



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

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE  
AUTOMATIZACIÓN PARA LA SELECCIÓN DE MANGOS DE  
EXPORTACIÓN UTILIZANDO UNA TARJETA JETSON NANO  
CON UN SISTEMA DIFUSO”**

**Trabajo de titulación**

Tipo: Proyecto técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

**AUTORES:**

**JUAN CARLOS ALDAZ INCA**

**FRANKLIN SANTIAGO FREIRE LUGO**

Riobamba – Ecuador

2022



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

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE  
AUTOMATIZACIÓN PARA LA SELECCIÓN DE MANGOS DE  
EXPORTACIÓN UTILIZANDO UNA TARJETA JETSON NANO  
CON UN SISTEMA DIFUSO”**

**Trabajo de titulación**

Tipo: Proyecto técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

**AUTORES: JUAN CARLOS ALDAZ INCA**

**FRANKLIN SANTIAGO FREIRE LUGO**

**DIRECTOR: ING. JORGE LUIS PAUCAR SAMANIEGO M. Sc.**

Riobamba – Ecuador

2022

**© 2022, Juan Carlos Aldaz Inca, Franklin Santiago Freire Lugo**

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

Nosotros, Juan Carlos Aldaz Inca y Franklin Santiago Freire Lugo, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 14 de febrero de 2022



**Juan Carlos Aldaz Inca**

**180371658-6**



**Franklin Santiago Freire Lugo**

**160069263-4**

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

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo: Proyecto técnico, **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE AUTOMATIZACIÓN PARA LA SELECCIÓN DE MANGOS DE EXPORTACIÓN UTILIZANDO UNA TARJETA JETSON NANO CON UN SISTEMA DIFUSO”**, realizado por los señores **JUAN CARLOS ALDAZ INCA** y **FRANKLIN SANTIAGO FREIRE LUGO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Edwin Vinicio Altamirano Santillán <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	EDWIN VINICIO ALTAMIRANO SANTILLAN  Firmado digitalmente por EDWIN VINICIO ALTAMIRANO SANTILLAN Fecha: 2022.02.15 13:27:09 -05'00'	2022-02-14
Ing. Jorge Luis Paucar Samaniego M. Sc. <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>JORGE LUIS PAUCAR SAMANIEGO</b>	2022-02-14
Ing. Pablo Eduardo Lozada Yáñez M. Sc. <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	Firmado digitalmente por PABLO EDUARDO LOZADA YANEZ 	2022-02-14

## **DEDICATORIA**

A Dios por darme la fortaleza y la convicción de encaminarme en todo el paso de mi carrera. A mi abuelito Alberto Inca quién fue pilar en toda mi carrera Politécnica, recibiendo sus consejos, su ejemplo tan intachable como persona, fue como un padre para mí, ahora que no se encuentra entre nosotros, quiero que desde lo alto se sienta orgulloso, a mis padres Jorge Washington y Dolores Patricia quienes con su amor, paciencia, comprensión y sacrificios que a lo largo de todo este tiempo fueron un motivante valioso en mi vida, me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, ellos son los verdaderos artífices de lo que hoy se está llevando a cabo, esto es por ustedes y para ustedes, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre. Mis hermanos Jorge Alexander y Verónica Paulina por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas. Finalmente quiero dedicar esta tesis a todos mis amigos, por apoyarme cuando más las necesito, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día, de verdad mil gracias, siempre las llevo en mi corazón.

Juan Carlos

A mis padres Gonzalo y Magola que están presentes en mi formación académica y mi formación como futuro profesional, brindándome confianza y seguridad para cumplir mis objetivos, por enseñarme el valor del trabajo, esfuerzo y sacrificio que se necesita para llegar a la meta. A mi abuelita Edita y su esposo Adán que no pueden estar presente para verme como profesional.

Franklin

## **AGRADECIMIENTO**

Nuestro sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo por brindarnos la formación necesaria, por permitirnos cursar por tales prestigiosas aulas, mismas que nos brindaron el conocimiento y las herramientas para ser unos profesionales capaces, versátiles, competitivos y sobre todo éticos y honestos, siempre vivirán en nuestra mente y en nuestros corazones estos valiosos años que compartimos con nuestros queridos compañeros de aula, nuestros dignos maestros y todo el personal de nuestra querida Politécnica, gracias a todos. A nuestro tutor de trabajo, por su asesoramiento, competencia, paciencia y apoyo durante el transcurso del trabajo de titulación. De igual manera un profundo agradecimiento a quienes forman parte de “Hacienda Los Manguitos”, por compartir con nosotros y aprender sobre el proceso de selección y clasificación de los mangos, proceso fundamental para el desarrollo de nuestro proyecto de titulación.

Juan Carlos & Franklin

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xviii
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT.....	xx
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	3
1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Importancia y alcances.....	4
1.2.1 <i>Beneficiarios</i> .....	4
1.2.2 <i>Importancia</i> .....	5
1.2.3 <i>Situación problemática</i> .....	5
1.3 Delimitación.....	5
1.4 Objetivos.....	6
1.4.1 <i>Objetivo general</i> .....	6
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	6

### CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	7
2.1 Mango de exportación.....	7
2.1.1 <i>Características y variedades de los mangos de exportación</i> .....	7
2.1.2 <i>Características geométricas, diámetro y peso</i> .....	10
2.1.3 <i>Estado de madurez del mango</i> .....	10
2.2 Automatización y control.....	10
2.2.1 <i>Inteligencia artificial (IA)</i> .....	11
2.2.1.1 <i>Visión artificial (VA)</i> .....	12
2.2.2 <i>Imagen digital</i> .....	13
2.2.3 <i>Iluminación</i> .....	15

2.2.3.1	<i>Iluminación artificial</i> .....	15
2.2.3.2	<i>Tipos de iluminación artificial</i> .....	15
2.2.3.3	<i>Técnicas de iluminación</i> .....	15
2.2.3.4	<i>Distancia focal</i> .....	16
<b>2.2.4</b>	<b><i>Control difuso y sistemas de control</i></b> .....	<b>17</b>
<b>2.2.5</b>	<b><i>Lógica difusa</i></b> .....	<b>17</b>
2.2.5.1	<i>Origen de la lógica difusa</i> .....	17
2.2.5.2	<i>Metodología de la lógica difusa</i> .....	18
2.2.5.3	<i>Ventajas de utilizar la lógica difusa</i> .....	20
2.2.5.4	<i>Grados de pertenencia</i> .....	20
2.2.5.5	<i>Sistemas de control</i> .....	21
<b>2.2.6</b>	<b><i>Base teórica</i></b> .....	<b>22</b>
2.2.6.1	<i>Conjuntos difusos</i> .....	22
2.2.6.2	<i>Funciones de membresía</i> .....	23
<b>2.2.7</b>	<b><i>Operaciones difusas</i></b> .....	<b>24</b>
2.2.7.1	<i>Inferencia difusa</i> .....	24
2.2.7.2	<i>Inferencia de Mamdani</i> .....	24
2.2.7.3	<i>Controlador con lógica difusa</i> .....	25
2.2.7.4	<i>Estructura de un controlador con lógica difusa</i> .....	25
2.2.7.5	<i>Base de conocimientos</i> .....	26
2.2.7.6	<i>Diseño</i> .....	26
<b>2.2.8</b>	<b><i>Redes neuronales</i></b> .....	<b>27</b>
<b>2.2.9</b>	<b><i>Clasificación de redes neuronales</i></b> .....	<b>28</b>
2.2.9.1	<i>Red neuronal monocapa</i> .....	28
2.2.9.2	<i>Red neuronal multicapa</i> .....	28
2.2.9.3	<i>Red neuronal recurrente</i> .....	29
<b>2.2.10</b>	<b><i>Clasificación de redes según el método de aprendizaje</i></b> .....	<b>29</b>
<b>2.3</b>	<b><i>Sistema embebido</i></b> .....	<b>31</b>
<b>2.3.1</b>	<b><i>Jetson Nano</i></b> .....	<b>32</b>
<b>2.4</b>	<b><i>Sistemas de transporte</i></b> .....	<b>32</b>
<b>2.4.1</b>	<b><i>Transportador por rodillos</i></b> .....	<b>32</b>
<b>2.4.2</b>	<b><i>Banda transportadora</i></b> .....	<b>33</b>
<b>2.5</b>	<b><i>Sensores</i></b> .....	<b>33</b>
<b>2.5.1</b>	<b><i>Sensor capacitivo</i></b> .....	<b>34</b>
<b>2.5.2</b>	<b><i>Sensor inductivo</i></b> .....	<b>35</b>
<b>2.5.3</b>	<b><i>Sensor fotoeléctrico</i></b> .....	<b>36</b>

## CAPÍTULO III

<b>3.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	<b>37</b>
<b>3.1</b>	<b>Requerimientos para el diseño del prototipo</b> .....	<b>37</b>
<b>3.2</b>	<b>Análisis funcional del prototipo de clasificación</b> .....	<b>38</b>
<b>3.2.1</b>	<i>Diseño del prototipo máquina clasificadora</i> .....	<b>38</b>
<b>3.3</b>	<b>Diseño de bloques del proceso del sistema</b> .....	<b>40</b>
<b>3.3.1</b>	<i>Etapa de adquisición de imágenes</i> .....	<b>41</b>
<b>3.3.2</b>	<i>Etapa de procesamiento de imágenes</i> .....	<b>41</b>
<b>3.3.3</b>	<i>Etapa de clasificación</i> .....	<b>41</b>
<b>3.3.4</b>	<i>Diagrama de flujo del prototipo</i> .....	<b>41</b>
<b>3.4</b>	<b>Descripción de los elementos de hardware del prototipo</b> .....	<b>42</b>
<b>3.4.1</b>	<i>Jetson Nano</i> .....	<b>42</b>
<b>3.4.2</b>	<i>Motor Nema 23</i> .....	<b>42</b>
<b>3.4.3</b>	<i>Motor Nema 17</i> .....	<b>43</b>
<b>3.4.4</b>	<i>Arduino Uno</i> .....	<b>43</b>
<b>3.4.5</b>	<i>Driver TB6600</i> .....	<b>44</b>
<b>3.4.6</b>	<i>Driver DRV8825</i> .....	<b>45</b>
<b>3.4.7</b>	<i>Cámara Tolulu 1080 Full HD</i> .....	<b>45</b>
<b>3.4.8</b>	<i>Fuente de voltaje Unitec</i> .....	<b>46</b>
<b>3.4.9</b>	<i>Banco de relés</i> .....	<b>46</b>
<b>3.4.10</b>	<i>Botoneras</i> .....	<b>47</b>
<b>3.5</b>	<b>Herramientas software para el prototipo</b> .....	<b>47</b>
<b>3.5.1</b>	<i>Python</i> .....	<b>48</b>
<b>3.5.2</b>	<i>Labeling</i> .....	<b>48</b>
<b>3.5.3</b>	<i>IDE Arduino 1.8.16</i> .....	<b>48</b>
<b>3.5.4</b>	<i>Cade Simu</i> .....	<b>48</b>
<b>3.5.5</b>	<i>Solidworks</i> .....	<b>48</b>
<b>3.6</b>	<b>Etapa de automatización</b> .....	<b>48</b>
<b>3.6.1</b>	<i>Esquema del sistema de automatización de la banda transportadora</i> .....	<b>49</b>
<b>3.6.2</b>	<i>Diseño del sistema de protección</i> .....	<b>49</b>
<b>3.7</b>	<b>Desarrollo del algoritmo de visión artificial</b> .....	<b>50</b>
<b>3.7.1</b>	<i>Red neuronal YOLO V3</i> .....	<b>50</b>
<b>3.7.1.1</b>	<i>Entrenamiento de la red neuronal</i> .....	<b>50</b>
<b>3.7.1.2</b>	<i>Entrenamiento de Google Colab</i> .....	<b>51</b>
<b>3.7.2</b>	<i>Extracción de características</i> .....	<b>51</b>
<b>3.7.3</b>	<i>Etiquetado</i> .....	<b>52</b>

3.7.4	<i>Características del mango</i> .....	52
3.7.4.1	<i>Clasificación por imperfecciones</i> .....	53
3.7.4.2	<i>Clasificación por el tamaño</i> .....	53
3.8	<b>Etapa de control</b> .....	56
3.8.1	<i>Control difuso con Mamdani</i> .....	56
3.8.2	<i>Variables lingüísticas</i> .....	57
3.8.3	<i>Valores lingüísticos</i> .....	57
3.8.4	<i>Funciones de membresía</i> .....	58
3.8.5	<i>Datos de entrada</i> .....	58
3.8.6	<i>Fusificación</i> .....	59
3.8.7	<i>Evaluación de las reglas</i> .....	60
3.8.8	<i>Inferencias</i> .....	60
3.8.9	<i>Agregado</i> .....	63
3.8.10	<i>Defusificación</i> .....	64
3.8.11	<i>Dato de salida</i> .....	65
3.9	<b>Construcción y montaje</b> .....	66
3.9.1	<i>Método de construcción, tiempos y operación</i> .....	67
3.9.1.1	<i>Construcción del sistema de la estructura</i> .....	68
3.9.1.2	<i>Construcción del sistema de transmisión</i> .....	68
3.9.1.3	<i>Construcción del sistema clasificadorio</i> .....	69
3.9.1.4	<i>Construcción del sistema de salida</i> .....	69
3.9.2	<i>Tiempo total de construcción</i> .....	69

