktop\\Imágenes_camara\\1.jpg", video);
        QImage imagencapturada = QImage((const uchar*)video.data,video.cols,video.rows,video.step, QImage::Format_RGB888).rgbSwapped();
        //Visualizar la imagen en el label
        ui->labelcamara_2->setPixmap(QPixmap::fromImage(imagencapturada));
        //Llamar a la función para que analice la imagen en la red neuronal
        redneuronal();
        //Enviar el dato por el puerto serial
        VarSal[0] = '8';
        WriteFile(hSerial, VarSal, strlen(VarSal), &btsIO, NULL);
        //Reiniciar los tiempos para que el programa se ejecute continuamente
        temp5=1;
        temp6=0;
    }
}
}

```

**Figura 91.** Condición de lectura de la red neuronal

En el funcionamiento de la red neuronal es necesario utilizar dos vectores y una función para leer las clases de la red y verificar el estado de las frutas, los vectores utilizados se muestran en la Figura 92 y la función de la red neuronal se muestra en la Figura 93.



```
//Identificar las clases de la red neuronal
vector<string> readClassNamesTensorFlow(){ ...}

//Función para identificar el estado de las frutas
vector<string> clasificador(string model,Mat img){ ...}
```

**Figura 92.** Vectores de identificación de clases y clasificador

```
//Ingresar la imagen a ser analizada
string imgInicial = "C:\\Users\\Dell\\Desktop\\Imagenes_camara\\1.jpg";
Mat img = imread(imgInicial);
//Ingresar el modelo de la red neuronal
string model = "C:/Users/Dell/Desktop/Redft/tf_files/final_graphopencv3.pb";

//Generamos un vector para guardar la información entregada por la función clasificador
vector<string>parametros1=clasificador(model,img);

//Transformamos las variables String a QString
std::string valor1 = parametros1[0];
std::string valor2 = parametros1[1];
std::string valor3 = parametros1[2];

//Comparamos el resultado del estado de la fruta e imprimimos en consola
if(valor1=="tb"){
    ui->labelestado->setText("Tomates en buen estado");
    ui->labeltiempo->setText(" "+QString::fromStdString(valor2)+" segundos");
    ui->labelacertacion->setText(" "+QString::fromStdString(valor3)+" %");
    ban3=1;
    //Generamos un contador para vizualizar el número de frutas analizadas
    ctb++;
    ui->labelcantbuenas->setText(" "+QString::number(ctb));
}
}
```

**Figura 93.** Estructura de la red neuronal

Todos los botones tienen una misma estructura de programación, por lo que se detalla la programación del botón “Tomate” en la Figura 94.

```
//Botón para seleccionar el tomate
void Empezar::on_botontomate_clicked()
{
    //Generar una variable auxiliar para saber el estado del botón
    tipofruta=2;
    //Desactivar los otros botones para evitar multiples selecciones
    ui->botondurazno->setEnabled(false);
    //Imprimir el estado visualmente dentro de la GUI
    ui->checktomate->setStyleSheet("background-color: rgb(0,255,100)");
    QPixmap pix1("C:\\\\Vision\\GUI\\Imagenes\\check.png");
    ui->checktomate->setPixmap(pix1);
}
}
```

**Figura 94.** Acción del botón de selección del tomate

#### 4.3.6. Programación de la tarjeta de control

Inicialmente es necesario definir las variables con sus pines correspondientes, dentro del *void setup ()* se establece la velocidad de comunicación y se definen todos los pines como salidas. El programa principal se define dentro del *void loop ()*, para leer las señales de los sensores es necesario declarar una variable de lectura digital, establecer las condiciones y escribir los datos por el puerto serial como se muestra en la Figura 95.

```
//Condiciones para leer el sensor 1
int sensor1=digitalRead(6);
//Estado en bajo
if(sensor1==LOW){
  Serial.write('a');
}
delay(75);
//Estado en alto
if(sensor1==HIGH){
  Serial.write('b');
}
delay(75);
```

**Figura 95.** Envío de las señales del sensor infrarrojo

En la recepción de datos de OpenCV a Arduino se hace uso de la función *switch ()* y para cada caso se establece una condición de activación como se indica en la siguiente Figura 96.

```
if (Serial.available() > 0) {
  // Leer los datos de entrada "incoming byte"

  incomingByte = Serial.read();

  switch(incomingByte){
    case '1':
      //Encender el sistema de iluminación
      digitalWrite(luz,HIGH);
      break;

    case '2':
      //Apagar el sistema de iluminación
      digitalWrite(luz,LOW);
      break;
```

**Figura 96.** Lectura de las señales en Arduino

#### 4.3.7. Funcionamiento de la GUI

El programa inicia su ejecución mostrando la pantalla inicial como se muestra en la Figura 97, la cual muestra la información sobre el sistema, es necesario presionar el botón “Empezar” para habilitar la ventana de verificación y análisis.



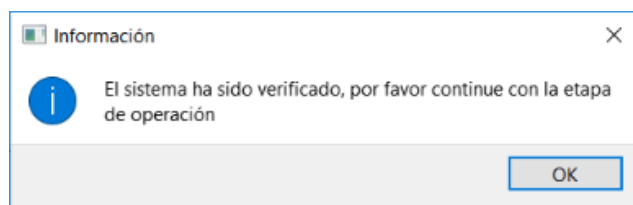
*Figura 97.* Pantalla inicial de la GUI

La ventana de análisis se mostrará como se aprecia en la siguiente Figura 98, esta ventana tiene habilitada únicamente la etapa de verificación, la cual sirve para corroborar que la tarjeta de control, la cámara, los sensores y la fuente de iluminación se encuentren conectados y listos para el funcionamiento.



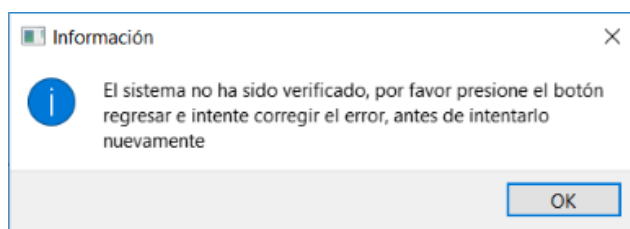
**Figura 98.** Pantalla de verificación y operación de la GUI

Para verificar la conexión de los componentes es necesario que estos se encuentren conectados a al computador y luego presionar los botones “Verificar” en cada uno de los pasos y el botón “Encender” para activar la fuente de alimentación, para la verificación y activación de los sensores es necesario esperar un tiempo necesario hasta que estos se calibren. Una vez hecha la verificación se mostrará el mensaje de la Figura 99.



**Figura 99.** Mensaje de verificación exitosa

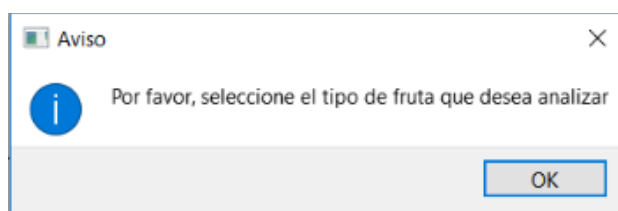
En caso de que los componentes no se encuentren conectados o no están listos para su funcionamiento se mostrará el siguiente mensaje de la Figura 100.



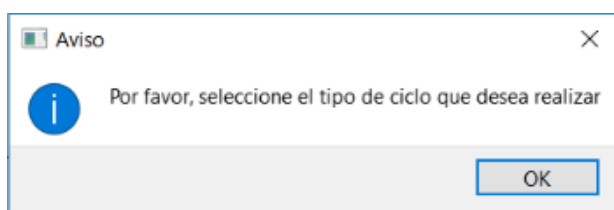
**Figura 100.** Mensaje de verificación errónea

Una vez pasada la verificación esta etapa se deshabilita y se habilita la etapa de operación, en esta interfaz es necesario seleccionar la fruta y el modo de operación con el que se desea realizar el análisis y posteriormente confirmar la selección con el botón adecuado.

Si se quiere confirmar la selección sin haber seleccionado la fruta que se va a analizar se muestra el mensaje de la Figura 101, o si es el caso y se presiona el botón confirmar selección sin escoger el modo de operación se muestra el mensaje de la Figura 102.



**Figura 101.** Mensaje de ausencia de tipo de fruta



**Figura 102.** Mensaje de ausencia de tipo de ciclo

Una vez confirmada la selección del usuario se habilitan el botón de “Inicio” el cual da comienzo al análisis de las frutas seleccionadas. Mientras se ejecuta la etapa de operación, se mostrará la fruta

analizada en los *widjets* para la visualización de la cámara y mientras que en los *labels* de información se mostrarán los resultados obtenidos en el análisis con la red neuronal, como se muestra en la Figura 103 los resultados de un tomate en mal estado

The screenshot shows a web-based GUI for a fruit analysis system. It is divided into two main sections: 'ETAPA DE VERIFICACIÓN' (Verification Stage) and 'ETAPA DE OPERACIÓN' (Operation Stage).

**ETAPA DE VERIFICACIÓN:**

- PASO 1:** Verification of the control card connection. Includes a 'VERIFICAR' button and a text field showing 'Puerto Activado'.
- PASO 2:** Verification of the camera connection. Includes a 'VERIFICAR' button and a text field showing 'Cámara conectada'.
- PASO 3:** Verification of the proximity sensor status. Includes a 'Sensor' label and an 'OK' button.
- PASO 4:** Connection of the illumination source. Includes 'ENCENDER' and 'APAGAR' buttons, and an 'ON' button.

**ETAPA DE OPERACIÓN:**

- Selección de fruta:** 'Seleccione el tipo de fruta que desea analizar:'. Shows two options: 'DURAZNO' (peach) and 'TOMATE' (tomato). The 'TOMATE' option is selected with a checkmark.
- Selección de modo de operación:** 'Seleccione el modo de operación, continuamente presione el botón INCICIO:'. Shows two options: 'CICLO CONTINUO' (checked) and 'CICLO PROGRAMADO'. Below this is a '# de frutas' input field.
- Botones de control:** 'VOLVER A SELECCIONAR', 'CONFIRMAR SELECCION', 'INCICIO', and 'STOP'.
- Visualización:** Two video feeds: 'VIDEO EN TIEMPO REAL' and 'IMÁGEN CAPTADA', both showing a tomato.
- INFORMACIÓN GENERAL:**
  - Acertación del: 99.6776 %
  - Estado de la fruta: Tomates en mal estado
  - Tiempo de identificación: 0.223477 segundos
  - Cantidad de frutas en buen estado: 0
  - Cantidad de frutas en mal estado: 1
  - Cantidad total de frutas analizadas: 1
  - Estado del sensor: ■
- REGRESAR:** A button at the bottom right to return to the start.

**Figura 103.** Funcionamiento de la red neuronal en la GUI

Para finalizar el análisis en ciclo continuo es necesario presionar el botón “Stop”, el cual reinicia todos los parámetros configurados previamente, pero permite visualizar la cantidad de frutas analizadas.

El botón “Regresar” reinicia todos los parámetros preconfigurados, además cierra la ventana de proceso y muestra la ventana de carátula que contiene el botón cerrar.

## CAPÍTULO V

### PRUEBAS Y RESULTADOS

En el presente capítulo se analizan las pruebas realizadas con el sistema, desde el entrenamiento de la red neuronal, captura y análisis de imágenes y la validación de la hipótesis planteada para la elaboración del sistema.

#### 5.1. Entrenamiento de la red neuronal

La clasificación y control de calidad de las frutas se basa en algoritmos de redes neuronales, los cuales deben estar entrenados con la mayor cantidad de imágenes posibles para obtener un resultado óptimo, confiable y con un mayor porcentaje de aceptabilidad en el momento de realizar el análisis.

Los resultados son diferentes dependiendo de la cantidad de clases que se estén entrenando, ya que para crear la red se usó una biblioteca de código abierto para el aprendizaje automático llamada *TensorFlow*, la cual analiza una imagen y la compara con cada una de las clases, entregando un porcentaje de aceptabilidad de pertenecer a cada una de ellas.

Los resultados del entrenamiento para 100, 500, 1000 y 4000 pasos de entrenamiento o iteración se muestran en la Tabla 33 para los tomates y en la Tabla 34 para los duraznos, con los 1000 pasos de iteración se obtiene el porcentaje de aceptabilidad deseado del 100% en las dos redes neuronales, pero como se quiere que el análisis sea lo más rápido posible se realizan 4000 pasos de entrenamiento con el fin de obtener un tiempo de análisis pequeño.