#### **CAPÍTULO IV**

4.	<b>RESULTADOS</b> .....	70
4.1	<b>Pruebas de funcionamiento</b> .....	70
4.2	<b>Análisis de resultados</b> .....	70
4.2.1	<i>Clasificación realizada de forma manual y con el prototipo</i> .....	71
4.2.2	<i>Rendimiento del algoritmo de reconocimiento</i> .....	72
4.2.3	<i>Resultados del proceso en el prototipo</i> .....	72
4.2.4	<i>Comparación del tiempo entre la clasificación manual y la del prototipo</i> .....	73
4.3	<b>Análisis de costos</b> .....	74
4.3.1	<i>Costos directos</i> .....	74
4.3.2	<i>Costos indirectos</i> .....	75
4.3.3	<i>Costo total</i> .....	76
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	77

<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>78</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Tipos de imágenes digitales .....	14
<b>Tabla 2-2:</b>	Operaciones difusas .....	24
<b>Tabla 3-2:</b>	Características de los sistemas embebidos .....	31
<b>Tabla 4-2:</b>	Ventajas y desventajas de los sensores capacitivos .....	35
<b>Tabla 5-2:</b>	Ventajas y desventajas de los sensores inductivos .....	36
<b>Tabla 1-3:</b>	Ventajas y desventajas del uso de la banda transportadora .....	40
<b>Tabla 2-3:</b>	Características técnicas principales de la tarjeta Jetson Nano .....	42
<b>Tabla 3-3:</b>	Características técnicas principales driver TB6600.....	44
<b>Tabla 4-3:</b>	Características técnicas principales driver DRV8825 .....	45
<b>Tabla 5-3:</b>	Características técnicas principales de la cámara Tolulu Full HD.....	46
<b>Tabla 6-3:</b>	Características técnicas principales de la fuente Unitec 550W.....	46
<b>Tabla 7-3:</b>	Características técnicas principales del banco de relés.....	47
<b>Tabla 8-3:</b>	Características del mango Tommy Atkinns .....	55
<b>Tabla 9-3:</b>	Detalle de variable y valores lingüísticos .....	58
<b>Tabla 10-3:</b>	Detalle de los parámetros lingüísticos (tamaño).....	58
<b>Tabla 11-3:</b>	Detalle de los parámetros lingüísticos (imperfecciones) .....	58
<b>Tabla 12-3:</b>	Abreviaturas de los valores lingüísticos (tamaño).....	60
<b>Tabla 13-3:</b>	Abreviaturas de los valores lingüísticos (imperfecciones) .....	60
<b>Tabla 14-3:</b>	Reglas difusas obtenidas por el experto operario .....	60
<b>Tabla 1-4:</b>	Rondas de clasificación continuas.....	70
<b>Tabla 2-4:</b>	Clasificación manual realizada por el operario experto.....	71
<b>Tabla 3-4:</b>	Clasificación realizada por la máquina clasificadora .....	71
<b>Tabla 4-4:</b>	Rendimiento del algoritmo de reconocimiento .....	72
<b>Tabla 5-4:</b>	Costo total del dispositivo.....	73
<b>Tabla 6-4:</b>	Costos directos del prototipo de selección de mangos .....	75
<b>Tabla 7-4:</b>	Costos indirectos del prototipo de selección de mangos .....	76
<b>Tabla 8-4:</b>	Costos totales del prototipo de selección de mangos.....	76

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b>	Mango con corteza y semilla .....	7
<b>Figura 2-2:</b>	Mango Tommy Atkins .....	8
<b>Figura 3-2:</b>	Mango Haden .....	8
<b>Figura 4-2:</b>	Mango Kent.....	9
<b>Figura 5-2:</b>	Mango Keitt .....	9
<b>Figura 6-2:</b>	Estado de madurez del mango .....	10
<b>Figura 7-2:</b>	Esquema de un proceso de visión artificial.....	12
<b>Figura 8-2:</b>	Diagrama de bloques de un sistema de visión artificial .....	13
<b>Figura 9-2:</b>	Tipos de Imágenes: (a) RGB, (b) Indexada, (c) Escala de Grises, (d) Binaria ..	14
<b>Figura 10-2:</b>	Iluminación frontal.....	16
<b>Figura 11-2:</b>	Distancia focal.....	17
<b>Figura 12-2:</b>	Estructura de decisión: si, entonces .....	19
<b>Figura 13-2:</b>	Sistema de lógica difusa .....	20
<b>Figura 14-2:</b>	Sistema de control genérico.....	22
<b>Figura 15-2:</b>	Ejemplo de un conjunto y subconjuntos difusos de velocidad.....	23
<b>Figura 16-2:</b>	Función de pertenencia triangular .....	23
<b>Figura 17-2:</b>	Función de pertenencia sigmoideal .....	23
<b>Figura 18-2:</b>	Función de pertenencia trapezoidal .....	23
<b>Figura 19-2:</b>	Función de pertenencia singleton .....	24
<b>Figura 20-2:</b>	Sistema de inferencia difuso .....	25
<b>Figura 21-2:</b>	Esquema genérico de un controlador difuso .....	26
<b>Figura 22-2:</b>	Diagrama de bloques de un sistema controlador difuso.....	26
<b>Figura 23-2:</b>	Neurona biológica .....	27
<b>Figura 24-2:</b>	Red monocapa de perceptrón simple .....	28
<b>Figura 25-2:</b>	Perceptrón multicapa.....	29
<b>Figura 26-2:</b>	Red Hopfield .....	29
<b>Figura 27-2:</b>	Estructura de aprendizaje supervisado.....	30
<b>Figura 28-2:</b>	Estructura de aprendizaje no supervisado.....	30
<b>Figura 29-2:</b>	Transportador por rodillos .....	33
<b>Figura 30-2:</b>	Banda transportadora.....	33
<b>Figura 31-2:</b>	Sensor capacitivo.....	34
<b>Figura 32-2:</b>	Esquema de funcionamiento de un sensor capacitivo .....	34
<b>Figura 33-2:</b>	Sensor inductivo.....	35
<b>Figura 34-2:</b>	Funcionamiento de un sensor inductivo .....	35

<b>Figura 35-2:</b>	Funcionamiento de un sensor fotoeléctrico .....	36
<b>Figura 1-3:</b>	Concepción del sistema .....	38
<b>Figura 2-3:</b>	Sistema de clasificación .....	38
<b>Figura 3-3:</b>	Diseño del prototipo de clasificación vista superior .....	39
<b>Figura 4-3:</b>	Diseño del prototipo de clasificación.....	39
<b>Figura 5-3:</b>	Caja de cámara .....	39
<b>Figura 6-3:</b>	Diseño del prototipo de clasificación implementado .....	40
<b>Figura 7-3:</b>	Concepción del sistema clasificador.....	40
<b>Figura 8-3:</b>	Tarjeta Jetson Nano.....	42
<b>Figura 9-3:</b>	Motor Nema 23 .....	43
<b>Figura 10-3:</b>	Motor Nema 17 .....	43
<b>Figura 11-3:</b>	Arduino Uno.....	44
<b>Figura 12-3:</b>	Driver TB6600 .....	44
<b>Figura 13-3:</b>	Driver DRV8825 .....	45
<b>Figura 14-3:</b>	Cámara Tolulu Full HD.....	45
<b>Figura 15-3:</b>	Fuente de voltaje Unitec 550W .....	46
<b>Figura 16-3:</b>	Banco de relés .....	47
<b>Figura 17-3:</b>	Botonera ON/OFF.....	47
<b>Figura 18-3:</b>	Circuito de control de arranque de la banda transportadora.....	49
<b>Figura 19-3:</b>	Esquemático del circuito de protección .....	50
<b>Figura 20-3:</b>	Extracción de características .....	51
<b>Figura 21-3:</b>	Etiquetado de imágenes en Labelimg V1.4.3 .....	52
<b>Figura 22-3:</b>	Clasificación por la forma del mango.....	53
<b>Figura 23-3:</b>	Detección de color.....	54
<b>Figura 24-3:</b>	Arquitectura del sistema difuso .....	56
<b>Figura 25-3:</b>	Variables lingüísticas .....	57
<b>Figura 26-3:</b>	Relación en pixeles de un mango .....	57
<b>Figura 27-3:</b>	Captura de imágenes .....	59
<b>Figura 28-3:</b>	Funciones de membresía variable lingüística (tamaño) .....	59
<b>Figura 29-3:</b>	Funciones de membresía variable lingüística (imperfecciones).....	59
<b>Figura 30-3:</b>	Evaluación de la primera regla difusa en función del tamaño.....	61
<b>Figura 31-3:</b>	Evaluación de segunda regla difusa en función del tamaño.....	61
<b>Figura 32-3:</b>	Evaluación de tercera regla difusa en función del tamaño .....	62
<b>Figura 33-3:</b>	Evaluación de la cuarta regla difusa en función de las imperfecciones .....	62
<b>Figura 34-3:</b>	Evaluación de la quinta regla difusa en función de las imperfecciones .....	63
<b>Figura 35-3:</b>	Evaluación de la sexta regla difusa en función de las imperfecciones .....	63

<b>Figura 36-3:</b>	Agregado de las funciones de membresía de salida (tamaño e imperfecciones)	64
<b>Figura 37-3:</b>	Aplicación del método defusificación MOM (máximo de medios)	64
<b>Figura 38-3:</b>	Dato resultante del proceso de defusificación (valor real)	65
<b>Figura 39-3:</b>	Condición lógica para el comportamiento del activador	65
<b>Figura 40-3:</b>	Imagen del activador con sus respectivas salidas de aceptación y rechazo	66
<b>Figura 41-3:</b>	Imagen preliminar de la banda transportadora de mangos	66
<b>Figura 42-3:</b>	Estructura consolidada del prototipo de clasificación de mangos	67
<b>Figura 43-3:</b>	Estructura base del prototipo de clasificación de mangos	68
<b>Figura 1-4:</b>	Rondas de clasificación	70
<b>Figura 2-4:</b>	Experto operario, Hacienda Los Manguitos	71
<b>Figura 3-4:</b>	Captura inicial de mango tierno, sin luz de fondo	73
<b>Figura 4-4:</b>	Procesamiento digital utilizando lógica difusa, con impacto de luz	73

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b>	Diagrama de flujo del prototipo .....	41
<b>Gráfico 1-4:</b>	Rendimiento del algoritmo de reconocimiento .....	72
<b>Gráfico 2-4:</b>	Comparación de tiempo entre operarios y prototipo .....	74

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A: CÓDIGO DE CONTROL DEL SISTEMA DIFUSO**

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>BW:</b>	Ancho de banda
<b>CA:</b>	Corriente alterna
<b>CD:</b>	Corriente directa
<b>DL:</b>	Aprendizaje Profundo
<b>EDA:</b>	Automatización de diseño electrónico
<b>FM:</b>	Frecuencia modulada
<b>GPIO:</b>	Entrada/Salida de Propósito General
<b>IA:</b>	Inteligencia Artificial
<b>LED:</b>	Diodo Emisor de Luz
<b>PID:</b>	Proporcional, integral, derivativo
<b>RN:</b>	Red Neuronal
<b>RAM:</b>	Memoria de Acceso Aleatorio
<b>RGB:</b>	Rojo, Verde, Azul
<b>ROM:</b>	Memoria de solo lectura
<b>USB:</b>	Bus Universal en Serie
<b>VA:</b>	Visión artificial
<b>YOLO:</b>	You Only Look Once

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo la implementación de un prototipo de automatización para la selección de mangos de exportación utilizando una tarjeta Jetson Nano con un sistema de lógica difusa, para la optimización del tiempo empleado por un operario en tareas de selección y clasificación de mangos de exportación en fincas productoras. Para el desarrollo de este prototipo se realizó una investigación documental sobre sistemas difusos del sector agrícola y su impacto en el mango de exportación, se consideró para la selección de los mismos, dos principales variables siendo estas imperfecciones y tamaño del mango, las cuales son utilizadas en el entrenamiento de la red neuronal YOLO V3 TINY para su detección, cumpliendo de esta manera los diferentes procesos dentro del sistema difuso, en el primer módulo se realiza la adquisición de datos de entrada por medio de una cámara, el segundo módulo realiza un proceso de fusificación convirtiendo los datos digitalizados a funciones de membresía, el tercer módulo plantea las reglas difusas gracias a las experiencias de un experto seleccionador de mangos de exportación, el cuarto módulo utiliza el método de Inferencia de Mamdani por mínimos, logrando el agregado de las funciones de membresía de salida, obteniendo una función de membresía resultante, por último el quinto módulo permite obtener un valor real usando el método de Defusificación de Máximos Medios, por lo que con el valor real se realiza el proceso de selección, dando de esta manera la orden al activador para que rechace o acepte el mango analizado. Se evaluó el prototipo realizando un sin número de pruebas dando como resultado un ahorro de tiempo del 30% en comparación al operario experto en el proceso selección de mangos de exportación. Se recomienda obtener un dataset amplio de mangos para el entrenamiento de la red neuronal.

**Palabras clave:** <SISTEMA DIFUSO>, <REGLAS DIFUSAS>, <DEFUSIFICACIÓN>, <GRADO DE PERTENENCIA>, <RED NEURONAL>, <MÉTODO DE INFERENCIA MAMDANI>, <FUNCIONES DE MEMBRESÍA>, <JETSON NANO (HARDWARE)>.