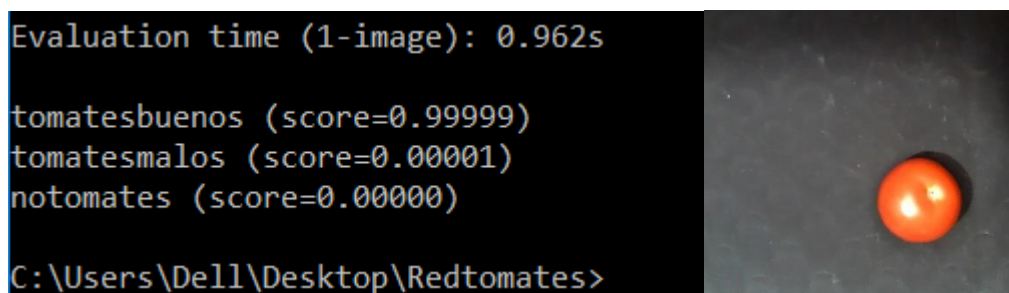
**Tabla 33.***Porcentaje de acierto de la red neuronal para tomates*

N° de pasos de entrenamiento	Porcentaje de acierto	Tiempo de análisis
100	98%	1.385 seg
500	100%	0.657 seg
1000	100%	0.261 seg
4000	100%	0.098 seg

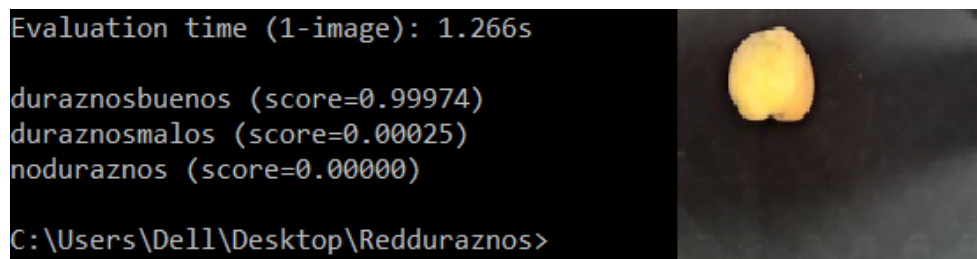
**Tabla 34.***Porcentaje de acierto de la red neuronal para duraznos*

N° de pasos de entrenamiento	Porcentaje de acierto	Tiempo de análisis
100	95%	2.312 seg
500	98%	1.52 seg
1000	100%	0.431 seg
4000	100%	0.192 seg

En la Figura 104 se puede observar la entrega de los resultados a partir la red para tomates creada y en la Figura 105 a partir de la red de duraznos. Se utilizó la imagen de un tomate y durazno en buen estado del cual se muestran los porcentajes de aceptabilidad.

**Figura 104.** Resultados del análisis para un tomate en buen estado

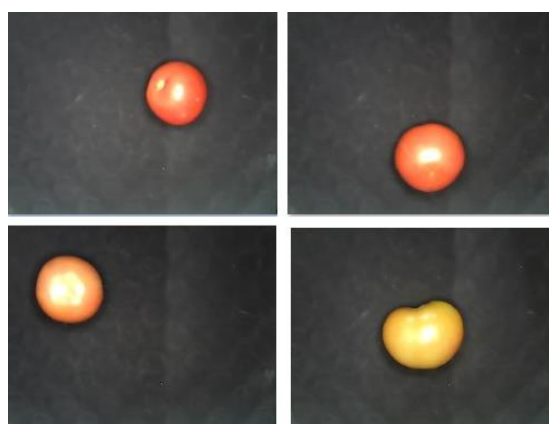




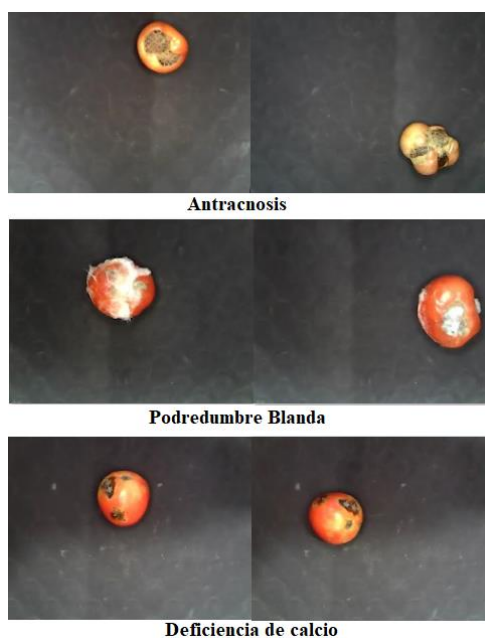
**Figura 105.** Resultados del análisis para un durazno en buen estado

Para mantener dicho porcentaje de aceptabilidad se utilizaron 2 redes neuronales, una para tomates y la otra para duraznos, las redes fueron entrenadas con 3 clases cada una. Las clases corresponden a las categorías de frutas en buen estado, frutas en mal estado y ausencia de fruta.

La red neuronal para tomates fue entrenada con 100 imágenes de tomates en buen estado, como se muestran algunas imágenes en la Figura 106 y 400 imágenes de tomates en mal estado, dentro del grupo de tomates en mal estado tenemos diferentes imágenes de los problemas más frecuentes en los tomates, tales como: antracnosis, podredumbre gris, podredumbre blanda y la deficiencia de calcio, como se observa en la Figura 107. Además de contar con una clase con 60 imágenes de la banda transportadora sin fruta.

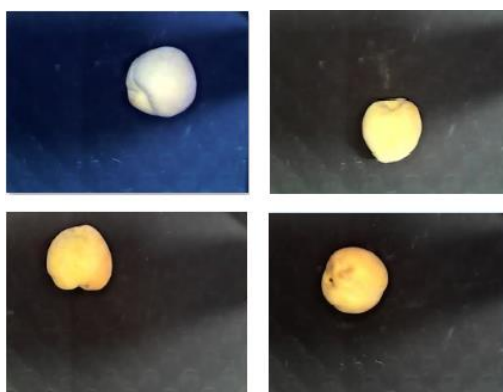


**Figura 106.** Muestras de imágenes de tomates en buen estado

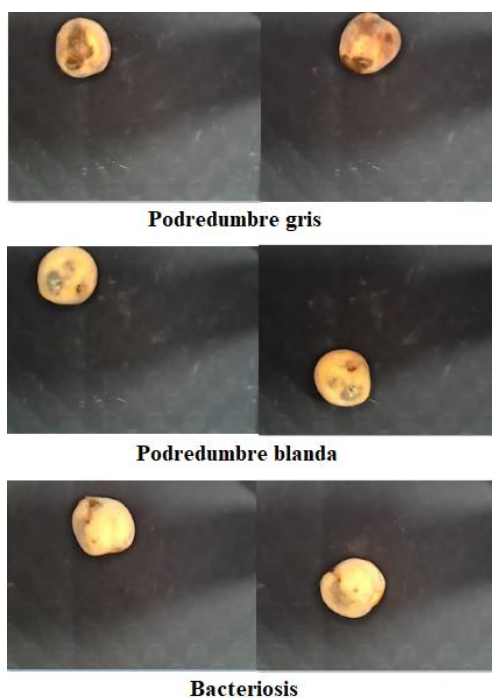


**Figura 107.** Muestras de imágenes de tomates en mal estado

La red neuronal para duraznos fue entrenada con 155 imágenes de duraznos en buen estado, como se muestran algunas imágenes en la Figura 108 y 170 imágenes de duraznos en mal estado, dentro del grupo de duraznos en mal estado tenemos diferentes imágenes de los problemas más frecuentes en los duraznos, tales como: podredumbre gris, podredumbre blanda y la bacteriosis, como se observa en la Figura 109. Además de contar con una clase con 60 imágenes de la banda transportadora sin fruta.



**Figura 108.** Muestras de imágenes de duraznos en buen estado



*Figura 109.* Muestras de imágenes de duraznos en mal estado

## 5.2. Validación de referencias normativas

En esta sección se realizará la validación de las normativas que regulan las condiciones y materiales adecuados con los que se deben trabajar con alimentos, además se analizará si el sistema brinda las condiciones de seguridad necesarias al personal de trabajo.

### 5.2.1. Norma ISO 16143-2:2014

Haciendo uso de la norma mencionada en la sección 2.5, y según las propiedades del acero AISI 316 especificadas en la Figura 110 se contempla que este acero cuenta con 0.08 % de Carbono (C), mientras que porcentaje de Cromo (Cr) se encuentra en el rango de 16 % y 18 %, convirtiéndolo en el material adecuado para entrar en contacto con alimentos, ya que en la norma se especifica

que los aceros adecuados para trabajar con alimentos deben tener porcentaje de Carbono inferior al 1.2 %, mientras que el porcentaje de Cromo debe ser superior al 10.5%.

TIPOS DE ACERO	CARACTERÍSTICAS	PROPIEDADES	APLICACIONES	COMPOSICIÓN QUÍMICA							
AISI 430	Acero Inoxidable Ferrítico , Magnético	Buena ductilidad.	Campanas extractoras, hornos eléctricos, utensilios de cocina, industria automotriz (accesorios) etc.	AISI 430	%C	%Cr	%Ni	%Mn	%Si	%P	%S
		Buena resistencia a la oxidación sometido a temperaturas elevadas.			0,12	16-18	-	1	1	0	0,03
		Buen comportamiento a operaciones de doblamiento.									
		Su soldabilidad es inferior a la de los aceros Austeníticos.									
		Buena aptitud al pulido.									
AISI 304	Acero Inoxidable Austenítico, No Magnético	Excelente resistencia a la corrosión	Industria química, petroquímica, alimenticia, industria médica, tanques, tuberías, etc.	AISI 304	%C	%Cr	%Ni	%Mn	%Si	%P	%S
		Muy buena conformabilidad y soldabilidad.			0,08	18-20	8-10,5	2	1	0	0,03
		Excelente factor higiene-limpieza.									
		Se pueden utilizar tanto en temperaturas criogénicas como a elevadas temperaturas.									
		Excelentes propiedades mecánicas.									
Se pueden usar para embutición profunda de rolado y de corte.											
AISI 316	Acero Inoxidable Austenítico, No Magnético	Además de las propiedades anticorrosivas que ofrece el acero AISI 304 Tenemos: Mejor resistencia a la corrosión por cloruros.	Ambientes salinos, procesos industriales, etc.	AISI316	%C	%Cr	%Ni	%Mo	%Si	%P	%S
		Se emplea cuando las condiciones de servicio exigen una mayor resistencia a la corrosión por picaduras, estas pueden ser por elementos corrosivos como el flúor, cloro, bromo y yodo.			0,08	16-18	10-14,0	2-3,0	1	0	0,03

**Figura 110.** Propiedades de los aceros

Fuente: (Inoxcenter s.a., n.d.)

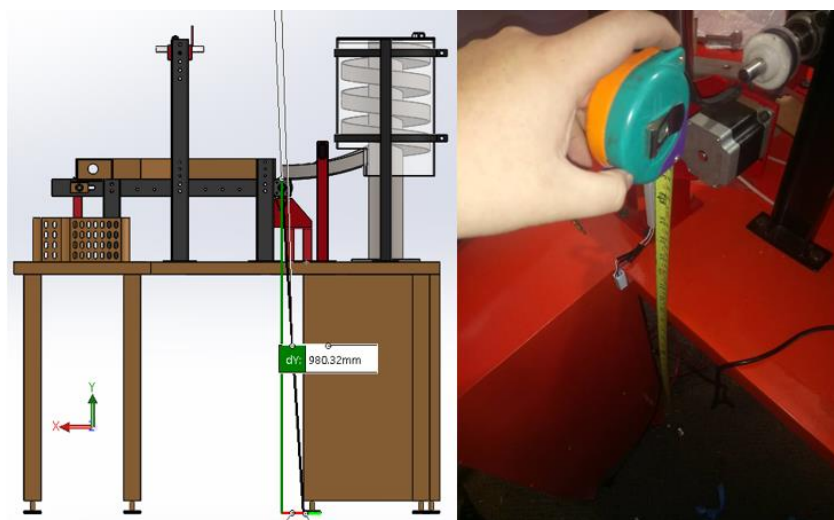
### 5.2.2. NTE INEN 3039

En la validación es necesario iniciar considerando el diseño de la tolva y así verificar que cumple con los parámetros dispuestos por esta norma, la tolva está construida en acero inoxidable por lo que presenta una gran resistencia, además que la cubierta es removible para que la tolva se pueda limpiar y desinfectar sin complicaciones, como se observa en la Figura 111.



**Figura 111.** Sistema de alimentación con cubierta removible

Otro parámetro para considerar es la distancia existente entre el piso y el extremo más bajo de la tolva que almacenará las frutas, por lo que se hizo uso del modelo usado en el diseño del sistema para obtener este valor y además se corroboró dicha distancia con un flexómetro en el prototipo construido como se muestra en la Figura 112, la distancia mostrada es de 98 cm entre la parte más baja de la tolva y el piso, por lo que esta norma valida el diseño, ya que la distancia mínima existente debe ser de 20 cm entre el contenedor de alimentos y el piso.



**Figura 112.** Confirmación de la Norma en altura

### 5.2.3. Norma OSHA 1910.305 (a) (2) (xi)

Para la validación de esta norma se usaron protecciones tipo canaleta las cuales se encuentran adheridas a la estructura como se observa en la Figura 113, a través de estas se da paso a los conjuntos de cables hasta su destino. Esta protección garantiza que no se producirán daños físicos en la estructura o accidentes ocasionados por cables sueltos.



*Figura 113.* Aseguramiento de los cables a la estructura

## 5.3. Reconocimiento de imágenes

En esta sección se realizarán pruebas de la calidad de imagen capturada de acuerdo con la condición de iluminación utilizada, por lo que se desarrollarán las pruebas en tres ambientes diferentes, los cuales son un ambiente poco iluminado, un ambiente con iluminación natural y un ambiente con iluminación artificial.

### 5.3.1. Prueba 1: Ambiente poco iluminado

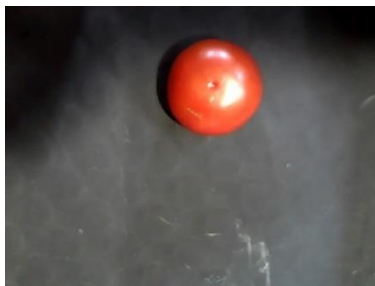
Para esta prueba la presencia de luz es escasa, estas condiciones se presentan cuando al sistema no le ingresa luz exterior y todas las fuentes de iluminación están apagadas, los resultados de la captura en estas condiciones se muestran en la Figura 114.



*Figura 114.* Ambiente poco iluminado

### **5.3.2. Prueba 2: Ambiente con iluminación natural**

Para esta prueba se trabaja con luz natural, es decir, con la iluminación que provenga del exterior, además se tienen las fuentes de iluminación provenientes de lámparas o focos instalados en el lugar de trabajo, el resultado de la captura en estas condiciones se muestra en la Figura 115.



*Figura 115.* Ambiente con iluminación natural

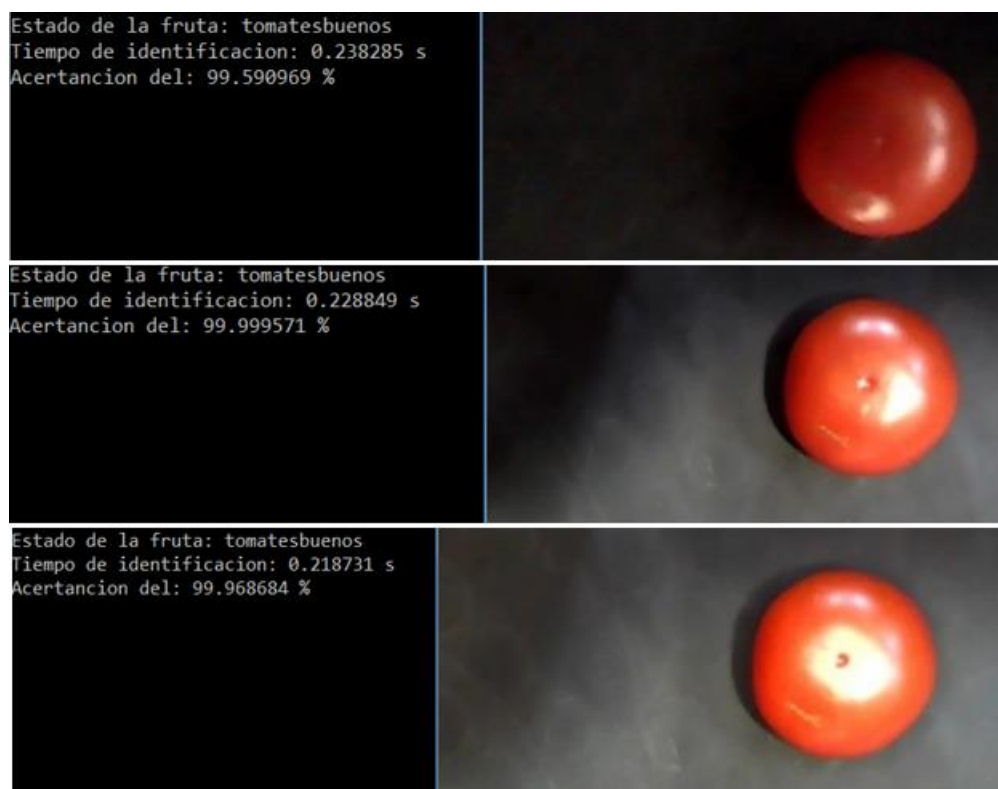
### **5.3.3. Prueba 3: Ambiente con iluminación artificial**

Para esta prueba se trabaja con una fuente de luz artificial (panel circular de leds), que están instalados alrededor de la cámara, los resultados de la captura en estas condiciones se muestran en la Figura 116.



**Figura 116.** Ambiente con iluminación artificial

Luego de obtener las imágenes en los 3 ambientes establecidos, se proceden a comparar los resultados de la red en cada uno de los casos; ambiente poco iluminado, ambiente con iluminación natural y ambiente con iluminación artificial respectivamente, lo cual se observa en la Figura 117:



**Figura 117.** Comparación de la red en diferentes estados de la iluminación



En las 3 pruebas se obtiene un resultado óptimo del 99% de aceptación, en cuanto al tiempo de identificación, se puede decir que la Prueba 3 es la más rápida con 0.218 segundos, entonces se concluye que el sistema con un ambiente con iluminación artificial ayuda a que el sistema identifique más rápido el estado de la fruta, además de mejorar en cierta parte la aceptación de la red neuronal.

## 5.4. Clasificación de las frutas

El objetivo de esta prueba es comprobar si el resultado de la red neuronal va acorde al tipo de muestra que se está analizando y así verificar que la clasificación es correcta o incorrecta, por lo que en estas pruebas se utilizaron 30 muestras de tomates en buen estado, 30 muestras de tomates en mal estado, 20 muestras de duraznos en buen estado y 20 muestras de duraznos en mal estado, teniendo así un total de 100 muestras.

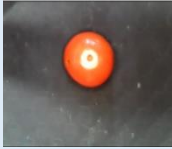


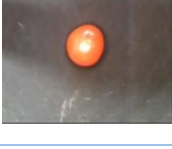
### 5.4.1. Pruebas en tomates en buen estado

En la Figura 118 se puede observar el resultado del análisis a un tomate en buen estado. Las muestras utilizadas y la tabulación de los resultados se muestran en la Tabla 35.







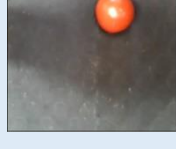
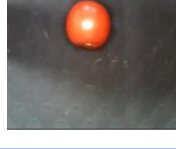
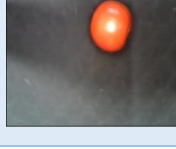
IMÁGEN CAPTADA	INFORMACIÓN GENERAL
	Acertación del: <input type="text" value="99.999964 %"/>
	Estado de la fruta: <input type="text" value="Tomates en buen estado"/>
	Tiempo de identificación: <input type="text" value="0.186774 segundos"/>
	Cantidad de frutas en buen estado: <input type="text" value="1"/>
	Cantidad de frutas en mal estado: <input type="text" value="0"/>
	Cantidad total de frutas analizadas: <input type="text" value="1"/>

**Figura 118.** Resultado del análisis a un tomate en buen estado

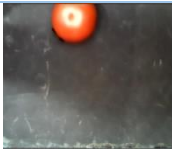



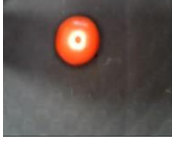

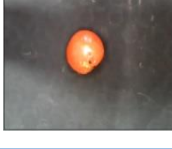
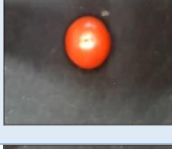
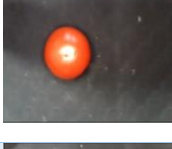
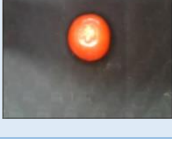
**Tabla 35.***Tabulación de los resultados de las pruebas con tomates en buen estado*

<b>N° de muestra</b>	<b>Porcentaje de aceptabilidad</b>	<b>Estado de la fruta</b>	<b>Tiempo de respuesta</b>	<b>Muestra</b>
1	99.88274%	Tomate en buen estado	0.2307 s	
2	99.9999%	Tomate en buen estado	0.1915 s	
3	99.5937%	Tomate en buen estado	0.18519 s	
4	97.585%	Tomate en buen estado	0.22078 s	
5	99.9974%	Tomate en buen estado	0.2163 s	
6	99.9192%	Tomate en buen estado	0.22784 s	
7	99.9998%	Tomate en buen estado	0.2506 s	
8	99.99972%	Tomate en buen estado	0.2035 s	


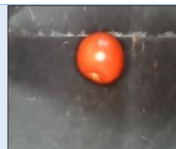
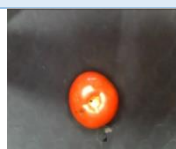
**CONTINÚA** 

<b>9</b>	92.6303%	Tomate en buen estado	0.2197 s	
<b>10</b>	95.4228%	Tomate en buen estado	0.2338 s	
<b>11</b>	99.9976%	Tomate en buen estado	0.2234 s	
<b>12</b>	99.9898%	Tomate en buen estado	0.2221 s	
<b>13</b>	99.987%	Tomate en buen estado	0.2684 s	
<b>14</b>	99.998%	Tomate en buen estado	0.3626 s	
<b>15</b>	99.9999%	Tomate en buen estado	0.2520 s	
<b>16</b>	99.999%	Tomate en buen estado	0.2277 s	
<b>17</b>	99.9989%	Tomate en buen estado	0.1925 s	

**CONTINÚA** 

<b>18</b>	99.99814%	Tomate en buen estado	0.1900 s	
<b>19</b>	92.159%	Tomate en buen estado	0.18858 s	
<b>20</b>	99.984%	Tomate en buen estado	0.2153 s	
<b>21</b>	99.998%	Tomate en buen estado	0.1926 s	
<b>22</b>	99.9413%	Tomate en buen estado	0.1897 s	
<b>23</b>	99.933%	Tomate en buen estado	0.2528 s	
<b>24</b>	95.9588%	Tomate en buen estado	0.2166 s	
<b>25</b>	99.9914%	Tomate en buen estado	0.2240 s	
<b>26</b>	99.9994%	Tomate en buen estado	0.3340 s	
<b>27</b>	99.786%	Tomate en buen estado	0.1957 s	

**CONTINÚA** 

28	100%	Tomate en buen estado	0.1945 s	
29	99.969%	Tomate en buen estado	0.1959 s	
30	97.0508%	Tomate en mal estado	0.1976 s	

En conclusión, tomando como referencia la Tabla 35 se obtuvieron 29 muestras correctas y 1 muestra incorrecta, el promedio de aceptabilidad es de 98.99241 % con un tiempo de análisis entre 0.19 a 0.25 segundos.





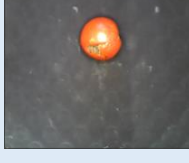
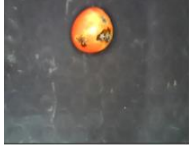
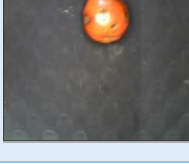
#### 5.4.2. Pruebas en tomates en mal estado

En la Figura 119 se puede observar el resultado del análisis a un tomate en mal estado. Las muestras utilizadas y la tabulación de los resultados se muestran en la Tabla 36.