Firmado electrónicamente por:  
ELIZABETH  
FERNANDA AREVALO  
MEDINA



0133-DBRA-UPT-2022

## ABSTRACT

The objective of this work was the implementation of an automation prototype for the selection of export mangoes using a Jetson Nano card with a fuzzy logic system, for the optimization of the time spent by an operator in selection and classification tasks of mangoes for export in farms. For the development of this prototype, a documentary research was carried out on fuzzy logic systems in the agricultural sector and its impact in the export mango, two main variables were considered for their selection, being these imperfections and size of the mangoes, which are used in the training of the YOLO V3 TINY neural network for its detection, thus fulfilling the different processes within the fuzzy logic system, in the first module the collection of input data by means of a camera is done, the second module performs a fuzzification process converting the digitized data to membership functions, the third module lays out the fuzzy rules thanks to the experiences of an expert selector of mangoes for export, the fourth module uses the method of Mamdani Inference by minima, getting the addition of the output membership functions, having a resulting membership function, finally the fifth module allows to obtain a real value by using the Maximum Defuzzification method Means, so that with the real value the selection process is carried out, thus giving the activator the command to reject or accept the parsed mangoes. The prototype was evaluated by countless tests, resulting in a 30% time saving compared to the expert operator in the selection process of mangoes for export. It is recommended to get a large dataset of mangoes for training the neural network.

**Keywords:** <FUZZY LOGIC SYSTEM>, <FUZZY RULES>, <DEFUZZIFICATION>, <DEGREE OF MEMBERSHIP>, <NEURAL NETWORK>, < MAMDANI INFERENCE METHOD>, <MEMBERSHIP FEATURES>, <JETSON NANO (HARDWARE)>.



Firmado electrónicamente por:  
**NELLY MARGARITA  
PADILLA PADILLA**

## **INTRODUCCIÓN**

La automatización industrial durante los últimos años ha crecido constantemente en la industria, mejorando la calidad, reduciendo costos y multiplicando la producción. El objetivo de la automatización es mejorar la capacidad productiva, reducir mano de obra y aumentar las utilidades en una empresa (MACHADO, 2009).

Por ese motivo muchas empresas buscan alternativas para poder competir con mejores precios en el mercado nacional e internacional, tratando de satisfacer las necesidades de los consumidores, de ahí parte la idea de implementar nuevas técnicas y conocimientos en el área de tecnología en las industrias. Ecuador debe sumarse a la tendencia de no reducir la posibilidad de acceso a los mercados internacionales en el mediano plazo. Sin embargo, como los productos alimenticios ecuatorianos son muy apreciados en el exterior, es necesario fusionar los conceptos de calidad con los de origen, para que nuestros productos puedan alcanzar un posicionamiento en el mediano y largo plazo que ofrezca mayores posibilidades que el actual.

La inteligencia artificial (IA) aplicada a la producción agrícola ha sido un sector no explorado a fondo ya que permite conocer una objetividad al momento de ofrecer lo que necesita e interesa procesar información y convertirlos en datos ponderados y estadísticos. Además, facilita los procesos inteligentes como las tareas informativas o de recepción de datos. La inteligencia artificial en la producción se espera incursionar y abaratar los procedimientos productivos ya que el capital humano se encarga de la parte final, sin que el cliente aprecie la diferencia (GARCÍA, y otros, 2015).

Está previsto que en los próximos años la inteligencia artificial permita a las productoras agrícolas ofrecer un compromiso a sus clientes potenciales. Esta tecnología permitirá que un software exprese comportamientos ante las interacciones con sus usuarios responsables de captar la información que estos reporten y pueda determinar si éstas son positivas, negativas o neutras. Dicho esto, podemos consolidarlo con la automatización, que se basa en el uso de software para automatizar ciertas operativas dentro de las tareas de ejecución productivas. Sin embargo, muchas veces faltan datos y especialmente, la capacidad de analizarlos en dicho caso se unificarían adecuadamente un sistema de automatización con un sistema de inteligencia artificial. Pero la automatización ha permitido analizar fácilmente grandes cantidades de datos y con ello poder mejorar un posicionamiento industrial agrícola y tomar decisiones más complejas.

En los últimos años, la lógica difusa ha demostrado ser una herramienta útil para modelar sistemas complejos no lineales, especialmente en control, procesamiento de imágenes, robótica y

electrónica. La lógica difusa se ha incorporado a una gran cantidad de productos y procesos. De igual forma vienen de la mano con visión artificial y uno de los sectores que más beneficiados de la implementación de técnicas de visión artificial es el sector industrial. Al implementar visión artificial en las industrias, los procesos se pueden automatizar, lo que lleva a mejores resultados de fabricación a través de la implementación de control de calidad y una mayor agilidad en todas las etapas. En la actualidad es posible mejorar los procesos productivos de forma incomprensible a través de una visión industrial artificial. Esto nos ha permitido obtener productos de mayor calidad a menor costo y en casi todos los sectores de la industria, desde la alimentación, hasta la electrónica y la logística.

# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

En el presente capítulo se expone información relacionada con el tema desarrollado, el origen del problema, importancia y alcances a tomar en cuenta para su desarrollo.

### 1.1 Antecedentes

Ecuador un país subdesarrollado cuya fuente principal de exportación es el petróleo, una fuente no renovable que cada día se ve comprometida con la mala administración de este recurso. Por ende, la necesidad de implementar nuevas alternativas para generar ingresos, la exportación de frutas una de las opciones que se encuentra en aumento, pero no cuenta con el apoyo suficiente para el crecimiento de la capacidad productiva, la innovación tecnológica y el fortalecimiento competitivo en mercados internacionales.

La exportación de frutas se ve limitada, debido a la obligación que tienen las empresas de cumplir con estándares de calidad que son altos, la calidad de los procesos de selección y el origen de los productos de exportación ayuda a identificar y agregar valor a los productos, servicios y empresas del país.

La certificación de la calidad del producto es una tendencia global, Ecuador debe sumarse a la tendencia de no reducir la posibilidad de acceso a los mercados internacionales en el mediano plazo. Sin embargo, como los productos alimenticios ecuatorianos son muy apreciados en el exterior, es necesario fusionar los conceptos de calidad con los de origen, para que nuestros productos puedan alcanzar un posicionamiento en el mediano y largo plazo que ofrezca mayores posibilidades que el actual.

En Ecuador, los mangos, considerados frutas tropicales exóticas, se consumen principalmente como fruta fresca, pero también se pueden utilizar para preparar mermeladas y conservas, además de sus excelentes valores nutricionales, los mangos ecuatorianos se distinguen por una excelente calidad y exquisito sabor. En los últimos años, Ecuador como productor de mangos ha intentado ingresar a mercados internacionales con prácticas de desarrollo sustentable que ha llevado a cabo diversos planes de desarrollo sustentable con sectores comerciales, asociaciones e incluso organismos internacionales, han adoptado distintas definiciones con sus propias conclusiones de estándares de calidad. Más de lo que significa tener estándares de exportación consistentes cuando se comercializa en los mercados internacionales como clientes potenciales. Como consecuencia de ello, lo sustentable dentro del marco empresarial ha tenido mucha importancia en los procesos productivos, siendo responsables los operarios, supervisores o expertos en selección de mango

que cumplan todas las características aceptables para su exportación, dicha utilización de los recursos, disminuyendo las pérdidas de la energía y materiales, pero sacrificando la operabilidad y pérdida de tiempo en los procesos. Las preocupaciones con la sostenibilidad ambiental, social, y económico son factores que influyen permanentemente en los réditos económicos que percibe la empresa en la cadena de exportación del mango. Dado esto permitirá identificar limitaciones, uso de tecnología, innovación, procesos sostenibles y normas, ya que existen muchos problemas en la selección manual del mango, como el tiempo del proceso de selección individual del mango, exclusiones involuntarias de mangos en mal estado que pondría en peligro todo el lote de mangos destinados a exportarse. El conocimiento de la cadena y sus limitaciones es la base para proponer una implementación de un sistema automatizado de selección de mangos de valor sostenible, lo cual permita a las empresas ser más competitivos y puedan incrementar sus exportaciones, lo que servirá como aporte y modelo de desarrollo económico del país.

## **1.2 Importancia y alcances**

El mango es una fruta que implica cierto cuidado especial en la fase de cosecha y postcosecha con a fin de conservar su presentación y evitar pérdidas. El mango de exportación debe mantener estándares de calidad muy altos y normas sanitarias para poder ser exportados a mercados internacionales debe cumplir con normas fitosanitarias para la exportación del mango a Estados Unidos obligan a que se dé la atención necesaria en implementar métodos y técnicas de innovación para la selección del fruto óptimo para la exportación, tomando en cuenta su tiempo de madurez, tamaño y apariencia.

Por ende, este proyecto propone aplicar los conocimientos en automatización y diseño para implementar un prototipo basado en visión artificial para el proceso de selección que puede llegar a mejorar los estándares de calidad del mango, tomando en cuenta cada detalle sustituyendo la intervención humana en el proceso de selección. La finalidad del proyecto es automatizar este proceso manual, para ello nos basamos en lógica difusa para tomar los conocimientos del experto.

### **1.2.1 Beneficiarios**

Los beneficiarios de este proyecto serían las empresas que necesita innovación en los procesos de automatización, empresas que quieren invertir para mejorar y ser más competitivas. Personas que necesiten dar un paso en la revolución de sus industrias. La idea es sustituir al hombre por una maquina y que esta pueda operar con autonomía por varias horas consecutivamente, la visión artificial es un campo que no se encuentra muy explotado en temas de automatización industrial en nuestro país, este sería un beneficio para muchos profesionales puedan demostrar los conocimientos en esta área.

### **1.2.2 Importancia**

Este trabajo es importante ya que se pretende automatizar un proceso que se realiza de manera manual en la mayoría de las empresas dedicadas a la exportación de esta fruta, este proyecto ayudaría a sustituir la mano del hombre y a reducir costos considerables, ya que por mano de obra para la selección de mangos cubre un precio considerable, recursos que pueden ser destinados hacia otras actividades o pueden significar reducción de mano de obra por parte de la empresa.

Vivimos en tiempos de crecimiento e innovación tecnológica, la industria constantemente es más competitiva busca estrategias y alternativas para reducir costos operativos, mejorar sus métodos productivos y pasar de lo artesanal a lo automatizado.

### **1.2.3 Situación problemática**

Ecuador un país agrícola, tierra rica y productiva posee una de las frutas con mayor participación dentro de las exportaciones no tradicionales que ha sido tendencia positiva en Estados Unidos. Los mangos son el producto tropical más consumido en el mundo con características de mercado únicas. India, por ejemplo, es el principal productor mundial, México es el mayor exportador del mercado norteamericano y Brasil, en cambio, ofrece un mercado europeo (DUQUE MOLINA, y otros, 2010).

Actualmente, la industria del mango ecuatoriana enfrenta nuevos desafíos en el mercado internacional, con nuevas regulaciones para el ingreso de fruta en algunos países, más exigentes en cuanto a calidad y métodos de cultivo. Internamente, en los últimos años se han multiplicado las áreas de plantación, con lo que incluso la oferta factible ha alcanzado niveles extraordinarios (DUQUE MOLINA, y otros, 2010).

## **1.3 Delimitación**

Comprende en las delimitaciones tomadas en cuenta para el desarrollo del prototipo como:

- **Delimitación geográfica:** El estudio se realizó en la hacienda “Los Manguitos”, empresa ubicada en la provincia del Guayas.
- **Delimitación temporal:** Este proyecto será realizado en el periodo Abril del 2021 hasta septiembre del mismo año.
- **Delimitación sectorial:** Se aplicarán conocimientos adquiridos en la Universidad, por tema de pandemia no se puede usar la información de la institución y el trabajo corresponde a investigaciones propias realizadas desde casa. Aplicando los conocimientos en el área de automatización, control y electrónica.

## **1.4 Objetivos**

### ***1.4.1 Objetivo general***

Implementar un prototipo de automatización para la selección de mangos de exportación utilizando una tarjeta Jetson Nano con un sistema de lógica difusa.

### ***1.4.2 Objetivos específicos***

- Diseñar el sistema de automatización para la selección de mangos de exportación usando una tarjeta Jetson Nano.
- Definir las reglas para aplicar lógica difusa en la selección y clasificación del mango para exportación conforme a la experiencia del operario.
- Implementar el prototipo de automatización tanto en *hardware* como *software* para la selección de mangos.
- Evaluar el sistema de automatización implementado con un proceso manual realizado por un experto.

## CAPÍTULO II

### 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A continuación, se detalla información relacionada con el tema desarrollado, describiendo los principales componentes para su automatización, su funcionamiento y características principales.

#### 2.1 Mango de exportación

El mango es una fruta tropical perteneciente a la especie “Mangifera indica L”, también conocida como fruta de hueso (drupe) contiene una semilla grande en su interior y está rodeada por pulpa de tono anaranjado amarilloso esto se lo puede ver en la figura 1-2. Este fruto es distinguido por su sabor y aroma, el cual contiene un mesocarpio comestible de diferentes dimensiones, esto según las condiciones que se hayan cultivado (BURTON, 2018).

El mango es originario de la región Indo-Birmana, la cual se ha convertido una de las frutas tropicales más exportadas del mundo y su producción global asciende a 27 millones de toneladas (UNCTAD, 2016).