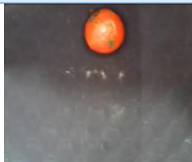

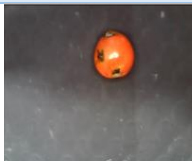
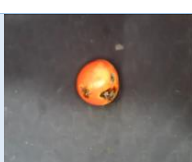
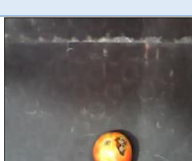
IMÁGEN CAPTADA	INFORMACIÓN GENERAL
	Acertación del: <input type="text" value="100.000000 %"/> Estado de la fruta: <input type="text" value="Tomates en mal estado"/> Tiempo de identificación: <input type="text" value="0.190458 segundos"/> Cantidad de frutas en buen estado: <input type="text" value="0"/> Cantidad de frutas en mal estado: <input type="text" value="1"/> Cantidad total de frutas analizadas: <input type="text" value="1"/>

**Figura 119.** Resultado del análisis a un tomate en mal estado




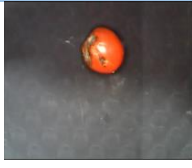


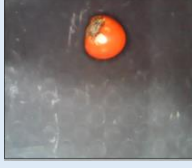


**Tabla 36.***Tabulación de los resultados de las pruebas con tomates en mal estado*

<b>N° de muestra</b>	<b>Porcentaje de aceptabilidad</b>	<b>Estado de la fruta</b>	<b>Tiempo de respuesta</b>	
1	99.1157 %	Tomate en mal estado	0.19099 s	
2	99.9163 %	Tomate en mal estado	0.19616 s	
3	99.9971 %	Tomate en buen estado	0.21162 s	
4	99.9995 %	Tomate en mal estado	0.1912 s	
5	99.9890 %	Tomate en buen estado	0.1974 s	
6	99.68 %	Tomate en mal estado	0.1989 s	
7	65.357 %	Tomate en buen estado	0.1975 s	

**CONTINÚA** 

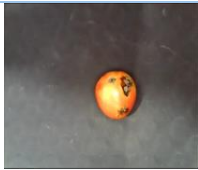


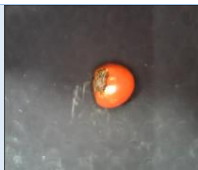

<b>8</b>	99.9455 %	Tomate en mal estado	0.1903 s	
<b>9</b>	99.9926 %	Tomate en mal estado	0.2474 s	
<b>10</b>	99.9312 %	Tomate en mal estado	0.19588 s	
<b>11</b>	99.9895 %	Tomate en mal estado	0.2192 s	
<b>12</b>	99.9771 %	Tomate en buen estado	0.2467 s	
<b>13</b>	99.9947 %	Tomate en mal estado	0.2815 s	
<b>14</b>	99.9355 %	Tomate en mal estado	0.2227 s	
<b>15</b>	99.9999 %	Tomate en mal estado	0.2869 s	
<b>16</b>	99.1316 %	Tomate en mal estado	0.2377 s	

**CONTINÚA** 

<b>17</b>	96.4988 %	Tomate en buen estado	0.2147 s	
<b>18</b>	99.997 %	Tomate en mal estado	0.2041 s	
<b>19</b>	99.9999 %	Tomate en mal estado	0.1914 s	
<b>20</b>	96.0299 %	Tomate en mal estado	0.1932 s	
<b>21</b>	75.5878 %	Tomate en mal estado	0.2349 s	
<b>22</b>	99.941 %	Tomate en mal estado	0.1959 s	
<b>23</b>	99.4146 %	Tomate en buen estado	0.1891 s	
<b>24</b>	99.9992 %	Tomate en mal estado	0.2183 s	
<b>25</b>	99.7821 %	Tomate en buen estado	0.1985 s	

**CONTINÚA** 



<b>26</b>	99.9999 %	Tomate en mal estado	0.2002 s	
<b>27</b>	95.4438 %	Tomate en mal estado	0.2204 s	
<b>28</b>	99.9999 %	Tomate en mal estado	0.2299 s	
<b>29</b>	86.7047 %	Tomate en mal estado	0.1871 s	
<b>30</b>	99.4779 %	Tomate en mal estado	0.1898 s	

En conclusión, tomando como referencia la Tabla 36 se obtuvieron 23 muestras correctas y 7 muestras incorrectas, el promedio de aceptabilidad es de 97.0608 % y el tiempo de análisis varía entre 0.19 a 0.22 segundos.

Los porcentajes bajos surgen cuando la muestra analizada presenta características que confunden a la red neuronal, la falla más común es la similitud que tienen las deformaciones en los tomates en mal estado con el pedículo de la fruta en buen estado.

### 5.4.3. Pruebas en duraznos en buen estado





En la Figura 115 se puede observar el resultado del análisis a un durazno en buen estado. Las muestras utilizadas y la tabulación de los resultados se muestran en la Tabla 37.












**Figura 120.** Resultado del análisis a un durazno en buen estado

**Tabla 37.**








*Tabulación de los resultados de las pruebas con duraznos en buen estado*

N° de muestra	Porcentaje de aceptabilidad	Estado de la fruta	Tiempo de respuesta	Muestra
1	99.9624 %	Durazno en buen estado	0.2018 s	
2	99.9844 %	Durazno en buen estado	0.2028 s	
3	99.9981 %	Durazno en buen estado	0.2113 s	
4	72.3535 %	Durazno en buen estado	0.2274 s	

**CONTINÚA** 

<b>5</b>	99.9643 %	Durazno en buen estado	0.20177 s	
<b>6</b>	70.4990 %	Durazno en buen estado	0.1941 s	
<b>7</b>	99.5959 %	Durazno en buen estado	0.2103 s	
<b>8</b>	99.9880 %	Durazno en buen estado	0.1949 s	
<b>9</b>	79.06 %	Durazno en buen estado	0.1907 s	
<b>10</b>	99.998 %	Durazno en buen estado	0.1920 s	
<b>11</b>	99.9999 %	Durazno en buen estado	0.1878 s	
<b>12</b>	99.9968 %	Durazno en buen estado	0.1920 s	
<b>13</b>	99.9774 %	Durazno en buen estado	0.2055 s	

**CONTINÚA** 

<b>14</b>	73.8626 %	Durazno en mal estado	0.1872 s	
<b>15</b>	99.9985 %	Durazno en buen estado	0.1919 s	
<b>16</b>	99.9998 %	Durazno en buen estado	0.1871 s	
<b>17</b>	99.9997 %	Durazno en buen estado	0.2139 s	
<b>18</b>	99.9989 %	Durazno en buen estado	0.18488 s	
<b>19</b>	99.6252 %	Durazno en buen estado	0.1830 s	
<b>20</b>	99.9826 %	Durazno en buen estado	0.2357 s	

En conclusión, tomando como referencia la Tabla 37 se obtuvieron 19 muestras correctas y 1 muestra incorrecta, el promedio de aceptabilidad es de 94.7422 % y el tiempo de análisis varía entre 0.19 a 0.21 segundos.

Los porcentajes bajos en las muestras analizadas se dan porque estas presentan ciertas características que confunden a la red neuronal, dado similitud de los duraznos en buen estado con los duraznos en mal estado.

#### 5.4.4. Pruebas en duraznos en mal estado


En la Figura 116 se puede observar el resultado del análisis a un durazno en mal estado. Las muestras utilizadas y la tabulación de los resultados se muestran en la Tabla 38.









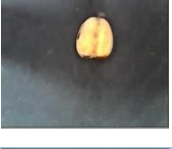
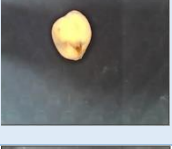

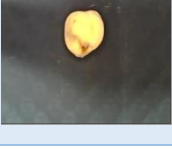
**Figura 121.** Resultado del análisis a un durazno en mal estado

**Tabla 38.**




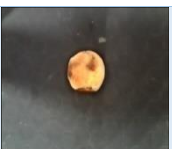

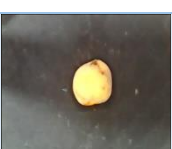
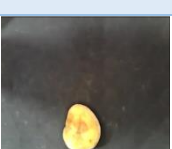


*Tabulación de los resultados de las pruebas con duraznos en mal estado*

N° de muestra	Porcentaje de aceptabilidad	Estado de la fruta	Tiempo de respuesta	Muestra
1	99.9961%	Duraznos en mal estado	0.1921 s	

**CONTINÚA** 

<b>2</b>	99.3404%	Duraznos en mal estado	0.1965 s	
<b>3</b>	99.9578%	Duraznos en buen estado	0.1909 s	
<b>4</b>	99.9839%	Duraznos en mal estado	0.1949 s	
<b>5</b>	99.1076%	Duraznos en mal estado	0.1968 s	
<b>6</b>	98.7406%	Duraznos en buen estado	0.2381 s	
<b>7</b>	99.999%	Duraznos en mal estado	0.2473 s	
<b>8</b>	69.718%	Duraznos en mal estado	0.2011 s	
<b>9</b>	94.8859%	Duraznos en mal estado	0.2910 s	
<b>10</b>	99.9711%	Duraznos en mal estado	0.2241 s	
<b>11</b>	86.1970%	Duraznos en mal estado	0.1996 s	

**CONTINÚA** 

<b>12</b>	99.909%	Duraznos en mal estado	0.2380 s	
<b>13</b>	90.6890%	Duraznos en mal estado	0.2003 s	
<b>14</b>	94.7202%	Duraznos en buen estado	0.2047 s	
<b>15</b>	99.999%	Duraznos en mal estado	0.2039 s	
<b>16</b>	99.794%	Duraznos en buen estado	0.2139 s	
<b>17</b>	96.8823%	Duraznos en mal estado	0.1941 s	
<b>18</b>	94.5072%	Duraznos en mal estado	0.2005 s	
<b>19</b>	62.1665%	Duraznos en buen estado	0.2098 s	
<b>20</b>	98.7295%	Duraznos en mal estado	0.2242 s	

En conclusión, tomando como referencia la Tabla 38 se obtuvieron 15 muestras correctas y 5 muestras incorrectas, el promedio de aceptabilidad es de 94.2647 % y el tiempo de análisis varía entre 0.19 a 0.21 segundos.

Los porcentajes bajos en las muestras analizadas se dan porque estas presentan ciertas características que confunden a la red neuronal, dado similitud de los duraznos en buen estado con los duraznos en mal estado.

## **5.5. Prueba de alimentación al sistema de transporte**

El objetivo de estas pruebas es verificar si el sistema de alimentación es eficaz al momento de alimentar la fruta al sistema de transporte, las pruebas se realizarán colocando una cierta cantidad de frutas en la tolva las cuales deben llegar al sistema de transporte para que el proceso de análisis no sea interrumpido.

### **5.5.1. Resultados de la tabulación**

Para validar la etapa de alimentación al sistema de transporte se utilizaron de 20 muestras de tomates y 20 muestras de duraznos, entre las cuales se encontraban frutas en buen y mal estado. Este proceso inicia con la apertura de la compuerta de la tolva para dar paso a las frutas hacia la banda transportadora, al ejecutar esta acción se recolectaron los datos de la Tabla 39. Es necesario aclarar que se considera que la alimentación es correcta cuando la fruta llega al sistema de transporte con facilidad, mientras que alimentación incorrecta se considera cuando la fruta tiene dificultades en llegar al sistema de transporte.