**Figura 1-2:** Mango con corteza y semilla

Fuente: (PLAY FM, 2016)

##### 2.1.1 Características y variedades de los mangos de exportación

Los mangos comúnmente son de color verde en su etapa inicial, amarillo o rojizo cuando alcanzan su estado de madurez. Poseen un rol importante tanto en lo nutricional y biofuncional. En lo nutricional, el mango se caracteriza por ser una fuente rica de carbohidratos, vitaminas y antioxidantes. En promedio, 100 gramos de pulpa mango son aportados al 47% del consumo que requiere una persona adulta de vitamina C, un 25% de vitamina A y un 13% vitamina E. En relación con lo biofuncional, el mango es gran antioxidante, entre los cuales enfatiza la mangiferina y lupeol (SERNA COCK, 2015).

Existen una gran diversidad de mangos de exportación, sin embargo, los que se más se conocen son (EL PODER DEL CONSUMIDOR, 2016):

- **Tommy Atkins:** Esta especie de mango es originaria de Florida, el fruto presenta una forma ovalada a oblonga, base redonda como se ve en la figura 2-2, mide de 12,0 a 14,5 centímetros de largo, tiene un peso promedio de 250 a 550 gramos con una media de 390 gramos; cuando madura, su color es amarillo naranja con partes rojas y un tono rojo oscuro en la base; está rodeado por una corteza gruesa, tiene una pulpa fija, la calidad del sabor es jugosa, con poca fibra y de color amarillo; la parte más pesada es la semilla, la cual representa del 12,5 al 13,5 por ciento del peso total de la fruta, por lo general se cosecha en junio (UNCTAD, 2016).



**Figura 2-2:** Mango Tommy Atkins

**Fuente:** (LUCERO JARA, 2011)

- **Haden:** oriundo de la ciudad de Florida, el fruto es ovalado con base redonda, su tamaño no pasa de los 10,5 a 14,0 centímetros de largo, el peso sabe variar de 270 a 430 gramos, pero se saben mantener en los 311 gramos. La semilla es lo que más pesa representando el 9-10 por ciento del peso total; cuando madura, su color es amarillo y rojo carmín en la base expuesta al sol, lo cual le da un buen aspecto como se observa en la figura 3-2; su contenido de fibra es el habitual en este tipo de mangos lo que provoca un sabor dulce; se cosecha a fines de mayo y junio (UNCTAD, 2016).g



**Figura 3-2:** Mango Haden

**Fuente:** (LUCERO JARA, 2011)

- **Kent:** Proviene de una de las ciudades tropicales de Estados Unidos (Florida), el fruto es grande (11-13 centímetros de largo) con forma ovalada y base redonda, su peso aproximado es de 520 gramos, en donde la semilla alcanza a pesar del 9,4 al 10,3 por ciento del fruto; es de color verde oscuro y usualmente tiene un rubor rojo oscuro sobre una porción mínima del mango como se observa en la figura 4-2, contiene poca fibra y es de sabor dulce, se cosecha en julio y principios de agosto. Los principales productores son México, Ecuador y Perú (UNCTAD, 2016).



**Figura 4-2:** Mango Kent

**Fuente:** (LUCERO JARA, 2011)

- **Keitt:** Es una variedad de la ciudad de Florida, tiene forma oblonga y base redonda, con longitud de 13 a 15 centímetros, su peso estándar es de 510 gramos, donde el 10 al 10,5 por ciento del peso representa a la semilla; su color es verde oscuro y usualmente tiene una coloración rosada sobre una pequeña porción como se observa en la figura 5-2, la corteza se mantiene verde aun cuando está maduro, contiene una gran calidad gustativa, se cosecha en julio y principios de agosto (UNCTAD, 2016).



**Figura 5-2:** Mango Keitt

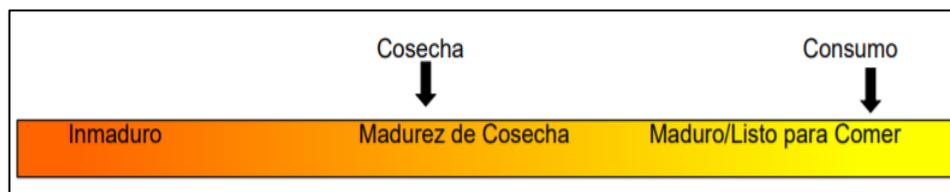
**Fuente:** (LUCERO JARA, 2011)

### 2.1.2 Características geométricas, diámetro y peso

Su forma es muy variable, depende mucho de las condiciones en las que se haya cultivado, pero geoméricamente es ovoide-oblonga, particularmente con sus extremos aplanados, redondos u obtusos. La cascara que recubre el mango es gruesa, la cual contiene lenticelas, lo que permite el intercambio de oxígeno y otras sustancias del interior al exterior del fruto. Generalmente tienen una longitud de 4-25 cm y 1,5-10 cm de grosor y respecto a su peso, hay muchas especies que varían desde 150 gr hasta 1 kg (BALLESTEROS, 2012).

### 2.1.3 Estado de madurez del mango

Existen varios niveles que se puede catalogar la maduración del mango y la forma más sencilla es observarlo a través de un espectro como se observa en la figura 6-2. En la etapa inicial, la fruta nace en el árbol del mango siendo inmadura, luego de ciertos procesos naturales que se producen en la planta y en el fruto avanza hacia la etapa de madurez de cosecha. Esta fase usualmente se conoce como maduro verde. En ciertas ocasiones puede crear confusión porque el término “verde” se refiere a la etapa de madurez (maduración de consumo), y no tiene relación con la coloración de la corteza del mango. Esta fase es la ideal de algunos países como Estados Unidos para importar este fruto verde, debido a que transcurren varios días en la importación, el transporte, la distribución, y finalmente son almacenados en tiendas para su respectiva venta a clientes que lo requieran, a partir de ese ciclo el mango continuará su desarrollo, logrando alcanzar la etapa final en el espectro del mango que se denomina maduro/listo, el cual está en condiciones óptimas para ser consumido (BÁEZ, y otros, 2018).



**Figura 6-2:** Estado de madurez del mango

Fuente: (USAID, 2017)

## 2.2 Automatización y control

La palabra automatización se origina del griego “auto” que significa guiado por uno mismo (LANDIVAR MORENO, 2015), la acción de automatizar es agrupar varias tecnologías para monitorizar, inspeccionar y controlar procesos de maquinarias que están realizando labores repetitivas, logrando que se operen automáticamente, lo cual conlleva a reducir la intrusión de un operario, todo esto con el fin de mejorar la producción de un proceso y lograr reducir costos innecesarios con el objetivo de mantener la calidad de los productos finales (DE LA VEGA PARDO, y otros, 2015).

El control se puede definir como un proceso, donde interactúan varias variables que estarán realizando sucesivas acciones para realizar una actividad previamente establecida.

El control de un sistema se realiza utilizando diferentes tipos de componentes eléctricos, electrónicos, hidráulicos y/o mecánicos, todos estos dispositivos están interconectados con el fin de recibir información del proceso y al mismo tiempo mandar una instrucción útil para realizar de manera adecuada el proceso, muchas de las veces pueden modificar dicha actividad (CALERO, y otros, 2015).

Los tipos de control se pueden clasificar de la siguiente manera:

- **Control manual:** En este tipo de control siempre se deberá disponer de un operario para poder controlar el proceso. El trabajo que realiza el operador humano será superior a los que efectúe el sistema.
- **Control automático:** En este tipo de control, el operario no es dispensable, se obtiene una respuesta automática del sistema, lo único que realiza el operario es programar las variables iniciales o consignas del proceso.
- **Control semiautomático:** Este tipo de control tiene una parte automática y manual.

En conjunto con lo que ahora se llama control automatizado o automático se ha integrado varias técnicas o procesos adicionales para optimizar la producción en varias empresas del mundo, una de estas técnicas es la integración de la Inteligencia Artificial, la cual es “*una ciencia que estudia los comportamientos inteligentes de los individuos, con el fin de emularlos en máquinas y computadoras*” (CHANDI CADENA, 2017).

Hay una gran diversidad de técnicas asociadas a la IA, como son: Sistemas Expertos con Base de Conocimiento, Redes Neuronales Artificiales, Visión Artificial, Computación Evolutiva y Lógica Difusa. Esta última técnica necesita de un experto para la programación e interpretación de las reglas en las que se basan, experto que puede no considerar todas las opciones posibles.

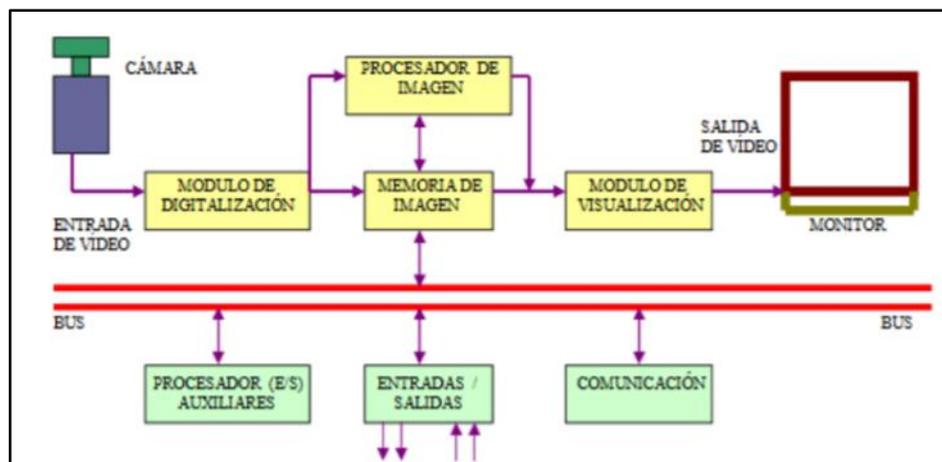
### **2.2.1 Inteligencia artificial (IA)**

Es un área de la ciencia muy interesante porque es un espacio multidisciplinario en el que se crean sistemas que intentan resolver problemas como un humano lo haría, además trata de simular artificialmente patrones de pensamiento cómo funciona el cerebro. trabaja para crear soluciones. Aunque de hecho aún no se comprende todo lo que se puede imaginar en este ámbito o que aparece en la ciencia ficción, es un ámbito que poco a poco se está volviendo disponible en muchas aplicaciones, dispositivos, dispositivos que se encuentran en nuestro uso diario.

### 2.2.1.1 Visión artificial (VA)

es uno de los sentidos más usados en el ser humano, casi todas las acciones que realiza una persona son mediante la vista, ya sea directa o indirectamente. “La visión es uno de los mecanismos sensoriales de percepción más importantes en el ser humano, aunque evidentemente no es exclusivo ya que una incapacidad visual no impide en absoluto el desarrollo de ciertas actividades mentales” (ATENCIO ORTÍZ, 2009).

Con lo expuesto anteriormente, la visión artificial permite a las máquinas obtener información del medio y transformarlas principalmente a imágenes, permitiendo la implementación de una gran diversidad de aplicaciones con diversos objetivos, tales como la inspección, clasificación, reconocimiento de objetos, mediciones, control de calidad y control de procesos. Después de haber obtenida la imagen, esta se debe procesar mediante la implementación de tarjetas embebidas y algunos algoritmos para poder visualizarlas en un monitor y tomar las debidas acciones como se visualiza en la figura 7-2. Gracias a estas ventajas que tiene la visión artificial, es usada en varias industrias alimenticias y agrícolas para agilizar la producción y evaluar parámetros de una forma rápida y concisa (GARCÍA, 2016).



**Figura 7-2:** Esquema de un proceso de visión artificial

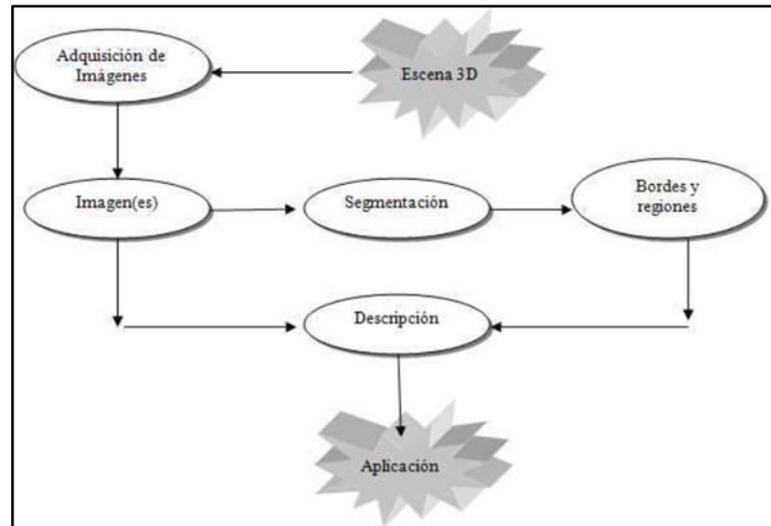
Fuente: (LUDEÑA CHICA, 2019)

La visión artificial permite:

- Automatizar el tiempo para que las tareas o procesos se reduzcan notablemente.
- Controlar la calidad de los productos.
- Inspeccionar productos u objetos sin contacto de algún operario operarios.

Como ya se mencionó, la visión artificial permite tomar una imagen del mundo real para interpretarla en una máquina y poder tomar una decisión respecto a las variables o consignas

programadas. Tal sistema se puede explicar mediante el siguiente diagrama de bloques como se visualiza en la figura 8-2.



**Figura 8-2:** Diagrama de bloques de un sistema de visión artificial

Fuente: (ATENCIO ORTÍZ, 2009)

La escena 3D se refiere al mundo real, es decir, el ambiente en cual fue capturada la imagen. Luego de esto la imagen es segmentada para extraer todas las características necesarias por ejemplos los Bordes y regiones. Inmediatamente se obtienen características inmersas aplicando la descripción para finalmente darle un uso para el proceso. Se explicarán de mejor manera en el siguiente apartado algunos conceptos importantes que influyen o están inmersos en la visión artificial.

### 2.2.2 *Imagen digital*

Una imagen está definida como una función bidimensional  $f(x,y)$ , donde  $x$  e  $y$  son coordenadas en el plano matricial y la amplitud  $f$  es la intensidad o nivel de gris en aquel punto. Cuando  $(x, y)$  y  $f$  son todos finitos (cantidades discretas) puede representarse como una matriz de  $n$  filas y  $m$  columnas, la cual se la conoce como imagen digital. Es decir, una imagen digital estará compuesta por un número finito de elementos llamados píxeles, cada uno de los cuales con un valor y una posición única. Sin embargo, a nivel computacional, las imágenes se representan numéricamente (ATENCIO ORTÍZ, 2009).

El término píxel (abreviación de Picture element o elemento de imagen), se trata de la unidad mínima de información de una imagen, la cual aparece como un punto en la pantalla o en una impresora.

El tratamiento de imágenes o más conocido como procesamiento digital de imágenes (PDI) es el pilar fundamental de cualquier sistema de visión artificial (GUAMÁN GUAYANLEMA, 2019). El PDI

aplica varios tipos de procesos para facilitar la búsqueda de información en imágenes digitales, lo cual necesita de un buen hardware para un correcto funcionamiento del sistema. Las imágenes son capturadas con cualquier tipo de cámara, ya sea digital, web o IP.

El procesamiento está basado en:

- Propiedades geométricas (forma, tamaño, etc.)
- Propiedades de los Materiales (color, iluminación, textura, etc.)

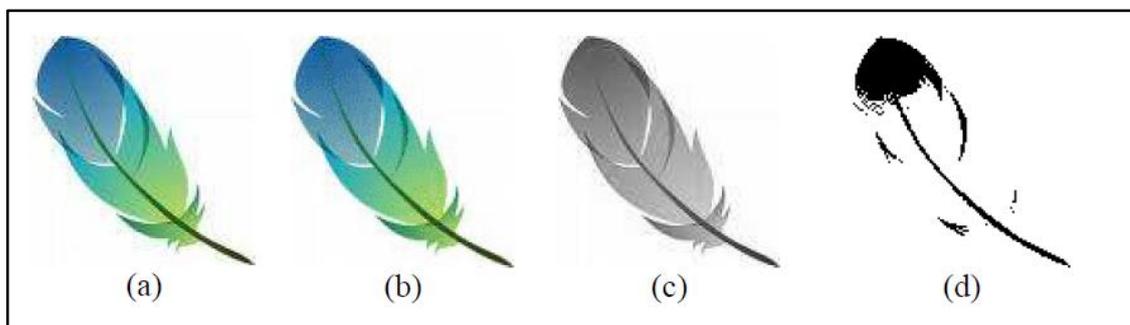
En el procesamiento digital de imágenes, se maneja cuatro tipos de imágenes digitales y se explicarán ciertas características en tabla 1-2.

**Tabla 1-2:** Tipos de imágenes digitales

Imágenes Digitales	Características
Imagen RGB: Red-Green-Blue	- Requieren de tres canales para reproducir los colores en la pantalla. - Cada canal utiliza 8 bits, obteniendo 24 bits de color para cada píxel. - Pueden reproducir hasta 16,7 millones de colores y soporta diferentes formatos de imágenes.
Imagen Indexada	- No se puede obtener más de 256 colores. - El tamaño del archivo se reduce, debido a la eliminación de información que pertenece al color. - Los formatos comunes son GIF y PNG-8.
Imagen en escala de grises	- Su principal característica es que está representada en tonos de gris. - Los píxeles varían entre 0 y 255, donde el valor de 0 representa al color negro y el 255 pertenece al color blanco. - Si la imagen es de 8 bits, puede tener hasta 256 tonos de color gris.
Imagen Binaria	- Tiene 1 bit como profundidad de color. - Los píxeles que puede representar sólo son dos: el color negro o blanco.

**Realizado por:** Aldaz J., Freire F., 2022.

En la siguiente figura se puede evidenciar los 4 tipos de imágenes expuestos anteriormente como se visualiza en la figura 9-2.



**Figura 9-2:** Tipos de Imágenes: (a) RGB, (b) Indexada, (c) Escala de Grises, (d) Binaria

**Fuente:** (VARGAS, 2012)

Para procesar de una manera óptima las imágenes, un sistema de visión artificial necesita de una buena iluminación y resolución.

### 2.2.3 Iluminación

La incidencia de luz natural, la posición y la forma en que refleja un objeto es sin duda un factor de extrema importancia en el sistema de visión artificial, porque puede afectar de manera significativa la calidad de la imagen que posteriormente se va a procesar (FERNÁNDEZ PAUCAR, 2017).

El objetivo de una buena iluminación es controlar la forma en que la cámara verá al objeto para comprobar si cumple con las especificaciones requeridas. Por el contrario, una iluminación inadecuada, puede aumentar la información de la imagen de manera innecesaria, estos problemas pueden ser por: reflejos, sombras, altos contrastes, etc. Por lo tanto, los objetivos de la iluminación son: optimizar el contraste, evitar las sombras y tomar una imagen lo más nítida posible para no tener que realizar un filtrado exhaustivo de la imagen, lo que conllevaría a no utilizar muchos recursos del software (VARGAS, 2012).

#### 2.2.3.1 Iluminación artificial

Muchas de las veces la iluminación natural no es suficiente en los sistemas de visión artificial, debido a que habría demasiadas pérdidas de las características del objeto que se está capturando, lo cual aumentaría el costo computacional y el proceso se volvería obsoleto. Para evitar todo ese tipo de problemas, se debe considerar una fuente de iluminación externa o artificial óptima. Hoy en día se pueden adquirir buenas fuentes de iluminación artificial para no tener que recurrir a excesivos costos de *software*.

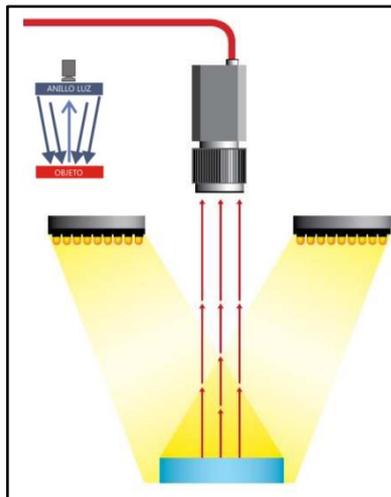
#### 2.2.3.2 Tipos de iluminación artificial

Existen varios tipos de iluminación que se aplican en la visión artificial, debido a que en distintas ocasiones no es suficiente la luz natural, y como ya se mencionó la iluminación puede ser el factor más importante al momento de captar las imágenes para su debido procesamiento. Entre los principales tipos de iluminación se tiene: halógena, incandescente, fluorescente, láser, LED, ultravioletas, cada una de ellas emiten cierto tipo de luz en distintas longitudes de onda (colores), se deben elegir con cuidado porque cada luz sirve para diferentes inspecciones (LUDEÑA CHICA, 2019).

#### 2.2.3.3 Técnicas de iluminación

Existen distintas técnicas de iluminación que varían de acuerdo con el procesamiento que se vaya a realizar en la imagen. Como el objeto que se va a utilizar para el sistema es un mango, se requerirá observar el color y textura, para esto la mejor técnica será la iluminación frontal. A continuación, se explica esta técnica.

- **Iluminación Frontal:** La cámara se coloca en posición que se mire al objeto en la misma dirección que la luz como se visualiza en la figura 10-2. Esta técnica “*reduce las sombras, suaviza las texturas y merma la influencia de rayas, polvo e imperfecciones que pueda tener el objeto*”. Este tipo de iluminación usualmente requiere de anillos de luz. Las aplicaciones son para detectar marcas de diferentes colores, caracteres, es decir, esta técnica es bien útil para detectar cambios de color en cualquier superficie (FSE, 2012).
- **Ventajas:** elimina sombras, se puede utilizar a distancias significativas del objeto.
- **Inconvenientes:** intensos reflejos sobre superficies reflectantes.



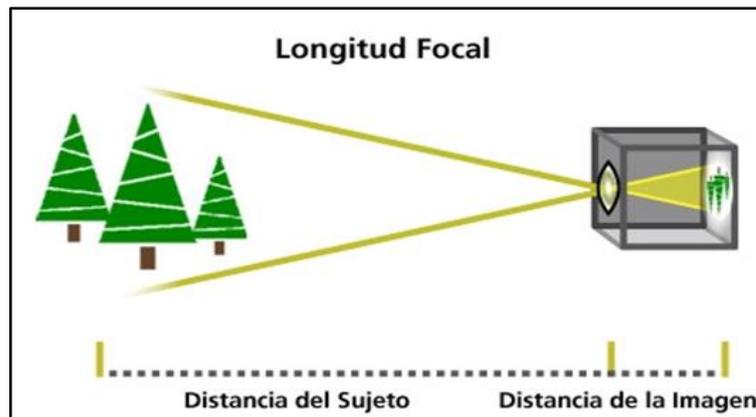
**Figura 10-2:** Iluminación frontal

Fuente: (INFAIMON, 2018)

#### 2.2.3.4 Distancia focal

La distancia focal generalmente se representa en milímetros, es la descripción básica de un lente fotográfico. “*Es un cálculo de la distancia óptica desde el punto en donde los rayos coinciden hasta formar una imagen nítida*” (FSE, 2012).

La distancia focal determina el ángulo de visión que se tendrá del objeto, mientras más longitud tenga la distancia focal, más estrecho será el ángulo de visión y mayor será el aumento y por el contrario si la distancia focal es más corta, más amplio será el ángulo de visión y menor será el aumento como se ve en la figura 11-2, es decir, si se varia la distancia focal se consigue un menor o mayor acercamiento del objeto, comúnmente llamado zoom.



**Figura 11-2:** Distancia focal

Fuente: (INFAIMON, 2018)

#### 2.2.4 Control difuso y sistemas de control

Uno de los principales usos de la lógica difusa es el diseño de sistemas de control que necesitan generar salidas que actúen sobre mecanismos específicos basados en entradas. El propósito de los sistemas de control difuso es simplemente utilizar estrategias de control humano. Los sistemas de control difuso también se denominan sistemas de control inteligente porque utilizan el conocimiento y la experiencia humanos. Su uso en la construcción de sistemas que reproducen esquemas de inferencia aproximados. Las estrategias tradicionales del sistema de control PID (Proporcional Integral Derivado) están representadas por funciones matemáticas y los sistemas basados en lógica difusa pueden controlar mejor los procesos controlados por reglas intuitivas que no pueden ser representadas por constructores matemáticos complejos Su gran ventaja es simple. Deformación. Los sistemas de control difuso son el foco de interesantes aplicaciones de la teoría de conjuntos y la lógica difusa en el desarrollo reciente de sistemas tecnológicos e industriales.

#### 2.2.5 Lógica difusa

La lógica difusa es una solución alternativa para crear modelos matemáticos de sistemas de control cuyos procesos puedan emular el pensamiento humano en un sentido particular que sean inciertos e imprecisos. La lógica difusa toma un valor de veracidad en la escala de uno y cero mientras que la lógica tradicional solo uno, aceptable o cero no aceptable.

##### 2.2.5.1 Origen de la lógica difusa

El término lógica proviene del griego “logos” que significa razón, por otro lado, el término difuso (fuzzy) fue patentado por el profesor Lotfi Zadeh en el año 1965 que significa borroso.

La lógica difusa se basa en utilizar expresiones que usualmente no son falsas ni verdaderas en su totalidad, es decir es aplicada a procesos que van tomando diferentes valores de veracidad conforme va transcurriendo el tiempo, estos valores fluctúan entre la verdad absoluta y falsedad total (HEREDIA MORENO, y otros, 2016).

La lógica difusa es una rama de la inteligencia Artificial que maneja situaciones reales del mundo, al unir cuantificadores del lenguaje natural al difuso a través de reglas heurísticas del tipo SI (antecedente), ENTONCES (consecuente), lo que permite conocer los valores de veracidad que se mencionó.