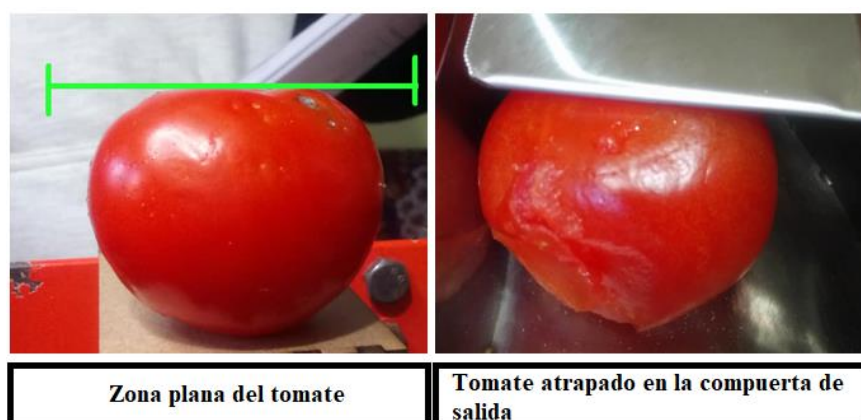
**Tabla 39.**  
*Resultados de las pruebas de alimentación*

Pruebas con tomates			Pruebas con duraznos		
N° de prueba	Alimentación correcta	Alimentación incorrecta	N° de prueba	Alimentación correcta	Alimentación incorrecta
1	X		1	X	
2	X		2		X
3	X		3	X	
4	X		4	X	
5	X		5		X
6		X	6		X
7	X		7	X	
8		X	8		X
9		X	9	X	
10	X		10	X	
11	X		11		X
12		X	12		X
13	X		13	X	
14	X		14	X	
15		X	15		X
16		X	16		X
17	X		17	X	
18		X	18		X
19		X	19		X
20	X		20	X	

En los datos recolectados se puede apreciar que, de un total de 20 muestras de tomates, 12 de estas llegaron sin problemas al sistema de transporte; mientras que, en el caso de las 20 muestras de duraznos, 10 muestras tuvieron dificultades en llegar al sistema de transporte.

Las causas por las que los tomates no llegan eficazmente al sistema de alimentación son:

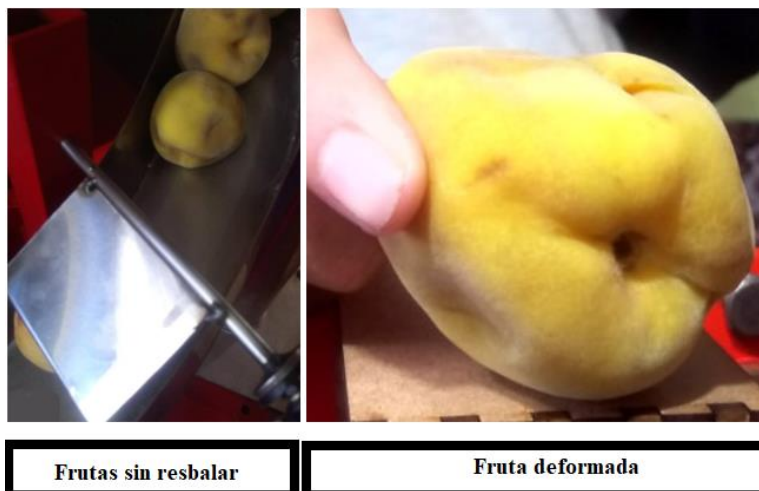
- La forma propia de las frutas, esta causa se presenta en los tomates en la zona del pedículo, donde se aprecia una superficie plana la cual evita que las frutas se desplacen correctamente a través de la tolva.
- Estado de frescura, ya que si los tomates fueron maltratados en la cosecha pueden llegar al sistema de alimentación con una contextura blanda, la cual evita que resbalen además que pueden quedar atrapados en la compuerta, estos problemas se ven en la Figura 122.



**Figura 122.** Causas de la mala alimentación al sistema en el tomate

Por otro lado, las causas por las que existen problemas de alimentación en con los duraznos son:

- La característica propia de la piel del durazno, la cual no es completamente lisa, lo que dificulta que las frutas resbalen por la rampa hasta el sistema de transporte
- Los duraznos que han sido maltratados tienden a deformarse por lo que se dificulta su circulación en la tolva de almacenamiento, estas problemáticas se las aprecia en la Figura 123.



**Figura 123.** Causas de la mala alimentación al sistema en el durazno

Para realizar el cálculo de la eficacia del sistema de alimentación como las frutas utilizadas se hace uso de la Ecuación 47.

$$Eficacia = \frac{Resultado\ alcanzado \times 100\%}{Resultado\ previsto} \quad \text{Ec. 47}$$

- Eficacia de los tomates

$$Eficacia\ tomates = \frac{12 \times 100\%}{20}$$

$$Eficacia\ tomates = 60\%$$

- Eficacia de los duraznos

$$Eficacia\ duraznos = \frac{10 \times 100\%}{20}$$

$$Eficacia\ duraznos = 50\%$$

Con los porcentajes de eficacia obtenidos en cada fruta se puede concluir que el sistema de alimentación tiene mejor desempeño trabajando con tomates, mientras que con los duraznos el desempeño es relativamente menor.

## 5.6. Prueba de separación de las frutas

El objetivo de esta prueba es determinar si se realiza la separación exitosa de las frutas en buen y mal estado, mediante el accionamiento del actuador lineal o la banda transportadora. Para el caso de las frutas en mal estado, se deberá accionar el actuador lineal, y para el caso de las frutas en buen estado, se deberá accionar la banda transportadora.

Para validar el sistema de clasificación se usaron 20 muestras de tomates y 20 muestras de duraznos, las cuales contenían frutas en buen y mal estado, esta etapa inicia su funcionamiento después de que las frutas pasan la etapa de visión artificial; los datos recolectados se muestran en la Tabla 40. En la Figura 124 se pueden apreciar algunos resultados de la separación de las frutas al final del proceso.

**Tabla 40.**

*Resultados de las pruebas de separación*

Pruebas con tomates en buen estado			Pruebas con duraznos en buen estado		
N° de prueba	Clasifica	No clasifica	N° de prueba	Clasifica	No clasifica
1	X		1	X	
2	X		2	X	
3	X		3	X	
4	X		4	X	
5	X		5	X	
6	X		6	X	
7	X		7	X	
8	X		8	X	
9	X		9	X	
10	X		10	X	

**CONTINÚA** 

Pruebas con tomates en mal estado		Pruebas con duraznos en mal estado	
11	X	11	X
12	X	12	X
13	X	13	X
14	X	14	X
15	X	15	X
16	X	16	X
17	X	17	X
18	X	18	X
19	X	19	X
20	X	20	X

En la Tabla 43 se verifica que todas las muestras de frutas fueron clasificadas correctamente, por lo que el sistema de clasificación tiene una eficacia del 100%.



**Figura 124.** (a) Accionamiento actuador lineal, (b) Accionamiento banda transportadora

## 5.7. Validación de la hipótesis

Para determinar la fiabilidad del sistema es necesario utilizar el método estadístico T-Student, con el cual se pretende comprobar que tan eficiente es la red neuronal al momento de clasificar la fruta en buen o mal estado.

La hipótesis planteada en el proyecto es:

¿El sistema de control de calidad ayudará a la detección eficiente de contaminantes superficiales de diferentes tipos de frutas?

Para la validación de la hipótesis nula o alternativas, se usarán las siguientes condiciones, descritas en la Tabla 43.

**Tabla 41.**

*Condiciones para la aceptación de las hipótesis alternativas*

Hipótesis alternativas	Condición de validación
$\mu > \mu_0$	$T > t_\alpha$
$\mu < \mu_0$	$T < -t_\alpha$
$\mu \neq \mu_0$	$T < -t_{\alpha/2} \text{ o } T > t_{\alpha/2}$

Donde, T es el valor de la distribución calculado y  $t_\alpha$  es el valor de distribución obtenido en la Tabla mostrada en el Anexo B.

### 5.7.1. Validación de la hipótesis para tomates por el método T-Student

Para la validación en la red neuronal de tomates se planteó la siguiente hipótesis nula y alternativas respectivamente:

H0: El porcentaje de aceptabilidad de la red neuronal para la clasificación de tomates es igual al 95%.

$$\mu_0 = 95\%$$

H1: El porcentaje de aceptabilidad de la red neuronal para la clasificación de tomates es mayor al 95%.

$$\mu_0 > 95\%$$

La validación inicia tomando como referencia los porcentajes de aceptabilidad de la Tabla 35 y 36; a partir de estos datos se determina la cantidad de muestras analizadas y el valor del porcentaje de aceptabilidad medio el cual representa la eficiencia de la red neuronal.

Para obtener el valor calculado de la distribución de T-Student se hace uso de la Ecuación 51.

$$T = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}} \quad \text{Ec. 51}$$

Donde:

- $\bar{X}$  = Porcentaje de aceptabilidad medio
- $\mu_0$  = Porcentaje de aceptabilidad esperado
- S = Desviación estándar
- n = Número de muestras

Para el cálculo de la desviación estándar se usa la Ecuación 52

$$S = \sqrt{\frac{\sum(X - \bar{X})^2}{n-1}} \quad \text{Ec. 52}$$

Calculando el promedio de los porcentajes con un total de n = 60 muestras en tomates, se tiene que  $\bar{X} = 97.993\%$ , y utilizando la Ecuación 52, se obtiene que:

$$S = 5.704$$

Reemplazando los datos en la Ecuación 51 se obtiene el valor de la distribución T de Student.

$$T = \frac{97.993 - 95}{\frac{5.704}{\sqrt{60}}}$$

$$T = 4.065$$

Para determinar el valor de  $t_\alpha$  se usa la Tabla del Anexo B, el cual nos da como resultado  $t_\alpha = 1.671$ . Luego comprobando con las condiciones de la Tabla 43, se obtiene que:

$$T > t_\alpha$$

$$4.065 > 1.671$$

Por lo tanto, el porcentaje de aceptabilidad de la red neuronal para la clasificación de tomates es mayor al 95%, y se puede decir que la red es fiable para determinar contaminantes en tomates.

### 5.7.2. Validación de la hipótesis para duraznos con el método T-Student

Para la validación en la red neuronal de duraznos se planteó la siguiente hipótesis nula y alternativas respectivamente:

H0: El porcentaje de aceptabilidad de la red neuronal para la clasificación de duraznos es igual al 90%.

$$\mu_0 = 90\%$$

H1: El porcentaje de aceptabilidad de la red neuronal para la clasificación de duraznos es mayor al 90%.

$$\mu_0 > 90\%$$



La validación inicia tomando como referencia los porcentajes la aceptabilidad de la Tabla 37 y 38; a partir de estos datos se determina la cantidad de muestras analizadas y el valor del porcentaje de aceptabilidad medio el cual representa la eficiencia de la red neuronal.

Calculando el promedio de los porcentajes con un total de  $n = 40$  muestras en duraznos, se tiene que  $\bar{X} = 94.503\%$ , y utilizando la Ecuación 52, se obtiene que:

$$S = 10.334$$

Reemplazando los datos en la Ecuación 51 se obtiene el valor de la distribución T de Student.

$$T = \frac{94.503 - 90}{\frac{10.334}{\sqrt{40}}}$$

$$T = 2.756$$

Para determinar el valor de  $t_\alpha$  se usa la Tabla del Anexo B, el cual da como resultado  $t_\alpha = 1.303$ . Luego comprobando con las condiciones de la Tabla 43, se obtiene que:

$$T > t_\alpha$$

$$2.756 > 1.303$$

Por lo tanto, el porcentaje de aceptabilidad de la red neuronal para la clasificación de duraznos es mayor al 90%, y se puede decir que la red es fiable para determinar contaminantes en duraznos.

### **5.7.3. Validación de la hipótesis para duraznos y tomates con el método chi-cuadrado**

La validación con el método de Chi – Cuadrado se realizará para determinar la independencia de la efectividad de la red con respecto al tipo de fruta analizada, en nuestro sistema es necesario

la independencia de las variables que se están analizando, ya que la red debe funcionar correctamente sin importar la fruta que ingrese al sistema, para la cual se plantea las siguientes hipótesis nula y alternativa, respectivamente.

**H0:** La eficiencia de la red neuronal no depende del tipo de fruta que se esté analizando.

**H1:** La eficiencia de la red neuronal depende del tipo de fruta que se esté analizando.

Utilizando los valores de las Tablas 35,37,39 y 41 se realiza la tabla de frecuencias de valores observados como se muestra en la Tabla 44.

**Tabla 42.**

*Frecuencias de valores observados*

	<b>Clasificación adecuada</b>	<b>Clasificación errónea</b>	<b>Total</b>
Resultados de las pruebas con tomates	52	8	60
Resultados de las pruebas con duraznos	34	6	40
<b>Total</b>	86	14	100

Posteriormente, se calculan las frecuencias esperadas utilizando los valores de la Tabla 44 y empleando la Ecuación 48.

$$E_{ij} = \frac{o_i o_j}{o} \quad \text{Ec. 48}$$

Donde:

- $E_{ij}$  = Frecuencia esperada
- $O_i$  = Valor total de la fila
- $O_j$  = Valor total de la columna

- $O$  = Valor total de las muestras

Aplicando la Ecuación 48 a cada una de las celdas de la Tabla 41 se obtiene la Tabla 42 que representa las frecuencias esperadas.