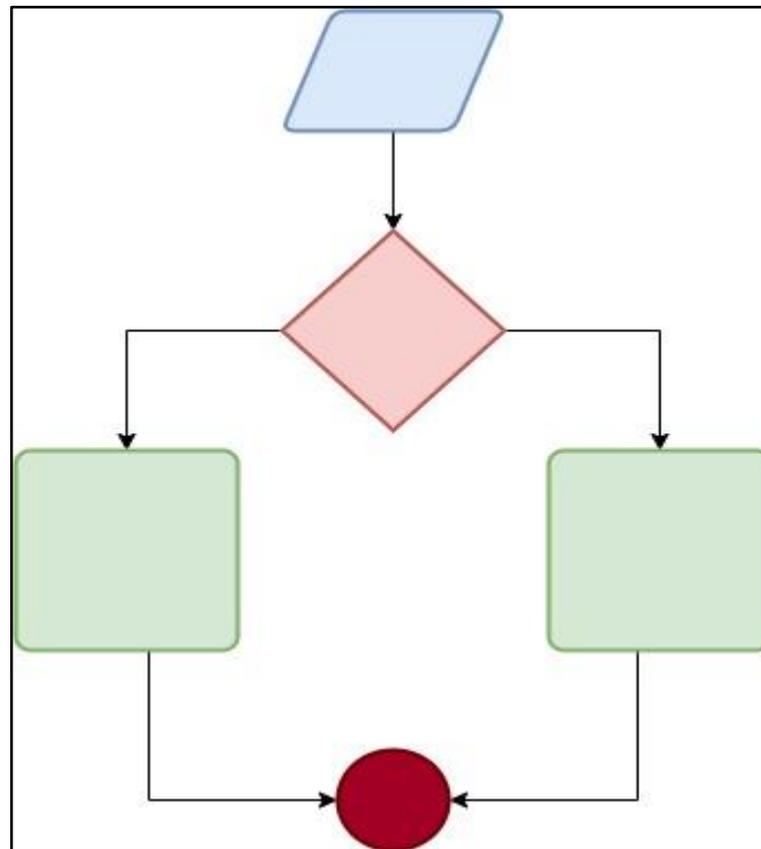
La lógica difusa hace referencia a importantes decisiones que conllevan a la conclusión de ciertos procesos, esto se considera de acuerdo con las experiencias previas para tomar una decisión final, esto se da gracias a una inferencia de una totalidad o de una nada, ya que existen ciertas variaciones las cuales no son necesarias que tomen acciones de control muy importantes, esto es un requisito previo para el sistema de control, partiendo de una referencia establecida. En ciertos ejemplos podemos obtener como referencia en un parqueo de un vehículo cuya dirección se encuentra en paralelo con otro vehículo, lo principal de la lógica difusa esta la detección brusca del cambio de acción en referencia de un objeto a otro, ya que detectaría leves cambios de dirección y éstos a su vez se considerarían parte de un sistema de control difuso o también llamado la lógica difusa. Este principio fue planteado por el Dr. Zadeh, la lógica difusa se basa en razonamientos en función de máximos y mínimos, es decir, si realizamos una comparación entre dos mujeres y un tercer observador, el cual realizará la inferencia difusa, dicha inferencia se tomará en cuenta quién es la más bonita que la otra, su altura, y otras características que se presenten. Dado que no tenemos una forma objetiva y clara de medir la belleza, estos parámetros de análisis y de comparación difieren desde una percepción a otra, estas clases de interrogantes dio lugar a un tipo de expresión matemática misma que se toma en cuenta los extremos de estas y se lo evalúen segmentos de razón, proporción y variación. Por ende, la lógica difusa crea la necesidad de tener un concepto con una exactitud de puntos intermedios de los extremos de exactos (HEREDIA MORENO, y otros, 2016).

#### *2.2.5.2 Metodología de la lógica difusa*

La metodología que se implementó en la lógica difusa esta proporcionada de una manera fácil, sencilla y elegante, para adquirir las conclusiones a partir de una información de entrada imprecisa, ambigua, inexacta, con ruido o incompleta. Estos casos son representados lingüísticamente como una cierta expresión condicionante lógica, un claro ejemplo sobre esta ambigüedad sería, cualquier punto de la función permitirá introducir ciertas variables que se

requiere. Esto manifiesta un espacio de inexactitud y de imprecisión. Dado que se obtendría una teoría de conjuntos manipulable lógicamente tomando lugar la lógica difusa.

La forma aplicativa de la teoría de la lógica difusa en lingüística se expresa gráficamente como se visualiza en la figura 12-2.



**Figura 12-2:** Estructura de decisión: si, entonces

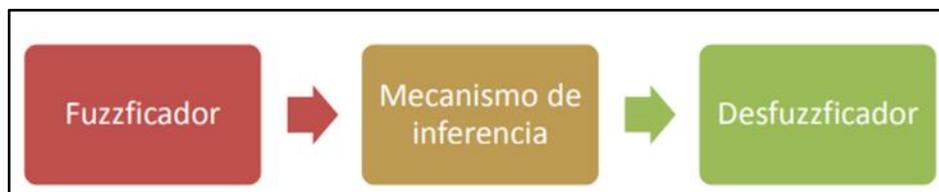
Fuente: (ATENCIO ORTÍZ, 2009)

Las condicionantes se dan gracias a una instrucción que se puede analizar y ejecutar o no, en función de los valores condicionantes. Cuando escogemos la condición afirmativa, da lugar a una acción anteriormente predeterminado, ésta cumple la condición de valor lógico de verdadero o falso dependiendo la parametrización previa en cualquier intervalo de la función estimada. La sintaxis estructural de las sentencias condicionadas se da basados en un orden secuencial. Los procesos aplicativos difusos que se usan en lenguajes de programación tienen las aplicaciones en diferentes disciplinas científica, estas pueden ser en la medicina, en la industria automotriz, en la bioelectrónica, nanotecnología entre otras áreas científicas y aplicativos del medio industrial, comercial y social. La lógica difusa se basa en teoría de conjuntos que permiten la manipulación matemática de informaciones inexactas o con altos grados de imprecisión que se presentan en un conjunto universo. Esto son sistemas expertos de conjuntos de conocimientos presentes en la vida cotidiana de un sector de trabajo. La función principal es aportar soluciones inteligentes como si

una persona los estuviera infiriendo. La lógica difusa imita la toma de decisiones que una persona puede realizar basada en ciertas informaciones de características previas o en casos particulares en base de datos digitales, dataset o en bancos de información lógica (HEREDIA MORENO, y otros, 2016).

### 2.2.5.3 Ventajas de utilizar la lógica difusa

Las ventajas principales de utilizar lógica difusa es la posibilidad de implementar sistemas completos basados en la misma toma de decisiones, sean enfocados al hardware, software o sistemas combinados entre sí. Esta lógica difusa permite trabajar con datos o información con alto grado de imprecisión, diferenciándose de la lógica convencional que trabaja bien definida y precisa. Las ventajas de utilizar la lógica difusa es utilizar lógica multivalente que permite valores intermedios los cuales nos van a permitir realizar evaluaciones entre sí o no, verdaderos o falsos, blancos o negros, caliente o frío. Observando los intermedios de los extremos y aun así considerando fuera de los extremos y de los intermedios. La lógica difusa también tiene una ventaja principal como base el conocimiento, este conocimiento se la adquiere previamente mediante adquisición de datos los cuales se obtienen realizando dataset dirigidos al objeto de estudio o de inferencia de este. Esto describe de manera precisa el tipo de razonamiento de expertos de los objetos a analizar, cómo pueden ser expresiones lingüísticas que describen acciones lugares y situaciones como los fenómenos que utilizan grados de imprecisión, que utilizando una lógica tradicional sería prácticamente imposible de cuantificar en términos matemáticos. Para realizar las identificaciones de las reglas que se van a implementar en el sistema difuso debemos tener claro las características de pertenencia de la continuación del proceso, es decir tener claro todos los niveles de pertenencia apoyados en el sistema de reglas para generar la salida única en el sistema de lógica difusa. Esto se visualiza en la figura 13-2.



**Figura 13-2:** Sistema de lógica difusa

Fuente: (ATENCIO ORTÍZ, 2009)

### 2.2.5.4 Grados de pertenencia

Para realizar los procesos con un tipo de funciones se tiene que plantear un objetivo para determinar la pertenencia del elemento o elementos del conjunto universo difuso. La inferencia relaciona los datos de entrada y salida con lo cual se identifican las reglas que van a controlar el proceso difuso. La defusificación es el proceso que adapta los números fisuficados para poder

generar el proceso de control que se va a implementar en el sistema. La fortaleza principal del sistema difuso se basa en elaborar razonamientos aproximados a través de unas claras premisas imprecisas. Estas son las encargadas de abastecer o nutrir los razonamientos con cierto grado de inexactitud el cual se enfocaría en el objeto de investigación general. La teoría difusa es un proceso de fusificación la cual permitirá generalizar cualquier teoría desde su versión discreta a una versión continua o difusa. A este proceso se lo llama cálculo borroso o también ecuaciones diferenciales borrosas, en ciertas partes de la ciencia se los conoce como autómatas borrosos, sistemas dinámicos borrosos, entre otros términos que son utilizados en la industria automatizada. La fusificación es un valor numérico, en sí, un proceso de conversión realizado por Fuzzy que realizará cambios a medidas del mundo real, éstos también llamados entradas del sistema a un valor lingüístico del mundo de la lógica utilizando funciones de membresía de las variables lingüísticas con lo cual logrará calcular el grado de pertenencia o también conocidos como grados de verdad para cada término de cierto proceso o tiempo. Dicho esto, para realizar la fusificación se debe contar con unas claras y determinadas funciones de membresía de las entradas cuyos datos estarán almacenados en sus respectivas variables, estas se podrán presentar gráficamente dado que el grado para el cual el real valor pertenecen a una variable lingüística.

#### 2.2.5.5 *Sistemas de control*

Un sistema de control está conformado por diferentes elementos (electrónicos, mecánicos, hidráulicos, etc.) que pueden incidir, examinar, inspeccionar o intervenir en la complejidad de un proceso del sistema. El objetivo de un sistema de control es reducir y “controlar” los fallos que se puedan presentar en el proceso, debido a perturbaciones ya sean internas o externas del proceso (LANDIVAR MORENO, 2015).

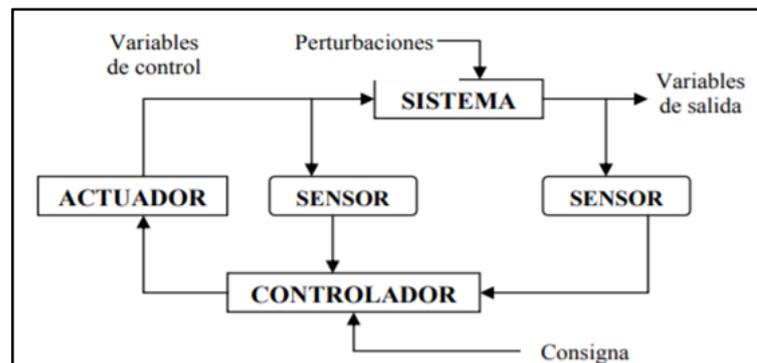
Estos sistemas manipulan las diferentes variables de control para alcanzar los valores que inicialmente se configuraron, más conocidas como consigna o “*set point*” (OGATA, 2010).

Para que un sistema de control tenga éxito en las funciones que tiene que realizar, debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Garantizar estabilidad durante todo el proceso y lo principal es ser robusto frente a perturbaciones internas o externas y errores en los modelos.
- Trabajar de forma eficiente de acuerdo con los criterios existentes de control. Usualmente los criterios tienden a indicar como se deben comportar las variables de entrada para evitar procesos bruscos e irreales.
- De fácil implementación, principalmente para que el operador o ayudante del sistema puedan manejarlo cómodamente en tiempo real.

Existen varios elementos que conforman un sistema de control como se muestra en la figura 14-2, pero los principales son los siguientes:

- **Sensores:** Son dispositivos que permiten medir valores externos del sistema en tiempo real, pueden ser digitales o analógicos.
- **Controlador:** Estos dispositivos necesitan los valores de sensores y *set point* para aplicar ciertas acciones en las variables de control y así lograr un sistema eficiente.
- **Actuador:** Es el mecanismo que se encarga de ejecutar los procesos calculados por el controlador y modifica las variables de control (MAJI HERNÁNDEZ, 2015).



**Figura 14-2:** Sistema de control genérico

Fuente: (LANDIVAR MORENO, 2015)

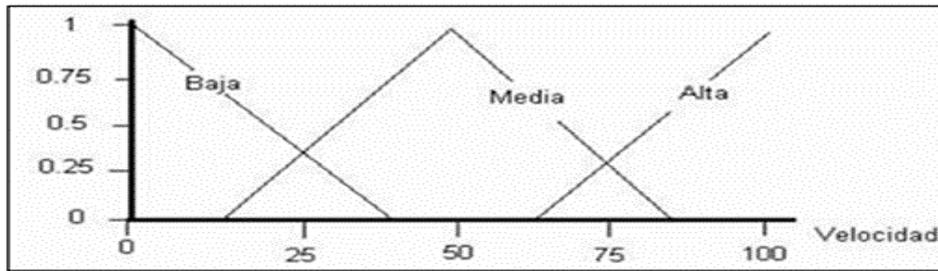
### 2.2.6 Base teórica

Comprende en los elementos que serán o no tomados en cuenta para el diseño.

#### 2.2.6.1 Conjuntos difusos

Son una prolongación de los conjuntos tradicionales que ya se conocen, estos se manejan como una función de pertenencia, la cual se define como un número real entre 0 y 1, estos números se asocian a un determinado valor (palabra o etiqueta), dicho valor pertenece al nombre del conjunto o subconjunto, en contraste con los conjuntos clásicos, que tienen bastantes limitaciones porque estos sólo toman un valor, ya sea verdadero o falso y no existen valores intermedios (AYALA SANTILLÁN, y otros, 2016).

Para todos los conjuntos borrosos (fuzzy) pertenece una función de membresía denotada como  $\mu_A(x)$ , la cual define el grado de pertenencia del valor hacia el conjunto, si este elemento toma el valor de 0 no pertenece al conjunto, por el contrario, si toma el valor de 1, el elemento está dentro del conjunto. Para ilustrar mejor estos conceptos se puede visualizar en la figura 15-2 un ejemplo de un conjunto difuso de velocidad y los valores medios (subconjuntos de alta, media y baja).



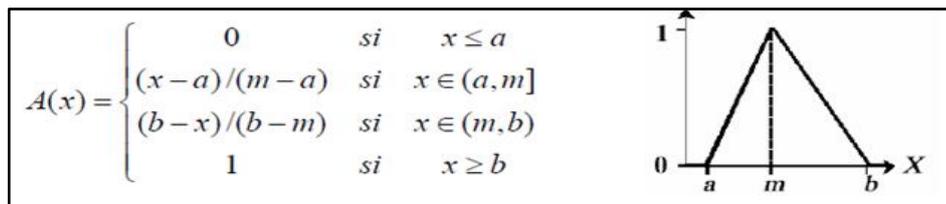
**Figura 15-2:** Ejemplo de un conjunto y subconjuntos difusos de velocidad

Fuente: (AYALA SANTILLÁN, y otros, 2016)

### 2.2.6.2 Funciones de membresía

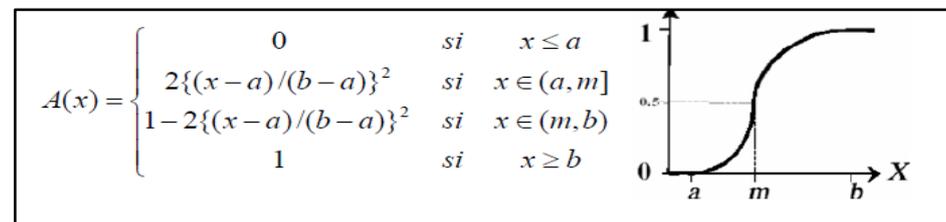
Las funciones de membresía son todos los elementos de un conjunto, los cuales pertenecen a un universo dado y están definidos por una etiqueta.

Cuando se asigna una función de pertenencia, usualmente se eligen funciones sencillas para que no haya complicaciones en los cálculos. Existen varias funciones, pero las más importantes son del tipo trapezoidal, triangular, singleton y sigmoideal. Forma triangular se visualiza en la figura 16-2, forma sigmoideal en la figura 17-2, forma trapezoidal en la figura 18-2 y forma singleton en la figura 19-2.



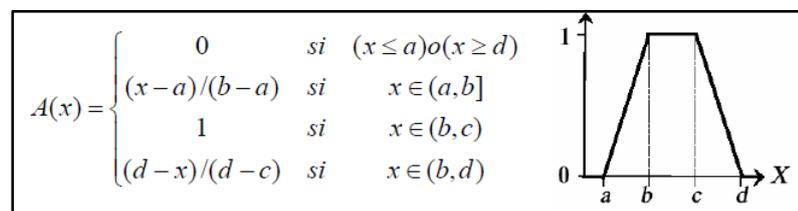
**Figura 16-2:** Función de pertenencia triangular

Fuente: (AYALA SANTILLÁN, y otros, 2016)



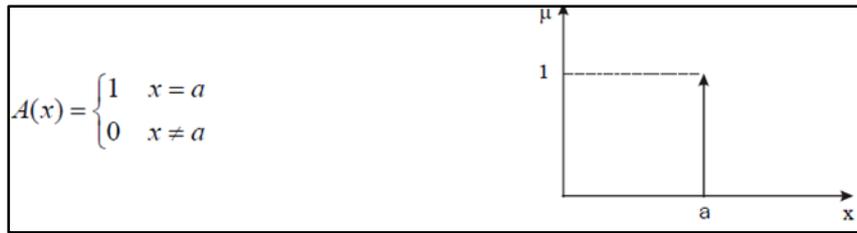
**Figura 17-2:** Función de pertenencia sigmoideal

Fuente: (AYALA SANTILLÁN, y otros, 2016)



**Figura 18-2:** Función de pertenencia trapezoidal

Fuente: (AYALA SANTILLÁN, y otros, 2016)



**Figura 19-2:** Función de pertenencia singleton

Fuente: (AYALA SANTILLÁN, y otros, 2016)

### 2.2.7 Operaciones difusas

Las operaciones básicas difusas no son muy diferentes a las operaciones de conjuntos clásicas, por tal motivo se puede utilizar propiedades como la asociativa, conmutativa y distributiva. Estas operaciones difusas desempeñan un papel importante en los controladores y modelos difusos.

Existen 3 operaciones básicas que se utilizan en conjuntos, estas operaciones son complemento, unión e intersección, esto se visualiza en la tabla 2-2.

**Tabla 2-2:** Operaciones difusas

Operaciones Básicas	Operador Lógico	Función Característica
Complemento	NOT	$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$
Unión	OR	$\mu_{A \cup B}(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)]$
Intersección	AND	$\mu_{A \cap B}(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)]$

Fuente: (AYALA SANTILLÁN, y otros, 2016)

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

#### 2.2.7.1 Inferencia difusa

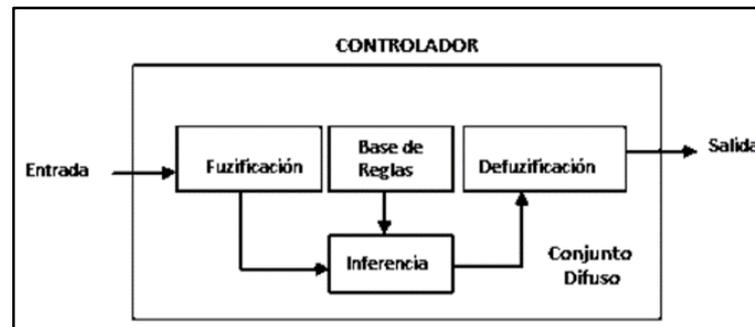
En la inferencia difusa se realiza el cálculo de un valor de una variable de salida del controlador empleando la teoría que se revisó acerca de los conjuntos difusos y los aportes de distintas reglas difusas, estas reglas permiten saber cuál será el comportamiento del controlador difuso. Existen varios métodos de inferencia difusa, de los cuales se explicará el de Mamdani (CUENCA RAMOS, y otros, 2018).

#### 2.2.7.2 Inferencia de Mamdani

Puede ser el método más utilizado en la inferencia difusa, patentado por Ebrahim Mamdani en 1975 y consta de 4 pasos esto se visualiza en la figura 20-2.

1. Fusificación de las variables de entrada.
2. Evaluación de las reglas.
3. Agregación de las reglas.
4. Defusificación.

- **Paso 1:** Esta operación se realiza a cada instante a los valores que ingresan al sistema y consiste en convertir una variable medida del proceso en un valor de pertenencia (BEDOYA RUIZ, 2014 págs. 37-38).
- **Paso 2:** Evalúan el valor anterior de cada regla fuzzy, estas reglas se relacionan mediante las conjunciones *and* y *or* y utilizan operadores T-norma o el operador T-conorma respectivamente.
- **Paso 3:** En esta etapa se agrupan todos los conjuntos resultantes después de haber evaluado todas las reglas del paso 2. Para realizar este paso se necesita emplear un operador borroso de implicación. Todo esto conlleva a obtener un nuevo conjunto difuso.
- **Paso 4:** En este último paso se transforma el conjunto difuso resultante del paso 3 en un número real. Se obtiene una conclusión fuzzy a partir de los valores de entradas, pero en términos difusos, para transformarlo en un número real se utilizan varios métodos, pero el más conocido y utilizado es el método del centroide.



**Figura 20-2:** Sistema de inferencia difuso

Fuente: (CUENCA RAMOS, y otros, 2018)

### 2.2.7.3 Controlador con lógica difusa

Un controlador con lógica difusa es un sistema informático y electrónico, el cual es utilizado de soporte para los procesos de inferencias difusas. El objetivo del controlador con lógica difusa es aplicar con sencillez diferentes problemas complejos de control, a partir de la experiencia de trabajar con el proceso, conllevando a la base del conocimiento requerido.

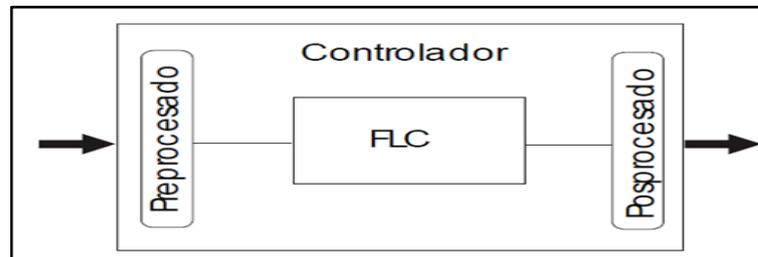
Este tipo de controlador no se centra en reemplazar procesos o técnicas de control tradicionales (PID, por ejemplo), al contrario, solo se utiliza, cuando las herramientas de los controles tradicionales no puedan solucionar algún problema específico.

### 2.2.7.4 Estructura de un controlador con lógica difusa

La estructura de un controlador se basa inicialmente en una etapa de preprocesado, en la cual se realizan operaciones de filtrado, escalamientos y conversiones, luego pasa por todo el proceso de

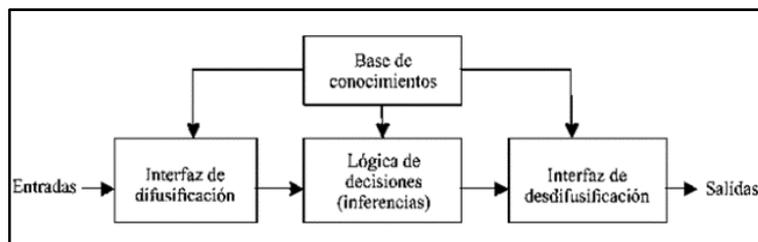
inferencia fuzzy explicado para finalmente llegar a la etapa de posprocesado, el cual puede requerir algún tipo de procesamiento.

En la figura 21-2 y figura 22-2 se puede observar un esquema general y un diagrama de bloques de un sistema de controlador con lógica difusa respectivamente.



**Figura 21-2:** Esquema genérico de un controlador difuso

Fuente: (AYALA SANTILLÁN, y otros, 2016)



**Figura 22-2:** Diagrama de bloques de un sistema controlador difuso

Fuente: (PONCE CRUZ, 2010)

#### 2.2.7.5 Base de conocimientos

En la base de conocimientos se encuentra toda la información de la aplicación que se va a controlar, así como los objetivos del controlador. La base de datos indica que definiciones se tomarán en cuenta en las reglas y datos difusos. Estos conocimientos pueden ser muy variables, los cuales vienen de la experiencia de algún operario o de las respectivas simulaciones del modelo difuso. La información que proviene de las simulaciones permite realizar una estrategia previa para el control, definiendo las reglas difusas.

Una de las recomendaciones para tener un control con un buen comportamiento es obtener la derivada e integral de las variables de entrada, para tener una noción del cambio de velocidad y error acumulado respectivamente.

#### 2.2.7.6 Diseño

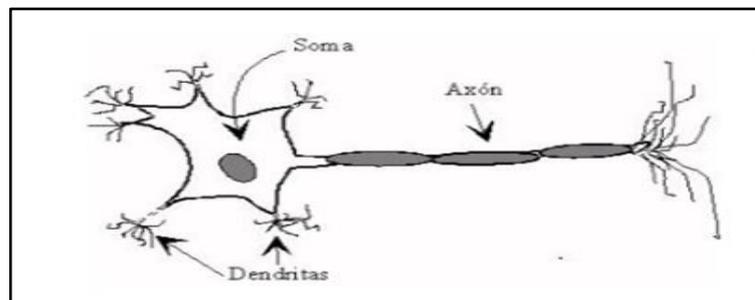
Para diseñar un controlador lógico difuso se necesita saber acerca del proceso que se va a controlar y la estrategia que se llevará, una vez conocido eso se define la inferencia difusa, que la más utilizada es la de Mamdani.

Contando con la base de conocimiento y con la estrategia de control, se procede al diseño del controlador. Para dimensionar el controlador se necesita conocer todos los rangos de variables de entrada y salida. La elección de la función de pertenencia que se utilizará no es tan crítica. Con todo esto se realizan análisis iterativos hasta tener un desempeño aceptable.

### 2.2.8 Redes neuronales

Las redes neuronales artificiales tratan de emular la estructura neuronal del cerebro humano, que se caracteriza por el aprendizaje mediante la experiencia y substracción de conocimiento a partir de distintos datos, todo este proceso lo realizan mediante un programa de ordenador que consiste en una simulación.

Para comenzar con el estudio sobre redes neuronales artificiales, se debe saber sobre las neuronas y como son utilizadas por una red neuronal. En la figura 23-2 se puede observar una neurona biológica.



**Figura 23-2:** Neurona biológica

Fuente: (CORONEL BASURTO, 2017)

En las partes que se puede diferenciar como el soma, contienen el núcleo que desempeña las actividades metabólicas y en ese punto llegan información de otras neuronas, las dendritas son las conexiones de entradas de la neurona y el axón es el encargado de enviar señales a otras neuronas (CORONEL BASURTO, 2017).