**Tabla 43.**  
*Frecuencias esperadas*

	<b>Clasificación adecuada</b>	<b>Clasificación errónea</b>
Resultados de las pruebas con tomates	51.6	8.4
Resultados de las pruebas con duraznos	34.4	5.6

Para el cálculo del valor del  $\chi^2$  calculado es necesario usar la Ecuación 49.

$$\chi^2 = \sum \frac{(f_o - f_E)^2}{f_E} \quad \text{Ec. 49}$$

Donde:

- $\chi^2$  = Valor de chi-cuadrado calculado
- $f_o$  = Frecuencia real
- $f_E$  = Frecuencia teórica

$$\chi^2 = \frac{(52 - 51.6)^2}{51.6} + \frac{(34 - 34.8)^2}{34.8} + \frac{(8 - 8.4)^2}{8.4} + \frac{(6 - 5.6)^2}{5.6} +$$

$$\chi^2 = 0.2366$$

Se establece el margen de error o valor de significancia, el cual es recomendable al 5%, que a su vez es  $\alpha=0.05$ , y también es necesario calcular los grados de libertad mediante la Ecuación 50.

$$v = (\text{filas} - 1)(\text{columnas} - 1)$$

Ec. 50

$$v = (2 - 1)(2 - 1)$$

$$v = (1)(1)$$

$$v = 1$$

Con la ayuda de los grados de libertad y el margen de error se puede determinar el valor del chi cuadrado de tabla  $\chi^2_{Tabla} = 3.84$ , el cual es extraído de la Figura 125.

DISTRIBUCION DE  $\chi^2$

Grados de libertad	Probabilidad										
	0,95	0,90	0,80	0,70	0,50	0,30	0,20	0,10	0,05	0,01	0,001
1	0,004	0,02	0,06	0,15	0,46	1,07	1,64	2,71	3,84	6,64	10,83
2	0,10	0,21	0,45	0,71	1,39	2,41	3,22	4,60	5,99	9,21	13,82
3	0,35	0,58	1,01	1,42	2,37	3,66	4,64	6,25	7,82	11,34	16,27
4	0,71	1,06	1,65	2,20	3,36	4,88	5,99	7,78	9,49	13,28	18,47
5	1,14	1,61	2,34	3,00	4,35	6,06	7,29	9,24	11,07	15,09	20,52
6	1,63	2,20	3,07	3,83	5,35	7,23	8,56	10,64	12,59	16,81	22,46
7	2,17	2,83	3,82	4,67	6,35	8,38	9,80	12,02	14,07	18,48	24,32
8	2,73	3,49	4,59	5,53	7,34	9,52	11,03	13,36	15,51	20,09	26,12
9	3,32	4,17	5,38	6,39	8,34	10,66	12,24	14,68	16,92	21,67	27,88
10	3,94	4,86	6,18	7,27	9,34	11,78	13,44	15,99	18,31	23,21	29,59
	No significativo								Significativo		

Figura 125. Tabla de distribución de  $\chi^2$

Para que determinar cuál hipótesis es la correcta es necesario comparar los valores calculados con los cuales se obtiene que

$$X_{Calculado}^2 < X_{Tabla}^2$$

$$0.2366 < 3.84$$

Este resultado nos da evidencia de que se descarta la hipótesis alternativa, lo cual indica que la hipótesis nula es válida, por lo que, la eficiencia del sistema de control de calidad no depende de la fruta que se esté analizando.

## 5.8. Análisis económico del proyecto

En la Tabla 44 se puede observar los detalles de los gastos generales realizados en el transcurso de la elaboración del sistema de almacenamiento, transporte, visión artificial y clasificación.

**Tabla 44.**

*Análisis económico de los materiales utilizados*

<b>Cantidad</b>	<b>Detalle</b>	<b>Valor Unitario \$</b>	<b>Valor Total \$</b>
<b>Materiales de ensamble general</b>			
1	Media plancha lámina de 2mm negro	50.00	50.00
1	Media plancha lámina de 1mm negro	25.00	25.00
1	Media plancha de acero inoxidable 2mm	120.00	120.00
1	Media plancha lámina 3mm negro	50.00	50.00
2	Perfil cuadrado 25mm x 1.5mm	12.00	24.00
1	Perfil cuadrado 50mm x 2mm	42.00	42.00
1	Perfil en C 50mm x 3mm	53.00	53.00
2	Ejes	14.00	28.00
8	Cauchos	0.50	4.00
1	Cuarto de plancha de Acrílico	50.00	50.00
1	Piñón de 20 dientes	8.00	8.00
1	Piñón de 60 dientes	22.00	22.00
1	Correa sincrónica de laso cerrado	8.00	8.00
2	Chumaceras	2.00	4.00
60	Pernos M6	0.10	6.00
60	Tuercas de seguridad	0.10	6.00
1	Banda transportadora	20.00	20.00
1	Acople actuador lineal	10.00	10.00
<b>Subtotal</b>			530.00
<b>Material eléctrico y electrónico</b>			

**CONTINÚA** 

1	Motor a pasos (19 kg.cm)	79.00	79.00
1	Driver TB6600 V1.2-5A	32.00	32.00
1	Actuador lineal eléctrico de 230mm/s de velocidad y 150mm de alcance	150.00	150.00
1	Servo motor MG996 13K	10.00	10.00
2	Sensor infrarrojo	9.00	18.00
1	Fuente de energía 24V 15A	35.00	35.00
1	Regulador de voltaje variable	15.00	15.00
5	Relés 5V	0.90	4.50
1	Cautín	2.50	2.50
1	Estaño (2 m)	0.50	0.50
1	Crema para soldar	1.50	1.50
1	Placa perforada	1.00	1.00
1	Cable de timbre (5m)	2.00	2.00
1	Cable gemelo (5m)	2.00	2.00
1	Canaletas (4 m)	4.00	4.00
<b>Subtotal</b>			357.00
<b>Sistema de visión artificial</b>			
1	Soporte de iluminación	15.00	15.00
1	Cámara web 1000x HD Genius	50.00	50.00
1	Tira de leds	5.00	5.00
1	Transformador de 30V	10.00	10.00
1	Papel polarizado	2.50	2.50
1	Pintura electroestática	25.00	25.00
1	Herramientas y materiales varios	50.00	50.00
1	Papel e impresiones	30.00	30.00
<b>Subtotal</b>			187.50
<b>Diseño e implementación del sistema de clasificación</b>			50.00

**CONTINÚA** 

<b>Diseño e implementación del circuito electrónico y de control</b>	50.00
<b>TOTAL</b>	\$1174.50

El costo total para la implementación del proyecto alcanza la suma de \$1174.50 dólares considerando el costo de diseño e implementación realizada por los autores, el cual comparado con un módulo comercial para la clasificación de la compañía Festo (2018) que bordean los \$9000 que cumplen el mismo propósito, se puede verificar que el proyecto es factible económicamente.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. Conclusiones

- El sistema de almacenamiento y alimentación consta de una tolva tipo espiral para cuidar y mantener las frutas en buen estado evitando su acumulación, la cual alimenta frutas en un rango de 6 a 8 cm de diámetro, siendo este valor un tamaño promedio de las frutas en el mercado nacional, el volumen total de la tolva es de  $9098 \text{ cm}^3$  lo que representa una cantidad aproximada de 45 frutas dentro de la tolva, además se cuenta con una cubierta de acrílico que ayuda a la protección de las frutas de cualquier contaminante externo, validando así la norma ISO 16143-2:2014 Aceros inoxidables resistentes a la corrosión y NTE INEN 3039 Almacenamiento y refrigeración.
- El sistema de transporte consta de un eje motriz que cumple con la primera condición de diseño, no debe fallar por fractura, ya que el factor de seguridad es de 2.89 el cual es mayor al recomendado de 2 para cargas estáticas, consta de una banda lisa con una superficie de trabajo de 28 cm de ancho por 60 cm de largo accionada por un motor a pasos Nema 19 y con una transmisión de 1:3 para disminuir la velocidad del eje de la banda y aumentar la fuerza del torque del motor a 7.32 N.m.
- Las estructuras de soporte para el sistema fueron validadas mediante un software CAE, para la mesa soporte se obtuvo una tensión de Von Mises de 11.53 MPa, el cual es menor que el límite elástico de 351.6 MPa del acero A36, cumpliendo así con la primera condición de diseño, no debe fallar por fractura, se obtuvo la deformación máxima, la cual fue de 0.00266



mm, la cual es mínima y se cumple la segunda condición de diseño, la flexión no debe ser excesiva, del mismo modo para la estructura soporte de la banda transportadora se obtuvo una tensión de Von Mises de 271.4 MPa la cual se encuentra dentro del límite permisible, cumpliendo así con la primera condición de diseño, además se obtuvo la deformación máxima, la cual fue 0.2 mm, la cual es mínima y se cumple la segunda condición de diseño.

- El sistema de visión artificial consta de una cámara web Genius FaceCam1000x, con una resolución de 640x480 pixels, la cual ayuda al modelo implementado en la red neuronal que trabaja con imágenes de pocos píxeles, a la vez se implementó un sistema de iluminación el cual ayuda a eliminar las sombras generadas en las frutas, generando un mayor grado de aceptabilidad y 0.2 segundos menos en el tiempo de análisis de la red neuronal.
- La red neuronal utilizada fue TensorFlow la cual se entrenó con la ayuda del lenguaje de programación Python y del modelo Mobilnet\_v1\_1.0\_224 y se obtuvieron dos redes neuronales, una para el análisis de tomates y otra para duraznos, para las 2 redes se usaron 3 clases; fruta en buen estado, mal estado y ausencia de frutas, en la red de tomates se utilizó un *dataset* de 560 imágenes, obteniendo una aceptabilidad en la red superior al 97%, mientras que en la red de duraznos se utilizó un *dataset* de 400 imágenes, obteniendo una aceptabilidad en la red superior al 94%, es importante conocer que el grado de aceptabilidad de la red depende del número de imágenes del *dataset* con la cual se entrene a la red.
- El procesamiento de imágenes y la creación de la interfaz gráfica fue realizada en OpenCV con la ayuda del entorno de desarrollo *Qt Creator*, en la interfaz gráfica se establecen dos etapas, la primera para la verificación y conexión de los componentes, y la segunda para la

operación y monitoreo del proceso general, los botones están programados para realizar acciones específicas y así evitar fallos en el monitoreo y utilización del panel de control, la comunicación se la realizó mediante el controlador Arduino Uno, permitiendo un control serial eficiente en todo el sistema.

- El sistema de clasificación está formado por un actuador lineal con accionamiento eléctrico con 150 mm de carrera y una velocidad de 230 mm/s, el actuador es alimentado con 23V generados por una fuente de voltaje variable con la que se obtiene la mayor velocidad del actuador, el porcentaje de eficacia del sistema es del 100% debido a que no existe errores en los mecanismos al momento de clasificar las frutas en buen o mal estado.
- El sistema de alimentación satisface la necesidad del 60% de la producción debido a la irregularidad en la forma, textura, y estado de las frutas, obteniendo un 60% de eficacia en la alimentación de tomates y un 50% en la alimentación de duraznos, dichos porcentajes se deben a factores propios de las frutas analizadas, tales como: forma, textura, estado de la fruta, tamaño, etc, las cuales dificultan la alimentación al sistema de transporte y por ende al funcionamiento general del sistema.
- El sistema de control de calidad tiene un grado de aceptabilidad en la red neuronal para tomates superior al 95%, mientras que en la aceptabilidad en la red neuronal para duraznos superior al 90%, se utilizaron 100 muestras, los porcentajes dependen de la cantidad de *dataset* con los que se entrenaron a la red. Además, se validó la independencia del funcionamiento de la red con el tipo de fruta, mediante el método estadístico del chi-cuadrado.

## 6.2. Recomendaciones

- Considerar las imperfecciones en la forma y textura de los diferentes tipos de frutas, para evitar bloqueos o fallas en el momento de alimentar el sistema de control de calidad.
- Rediseñar el sistema de alimentación, para que las frutas no sean maltratadas al momento de ingresar al sistema de transporte.
- Verificar que la banda transportadora esté templada y alineada con respecto al eje motriz y eje de cola, para evitar desplazamientos de esta al momento de su funcionamiento.
- Implementar cámaras laterales e inferiores para obtener un mayor rango de visión al momento del análisis de la fruta, porque una sola cámara no puede tener el rango de visión necesario para analizar sólidos complejos.
- Se recomienda usar una cámara con autoenfoco, debido a que el enfoque manual genera distorsiones al momento de la captura de la imagen y produce retrasos al momento de enfocar la fruta deseada.
- Usar una tarjeta de control con mayores prestaciones de las que nos ofrece Arduino Uno, con el fin de mejorar los tiempos de envío y recepción de datos.
- Trabajar en un ambiente de iluminación adecuado, debido a que lámparas o cualquier fuente de iluminación puede generar sombras en la fruta y por ende alterar el análisis requerido.
- Tener cuidado al momento de la expulsión de la fruta con el actuador lineal, ya que posee mucha fuerza de empuje y puede ocasionar accidentes al operario.
- Generar un sistema de guías para que las frutas al momento de ser expulsadas no caigan bruscamente en las canastas contenedoras.

- Al momento del entrenamiento de la red, tener cuidado cuando se direccionen las carpetas de las imágenes y modelos utilizados, ya que generan conflicto al momento de su ejecución.
- Se recomienda tener el software Visual Studio en el computador, lo más actualizado posible.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACORSA. (2018). *Fajas transportadoras*. Recuperado el 20 de Julio de 2018, de acorsaperu: <http://www.acorsaperu.com/productos/fajas-transportadoras.html>
- Acrison. (2018). *Dosificadores gravimétricos*. Recuperado el 31 de Mayo de 2018, de Acrison.com: <https://acrison.com/es/linea-de-productos/dosificadores-gravimetricos/>
- Acrison. (2018). *Dosificadores volumétricos*. Recuperado el 31 de Mayo de 2018, de Acrison.com: <https://acrison.com/es/linea-de-productos/dosificadores-volumetricos/>
- Alfogar. (2018). *Tolvas de almacenaje: están fabricadas en acero inoxidable*. Recuperado el 30 de Mayo de 2018, de Interempresas.net: <https://www.interempresas.net/Alimentaria/FeriaVirtual/Producto-Tolvas-de-almacenaje-88679.html>
- Alibaba. (2018). *Tolva relleno máquina de llenado salsa mezcla tolva, tarro de miel jugo de pulpa de fruta grasa mantequilla de cacahuete granulos relleno*. Recuperado el 27 de Agosto de 2018, de Alibaba.com: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/hopper-filler-sauce-filling-machine-mixing-hopper-jar-honey-juice-fruit-pulp-grease-peanut-butter-chocolate-granules-filler-60691502793.html?spm=a2700.8699010.29.17.3972c77c0wbHNA>
- Apache. (Enero de 2004). *Apache Licence 2.0*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2018, de Apache Software Foundation: <https://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0>
- Arreaga, J. O. (18 de Marzo de 2013). *Control de calidad*. Recuperado el 13 de Junio de 2018, de Gestipolis: <https://www.gestipolis.com/control-de-calidad/>
- artofcircuits. (2018). *artofcircuits*. Recuperado el 04 de Agosto de 2018, de <https://artofcircuits.com/product/hy-div268n-5a-cnc-single-axis-tb6600-0-2a-5a-two-phase-hybrid-stepper-motor-driver-controller>
- Astudillo, G. (05 de Febrero de 2011). *El durazno es demandado por su valor nutritivo y su sabor*. Recuperado el 17 de Agosto de 2018, de elComercio.com: <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/durazno-demandado-nutritivo-y-sabor.html>
- Atox. (2018). *Sistema de transporte por rodillos*. Recuperado el 15 de Agosto de 2018, de atoxgrupo: <http://www.atoxgrupo.com/web/site/automatizacion-del-almacen/sistemas-de-transporte-de-rodillos>
- AUMA. (2015). *Actuadores eléctricos*. Recuperado el 22 de Agosto de 2018, de Auma.com: [http://www1.auma.com/uploads/media/sp\\_import2/prospekte/pb\\_modular\\_range\\_es.pdf](http://www1.auma.com/uploads/media/sp_import2/prospekte/pb_modular_range_es.pdf)

- Banggood. (2018). *Banggood*. Recuperado el 12 de Julio de 2018, de [https://www.banggood.com/es/DC-24V6A-150W-Switching-Power-Supply-Module-High-Power-Industrial-Power-Module-Bare-Board-p-1322447.html?cur\\_warehouse=CN](https://www.banggood.com/es/DC-24V6A-150W-Switching-Power-Supply-Module-High-Power-Industrial-Power-Module-Bare-Board-p-1322447.html?cur_warehouse=CN)
- Bansbach. (2018). *Easye-Line*. Recuperado el 24 de Julio de 2018, de [www.bansbach.com](http://www.bansbach.com): <https://www.bansbach.com/index.php/en/products/easye-line/easye-50>
- Bernal, R. (2010). Enfermedades del Tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) en invernadero en las zonas de Salto y Bella Unión. *INIA*.
- Bicho, A. (24 de Agosto de 2014). *Cultivos del tomate: plagas y remedios*. Recuperado el 17 de Agosto de 2018, de La Huertina: <http://www.lahuertinadetoni.es/cultivo-del-tomate-plagas-y-remedios/>
- Blanco, M. (2018). *Sistema de rotación*. Obtenido de Scribd: <https://es.scribd.com/doc/49898718/SISTEMA-DE-ROTACION>
- CANNA. (2018). ¿Cómo controlar plagas y enfermedades? Lo biológico frente a lo químico. *CANNA*, 1-3.
- Carmen. (16 de Julio de 2012). *Latinofitclub*. Recuperado el 14 de Agosto de 2018, de <http://www.latinofitclub.com/frutas-vegetales-organico-vs-inorganico/>
- Centralair. (2015). *Actuadores neumáticos*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2018, de [Centralair.es](http://www.centralair.es/es/actuadores-neumaticos): <http://www.centralair.es/es/actuadores-neumaticos>
- COGNEX. (s.f.). *Introducción a la visión artificial*. Recuperado el 07 de Agosto de 2018, de [ikusmen](http://www.ikusmen.com/documentos/descargas/3cbb38_Introduction%20to%20Machine%20Vision.pdf): [http://www.ikusmen.com/documentos/descargas/3cbb38\\_Introduction%20to%20Machine%20Vision.pdf](http://www.ikusmen.com/documentos/descargas/3cbb38_Introduction%20to%20Machine%20Vision.pdf)
- Dassault Systèmes S.A. (2018). *Descubre las soluciones SOLIDWORKS*. Recuperado el 13 de Octubre de 2018, de [Solidworks.es](http://www.solidworks.es): [http://www.solidworks.es/sw/products/solidworks-products-adwords.htm?mktid=8113&utm\\_campaign=LATAM-ES-REQUEST-BRAND-GOOGLE-ADWORDS&utm\\_medium=Search&utm\\_source=Google&gclid=CjwKCAjw4uXaBRACeIwAuAUz8H4rSEqfAtIJVdgLc6SIkJmqRYFm\\_YXHsk7EjTpfOzS-5J8FSKYsnxoCu3](http://www.solidworks.es/sw/products/solidworks-products-adwords.htm?mktid=8113&utm_campaign=LATAM-ES-REQUEST-BRAND-GOOGLE-ADWORDS&utm_medium=Search&utm_source=Google&gclid=CjwKCAjw4uXaBRACeIwAuAUz8H4rSEqfAtIJVdgLc6SIkJmqRYFm_YXHsk7EjTpfOzS-5J8FSKYsnxoCu3)
- Debitoor. (2018). *¿Qué es el control de calidad?* Recuperado el 14 de Junio de 2018, de [Debitoor.es](https://debitoor.es/glosario/definicion-control-calidad): <https://debitoor.es/glosario/definicion-control-calidad>
- Embalajes Terra. (19 de Enero de 2017). *El transportador de rodillos y su importancia en la industria*. Recuperado el 29 de Septiembre de 2018, de

[https://www.embalajesterra.com/blog/transportador-de-rodillos-industria/#ventajas\\_del\\_uso\\_del\\_transportador\\_de\\_rodillos](https://www.embalajesterra.com/blog/transportador-de-rodillos-industria/#ventajas_del_uso_del_transportador_de_rodillos)

Embalajesterra. (19 de Enero de 2017). *Transportadores de rodillos*. Recuperado el 16 de Julio de 2018, de embalajesterra: <https://www.embalajesterra.com/blog/transportador-de-rodillos-industria/>

FAO. (2018). *Capítulo 5. La calidad en frutas y hortalizas*. Recuperado el 14 de Junio de 2018, de Fao.org: <http://www.fao.org/docrep/006/Y4893S/y4893s08.htm#TopOfPage>

Fernandez, A. (2016). *Funcionamiento de Correas Transportadoras*. Recuperado el 20 de Octubre de 2018, de fernandezantonio: <http://www.fernandezantonio.com.ar/documentos%5C020.pdf>

Fernández, J. (2017). *Contaminantes en frutas y hortalizas*. Recuperado el 17 de Junio de 2018, de Diabetes al día: [http://www.diabetesaldia.info/dad/index.php?option=com\\_content&view=article&id=800:contaminantes-en-frutas-y-hortalizas&catid=124:edicion-11](http://www.diabetesaldia.info/dad/index.php?option=com_content&view=article&id=800:contaminantes-en-frutas-y-hortalizas&catid=124:edicion-11)

Ferrer, A. (19 de Septiembre de 2015). *EL TOMATE, ¿ES UNA FRUTA? ¿UNA HORTALIZA? ¿UNA VERDURA?* Recuperado el 18 de Agosto de 2018, de Quo: <http://www.quo.es/naturaleza/el-tomate-es-una-fruta-una-hortaliza-una-verdura>

FESTO. (2018). *Cilindros de acero inoxidable*. Recuperado el 24 de Julio de 2018, de Festo: [https://www.festo.com/cat/es-mx\\_mx/data/doc\\_es/PDF/ES/CR-DRIVES\\_ES.PDF](https://www.festo.com/cat/es-mx_mx/data/doc_es/PDF/ES/CR-DRIVES_ES.PDF)

festo-didactic. (2018). *Estación de Clasificación: Final*. Recuperado el 19 de Julio de 2018, de festo-didactic: <https://www.festo-didactic.com/es-es/productos/mps-sistema-de-produccion-modular/estaciones/estacion-de-clasificacion-final.htm?>

Fidemar. (2018). *Sensores de proximidad*. Recuperado el 27 de Julio de 2018, de Fidemar.com: <http://www.fidemar.com.uy/site/www/productos/sensores-de-proximidad.c7.html>

Fotonostra. (2018). *Escala de grises (grayscale)*. Recuperado el Agosto 27 de 2018, de fotonostra: <https://www.fotonostra.com/glosario/escalagrisesgrayscale.htm>

García, J. (Septiembre de 2015). *Así funciona el motor de corriente directa o continua*. Recuperado el 19 de Julio de 2018, de Así funciona: [http://www.asifunciona.com/electrotecnia/af\\_motor\\_cd/af\\_motor\\_cd\\_6.htm](http://www.asifunciona.com/electrotecnia/af_motor_cd/af_motor_cd_6.htm)

Garcinuño, R. (2016). *CONTAMINACIÓN DE LOS ALIMENTOS DURANTE LOS PROCESOS DE ORIGEN Y ALMACENAMIENTO*.

Geekbot. (21 de Abril de 2015). *Motores de DC*. Recuperado el 20 de Julio de 2018, de Geekbot: <http://www.geekbotelectronics.com/motores-de-dc/>

- Genius. (2018). *pe.geniusnet*. Recuperado el 15 de Julio de 2018, de <http://pe.geniusnet.com/product/facecam-1000x>
- Henan Zhongke Ingeniería y Tecnología Co. Ltd. (2018). *Tanque de Espiral paracaidas*. Recuperado el 07 de Octubre de 2018, de Airconcrete: <http://www.airconcrete.com/equipos-minerales/espiral-paracaidas.html>
- Hubor. (2015). *¿Qué es proteus?* Recuperado el 12 de Agosto de 2018, de Hubor - Proteus: <http://www.hubor-proteus.com/proteus-pcb/proteus-pcb/2-proteus.html>
- Industrias JQ. (2016). *Poliretano: Datos técnicos*. Recuperado el 17 de Agosto de 2018, de Industrias JQ: <http://www.jq.com.ar/imagenes/productos/poliuretano/poliurprop/dtecnicos.htm>
- INEN. (2015). Recuperado el 06 de Septiembre de 2018, de <https://studylib.es/doc/7629876/nte-inen-3039---servicio-ecuatoriano-de-normalizaci%C3%B3n>
- Infaimon. (2017). *Cámaras infrarrojas/térmicas*. Recuperado el 18 de Julio de 2018, de Infaimon.com: <https://www.infaimon.com/categoria-producto/camaras/camaras-infrarrojas-termicas/>
- Infaimon. (2018). *Cámaras matriciales*. Recuperado el 18 de Julio de 2018, de Infaimon: <https://www.infaimon.com/categoria-producto/camaras/camaras-matriciales/>
- InformaticaModerna. (22 de Enero de 2014). *Cámara Web/webcam*. Recuperado el 15 de Julio de 2018, de informaticamoderna: [http://www.informaticamoderna.com/Camara\\_web.htm](http://www.informaticamoderna.com/Camara_web.htm)
- Inoxcenter s.a. (s.f.). *Características del acero inoxidable*. Recuperado el 20 de Agosto de 2018, de inoxcenter.com: <http://inoxcenter.com/caracteristicas-acero-inoxidable/>
- ISO. (2014). *dgn.isolutions.iso*. Recuperado el 19 de Julio de 2018, de <https://dgn.isolutions.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:16143:-2:ed-1:v1:en>
- Larrañaga, P., Inza, I., & Moujahid, A. (s.f.). *Redes Neuronales. Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea, 2-4*.
- Logitech. (2018). *HD PRO WEBCAM C920*. Recuperado el 04 de Noviembre de 2018, de logitech.com: <https://www.logitech.com/es-mx/product/hd-pro-webcam-c920>
- López Peralta, J. (2008). *Equipo de manejo de materiales*. México: UAM-AZCAPOTZALCO.
- Lowstars. (25 de Julio de 2017). *Partes de un transportador*. Recuperado el 12 de Octubre de 2018, de Lowstars: <http://www.lowstars.com/mAXI1dRA/>



- Maquinariapro. (2017). *Características de un sistema electrónico*. Recuperado el 30 de Junio de 2018, de Maquinariapro.com: <http://www.maquinariapro.com/sistemas/sistema-electronico.html>
- MarkerShopBCN. (2018). *markershopbcn*. Recuperado el 19 de Noviembre de 2018, de <https://makershopbcn.com/producto/motor-nema-23-270oz>
- Mata, J., & Molina, W. (Julio de 2014). Diseño y construcción de una estación didáctica para el suministro y transporte de materia granulada con interfaz humano - máquina y comunicación inalámbrica para el laboratorio de Mecatrónica de la ESPE-L. Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.
- Matich, D. (2001). Redes Neuronales: Conceptos Básicos y Aplicaciones. *Universidad Tecnológica Nacional*, 8-10.
- MDSolids Software. (02 de Agosto de 2013). *MDSolids*. Recuperado el 02 de Octubre de 2018, de CNET: [http://descargar.cnet.com/MDSolids/3000-20415\\_4-75966440.html](http://descargar.cnet.com/MDSolids/3000-20415_4-75966440.html)
- Microsoft. (2018). *Lifecam Cinema*. Recuperado el 15 de Octubre de 2018, de microsoft.com: <https://www.microsoft.com/accessories/en-us/products/webcams/lifecam-cinema/h5d-00013>
- Microsoft. (2018). *LifeCam HD-3000*. Recuperado el 15 de Octubre de 2018, de microsoft.com: <https://www.microsoft.com/accessories/es-es/products/webcams/lifecam-hd-3000/t3h-00002>
- Miranda, A. (13 de Agosto de 2013). *Sistema electrónico*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2018, de Slide Share: <https://es.slideshare.net/anamiranda1610/sistema-electrnico>
- Moreno, A., Ballesteros, D., & Sánchez, G. (2012). UN PROTOTIPO MECÁNICO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE SELECCIÓN DEL MANGO TIPO EXPORTACIÓN. *Ingenierías Universidad de Medellín*, 154-156.
- Moreta, M. (12 de Marzo de 2011). *Ocho variedades de tomate riñon están en los mercados locales*. Recuperado el 09 de Julio de 2018, de ElComercio.com: <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/ocho-variedades-de-tomate-rinon.html>
- Mott, R. L. (2009). *Resistencia de materiales*. México: Pearson .
- Moviltronics. (2018). *Moviltronics*. Recuperado el 15 de Julio de 2018, de <https://moviltronics.com.co/servomotores-/233-servomotor-mg996-12kg.html>
- Moya, M. (18 de Abril de 2015). *Ficha técnica del cultivo del durazno*. Recuperado el 29 de Julio de 2018, de academia.edu: [https://www.academia.edu/17322179/Ficha\\_técnica\\_del\\_Cultivo\\_de\\_Durazno](https://www.academia.edu/17322179/Ficha_técnica_del_Cultivo_de_Durazno)

- Murray, M. (Abril de 2014). *Plagas frutales: Manzana*. Recuperado el 18 de Julio de 2018, de Utha Pests: <https://utahpests.usu.edu/upddl/files-ou/factsheet/apple-pests-ESP.pdf>
- Muther, R., & Knut, H. (1970). *Systematic Handling Analysis*. España: Management and Industrial research publications.
- naylampmechatronics. (2018). Recuperado el 15 de Julio de 2018, de <https://naylampmechatronics.com/sensores-proximidad/236-sensor-infrarrojo-e18-d80nk.html>
- NOVACERO S.A. (2018). *Canales*. Recuperado el 14 de Junio de 2018, de Novacero.com: <http://www.novacero.com/catalogo-productos/perfiles-estructurales/conformados/canales.html#especificaciones-t%C3%A9cnicas>
- Nunsys. (18 de Septiembre de 2017). *La importancia de la visión artificial en industria 4.0*. Recuperado el 12 de Junio de 2018, de Nunsys: <https://nunsys.com/vision-artificial-industria-4-0/>
- Nutriglam. (28 de Junio de 2017). *Infobae*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2018, de <https://www.infobae.com/tendencias/nutriglam/2017/06/28/moho-en-los-alimentos-cuales-son-los-verdaderos-riesgos-de-ingerirlo/>
- OpenCV. (2018). *opencv*. Recuperado el 02 de Enero de 2019, de <https://opencv.org/>
- Organización Mundial de la Salud. (Octubre de 2017). *Inocuidad de los alimentos*. Recuperado el 12 de Junio de 2018, de Who: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs399/es/>
- OSHA. (14 de Febrero de 2007). *osha.gov*. Recuperado el 2016 de Septiembre de 2018, de <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.305>
- Pemigsa. (30 de Mayo de 2017). *TIPOS DE BANDAS TRANSPORTADORAS*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2018, de pemigsa.com.mx: <https://pemigsa.com.mx/tipos-bandas-transportadoras>
- PEÑAYCIA. (2018). *Transportador de gravedad*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2018, de penaycia: <http://www.penaycia.com/sistemas-de-transportadores/transportador-de-gravedad.aspx>
- Pérez, P. (2017). *Alimentos ecológicos y contaminación química de alimentos*. Recuperado el 14 de Septiembre de 2018, de Alimenta tu bienestar: <https://www.alimentatubienestar.es/alimentos-ecologicos-y-contaminacion-quimica-de-alimentos/>
- Porto, J., & Gardey, A. (2012). *Definición de material*. Recuperado el 12 de Octubre de 2018, de Definición: <https://definicion.de/material/>

- Ramones, G. (02 de Agosto de 2014). *Tolvas y sistemas de almacenamiento*. Recuperado el 17 de Julio de 2018, de Prezi.com: <https://prezi.com/-r4y-kpv1cue/tolvas-y-sistemas-de-almacenamiento-a-granel/>
- Salazar, B. (2017). *Sistemas de almacenamiento*. Recuperado el 15 de Agosto de 2018, de Ingeniería industrial online: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/gestión-de-almacenes/sistemas-de-almacenamiento/>
- Salgado, E. (2017). *Actuadores hidráulicos*. Recuperado el 17 de Julio de 2018, de Scribd: <https://es.scribd.com/document/282207402/ACTUADORES-HIDRAULICOS>
- Schrage Conveying Systems. (2018). *Cinta transportadora*. Recuperado el 13 de Agosto de 2018, de schrage: <https://www.schrage.de/es/schrage-informa/diccionario-tecnico/cinta-transportadora.html?mobile=1Jens-Rudolf>
- Siegling Transilon. (2017). *Cálculo para bandas transportadoras*. Recuperado el 29 de Agosto de 2018, de Forbo: [https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj4sI\\_0ibjcAhWLu1MKHWYtDjYQFgg4MAA&url=https%3A%2F%2Fforbo.blob.core.windows.net%2Fforbodocuments%2F7376%2F304-fms\\_transilon-calculo-de-la-banda-transportadora\\_es](https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj4sI_0ibjcAhWLu1MKHWYtDjYQFgg4MAA&url=https%3A%2F%2Fforbo.blob.core.windows.net%2Fforbodocuments%2F7376%2F304-fms_transilon-calculo-de-la-banda-transportadora_es).
- Soria, J. (2010). *Manual del duraznero. Manejo integrado de plagas y enfermedades*. Montevideo: INIA.
- store.robodacta. (2018). *Servomotor Micro MG90S*. Recuperado el 24 de Julio de 2018, de store.robodacta.mx: <https://store.robodacta.mx/servomotores/powerhd-goteck/servomotor-micro-mg90s/>
- Suprlus Auto. (2018). *AliExpress*. Recuperado el 15 de Julio de 2018, de [https://es.aliexpress.com/item/Free-shipping-stroke-150mm-6-12V-230mm-s-high-speed-Linear-actuator-Electric-actuator-DC-Reciprocating/1349298239.html?dp=21794-31480.4993620&aff\\_platform=aaf&cpt=1544470240281&sk=bIpdculK&aff\\_trace\\_key=32ea4da6f70c41a192326](https://es.aliexpress.com/item/Free-shipping-stroke-150mm-6-12V-230mm-s-high-speed-Linear-actuator-Electric-actuator-DC-Reciprocating/1349298239.html?dp=21794-31480.4993620&aff_platform=aaf&cpt=1544470240281&sk=bIpdculK&aff_trace_key=32ea4da6f70c41a192326)
- Syngenta. (2018). *Plagas del tomate*. Recuperado el 13 de Julio de 2018, de Syngenta.es: <https://www.syngenta.es/cultivos/tomate/plagas>
- Tábara, R. (s.f.). *Ficha técnica del tomate*. Recuperado el 25 de Julio de 2018, de Scribd.com: <https://es.scribd.com/document/152505116/Ficha-Tecnica-de-Tomate>
- Thomson. (2016). *Actuadores eléctricos - Actuadores lineales*. Obtenido de Thomson Linear Motion: <https://www.thomsonlinear.com/website/esm/esm/products/actuators/electric-linear-actuators.php>

- Vélez, J., Moreno, A., & Sánchez, Á. (2016). *Visión por computador*. Madrid.
- Velneo. (03 de Diciembre de 2014). *¿Qué es un lenguaje de programación?* Recuperado el 30 de Julio de 2018, de Velneo.es: <https://velneo.es/que-es-un-lenguaje-de-programacion/>
- Vildósola, E. (2017). *Actuadores*. Recuperado el 27 de Julio de 2018, de Aie.cl: <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/actuadores.pdf>
- Xinhai. (2017). *Chute espiral*. Recuperado el 16 de Agosto de 2018, de <http://2017gyeongjuowhc.org/products/chute-espiral.html>
- Zabala, M., & Alvarado, S. (15 de Enero de 2008). *Diseño y construcción de un prototipo de robot electroneumático escalador para inspección de lugares inaccesibles sobre superficies planas y lisas*. Recuperado el 22 de Junio de 2018, de Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/953/3/T-ESPE-025351-3.pdf>
- Zaforas, M. (31 de Mayo de 2017). *TensorFlow, o cómo será el futuro de la Inteligencia Artificial según Google*. Recuperado el 04 de Agosto de 2018, de Paradigma Digital: <https://www.paradigmadigital.com/dev/tensorflow-sera-futuro-la-inteligencia-artificial-segun-google/>

# ANEXOS



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores: **MOLINA LLUMITASIG, LUIS MIGUEL** y **VARGAS CORRALES, CARLOS EDUARDO**.

En la ciudad de Latacunga, a los **25 días del mes de enero del 2019**.

Ing. Nathaly Rea  
DIRECTORA DEL PROYECTO

Ing. Vicente Hallo  
DIRECTOR DE CARRERA

Dr. Rodrigo Vaca  
SECRETARIO ACADÉMICO