Una red neuronal artificial está agrupada por varias neuronas artificiales, son dispositivos capaces de crear respuestas únicas a partir de los estímulos que son enviados de otras neuronas. Se pueden evidenciar tres tipos de neuronas (ANDRADE TEPÁN, 2013):

- **Neuronas de entrada:** reciben información del entorno, pueden arribar desde otras partes del sistema o de sensores.
- **Neuronas de salida:** entregan señales fuera del sistema en el momento que se haya completado el tratamiento de información.

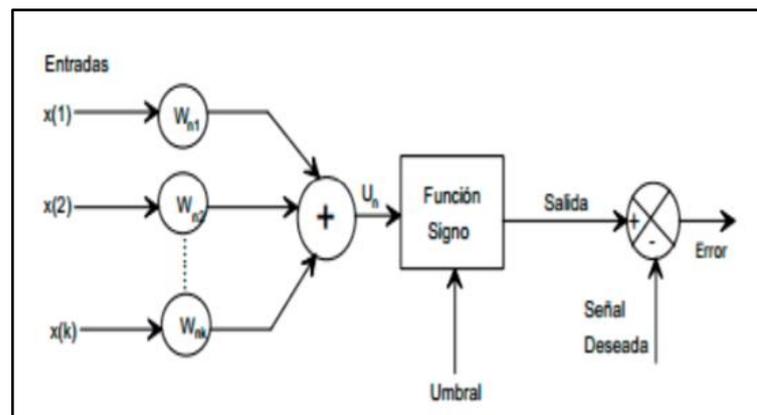
- **Neuronas ocultas:** reciben datos y los transmiten como salidas dentro del sistema, estas neuronas no son capaces de tener ninguna interacción con el exterior, su objetivo es procesar la información, es decir son como los medios que unen las neuronas de entrada con las de salida.

## 2.2.9 Clasificación de redes neuronales

### 2.2.9.1 Red neuronal monocapa

Este tipo de modelo está constituido por una sola capa de neuronas, las cuales emiten la información de las entradas a otra capa de neurona de salida. Este tipo de redes “*las entradas se conectan de forma directa a las salidas mediante pesos*” (PONCE CRUZ, 2010). Se puede indicar los siguientes tipos de redes monocapa:

- **El perceptrón simple:** Es una de las redes más antiguas que se conoce, su año de aparición fue en el año 1943, a partir de esta capa se pudo crear nuevos conjuntos de capas (multicapas). Este modelo de red está caracterizado por realizar la suma de las señales de entrada y multiplicarlos por valores aleatorios de pesos esto se visualiza en la figura 24-2; este valor es comparado con un valor de consigna para determinar si la capa es activada o no, si este valor es mayor, la salida será uno, caso contrario será 0 (CORONEL BASURTO, 2017).



**Figura 24-2:** Red monocapa de perceptrón simple

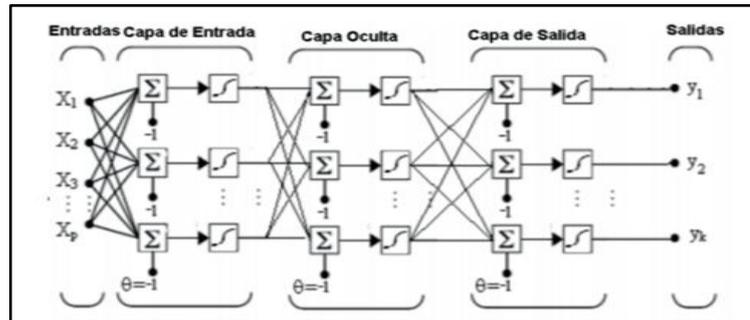
Fuente: (ANDRADE TEPÁN, 2013)

### 2.2.9.2 Red neuronal multicapa

El modelo multicapa o también conocido en inglés como “*multilayer*”, es la agrupación de capas simples o redes monocapa en manera de cascada y consisten que la salida de una capa es el ingreso de otra capa. Para este tipo de modelos se encuentran los siguientes:

- **El perceptrón multicapa:** Es una red antigua que aplica el aprendizaje supervisado, está constituida por una capa de entrada, mínimo una capa oculta y una capa de salida como se ve

en la figura 25-2. El conjunto de nodos de esta neurona envía la señal hacia la salida, todas las interconexiones son optimizadas por un algoritmo de aprendizaje (CORONEL BASURTO, 2017).



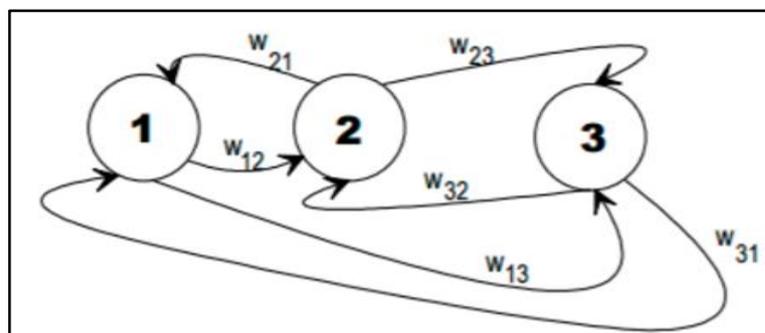
**Figura 25-2:** Perceptrón multicapa

Fuente: (ANDRADE TEPÁN, 2013)

### 2.2.9.3 Red neuronal recurrente

Consisten en conectar los nodos de salidas a los nodos de entradas, con este proceso se requiere llegar a procesar los datos hasta llegar a un equilibrio, manteniendo los valores de la salida. Dentro de estas redes se encuentran las redes Hopfield.

- **Las redes de Hopfield:** Consisten en almacenar información de una forma asociativa como se ve en la figura 26-2, comenzando en un estado inicial conocido como información de partida, la información que tienen va evolucionando hasta llegar a un estado estable, alcanzando el objetivo de parecer al patrón del estado inicial. Se debe acotar que la información inicial puede ser una versión ambigua o incompleta del patrón que se desea obtener (BASOGAIN OLABE, 2012).



**Figura 26-2:** Red Hopfield

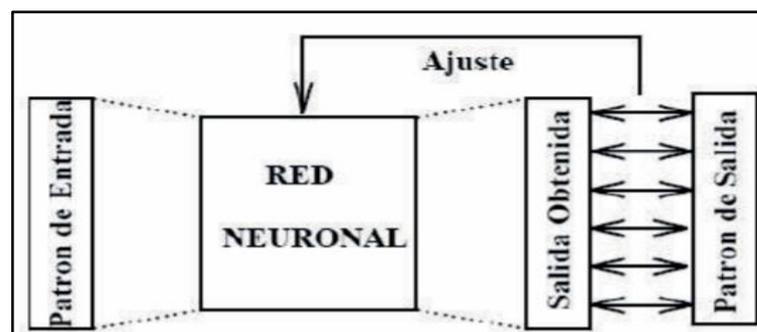
Fuente: (ANDRADE TEPÁN, 2013)

### 2.2.10 Clasificación de redes según el método de aprendizaje

El aprendizaje dentro de las redes neuronales consiste en el proceso de establecer las entradas de la red para obtener un resultado esperado en las salidas, mediante el fortalecimiento de sus

conexiones. “Para que una red aprenda, necesita que se ejecute un proceso que consiste en ir modificando los pesos de las conexiones en respuesta a los valores de entrada, el aprendizaje se encuentra contenido en estos pesos” (BASOGAIN OLABE, 2012). Los métodos del aprendizaje generalmente se clasifican en supervisados y no supervisados.

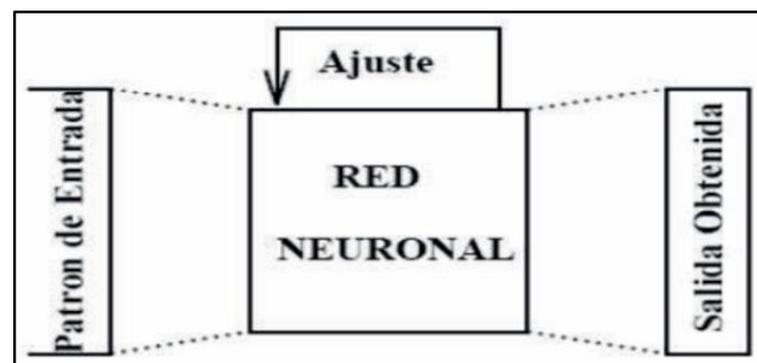
- **Aprendizaje supervisado:** En este tipo de aprendizaje inicialmente se les asignan valores deseados a los nodos de entradas y salidas, y este aprende a emparejarlos, esto se ve en la figura 27-2. Una vez realizado esto, se espera una salida, la cual se compara con el valor deseado o consigna, si estos valores no coinciden se prosigue a variar los pesos de las conexiones hasta obtener esa respuesta deseada con el fin de minimizar los errores. Del aprendizaje supervisado hay una subdivisión de aprendizajes, siendo estos: por corrección de error, estocásticos y por refuerzos (ANDRADE TEPÁN, 2013), (CORONEL BASURTO, 2017).



**Figura 27-2:** Estructura de aprendizaje supervisado

Fuente: (ANDRADE TEPÁN, 2013)

- **Aprendizaje no supervisado:** Este aprendizaje se visualiza en la figura 28-2, consiste en colocar valores a la red de entrada, pero no se puede saber los valores que tienen que generar en la salida. Las redes neuronales artificiales no reciben ningún dato del medio que le permita conocer si la salida que se genera es la deseada. Por esta razón se necesita manejar las características, regularidades, correlaciones en los patrones de entrada.



**Figura 28-2:** Estructura de aprendizaje no supervisado

Fuente: (ANDRADE TEPÁN, 2013)

### 2.3 Sistema embebido

Es un sistema electrónico, el cual está diseñado para realizar diferentes tipos de funciones específicas, utilizando distintos recursos de hardware y software (CHIRIBOGA MERA, y otros, 2015), estos sistemas principalmente contienen un microprocesador o microcontrolador que viene a ser el cerebro del sistema (MACÍAS OLIVES, 2018).

Los sistemas embebidos se utilizan para sistemas que trabajan en tiempo real, un claro ejemplo es el sistema de guía que utilizó el Apolo en la misión de viajar a la luna, este sistema tuvo que utilizar varios circuitos integrados y utilizar una memoria con un tamaño de 16 bits. Uno de los lenguajes de programación utilizados fue el lenguaje assembler o código fuente, en ese tiempo el sistema pudo realizar hasta 8 tareas simultáneamente (CHIRIBOGA MERA, y otros, 2015).

En la tabla 3-2, se explican las principales características de los sistemas embebidos.

**Tabla 3-2:** Características de los sistemas embebidos

Características	Definiciones
Bajo costo y consumo de potencia mínimo	Se necesitan varios sistemas diariamente, por esto motivo no deben generar costos altos de implementación.
Eficiencia	Los sistemas embebidos trabajan con una rapidez alta y dan respuestas eficaces frente a problemas inesperados que se puedan producir dentro del sistema controlado.
Realiza tareas específicas	Usualmente se utilizan para procesos repetitivos que deben cumplir esa tarea sin cambiar ningún proceso o variable.
Fiabilidad y seguridad	Estos sistemas deben cumplir con ciertos estándares de fiabilidad y seguridad por si algo sucede en el proceso, puedan volver a utilizarse o reiniciarse para que sigan trabajando.
Interacción con distintos dispositivos	Los sistemas embebidos pueden integrarse con varios dispositivos para realizar las tareas con gran calidad. Estos dispositivos pueden ser sensores, actuadores, redes de comunicación, etc.
Robustez	Estos sistemas son capaces de trabajar en procesos donde existen gran cantidad de movimiento, vibraciones, humedad o altas temperaturas.

Fuente: (SANDOVAL ATIAJA, 2018)

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

Los componentes de un sistema embebido son principalmente el microprocesador hardware que tiene un software de computador, este se utiliza para realizar una serie de tareas para llevar a cabo un proceso. Para que estas tareas sean memorizadas el sistema utiliza memorias RAM y ROM que pueden estar en el mismo chip del procesador. Cuenta con comunicaciones que le permiten entrelazar todos los dispositivos del sistema, estas son: RS-232, USB, ETHERNET, WI-FI, GSM. De igual forma tiene módulos de entradas y salidas que pueden ser utilizados para tomar valores analógicos y/o digitales. Finalmente tiene una buena alimentación que puede abastecer todos los componentes del sistema (MACÍAS OLIVES, 2018).

Las aplicaciones que tienen los sistemas embebidos son numerosas, debido a que estos pueden ser encontrados en la vida cotidiana de las personas, se expondrá algunas aplicaciones:

- Sistemas de Telecomunicaciones.
- Sistemas de Automatización Industrial.
- Electrónica de consumo.
- Medicina.
- Aeronáutica.
- Industria automotriz.
- Vida cotidiana (cajeros automáticos, cámaras, controles de tv, celulares) entre otros.

### **2.3.1 Jetson Nano**

Es una tarjeta embebida creada por la empresa NVIDIA, es un ordenador pequeño y potente que es ideal para aprender sobre la inteligencia artificial. Las múltiples aplicaciones de Jetson Nano abren la puerta a robótica e implementan Deep Learning para la clasificación de imágenes en tiempo real, la detección de objetos, la segmentación, el procesamiento de voz y mucho más. Es la herramienta ideal para implementar en procesos y se pueda incursionar en proyectos con IA.

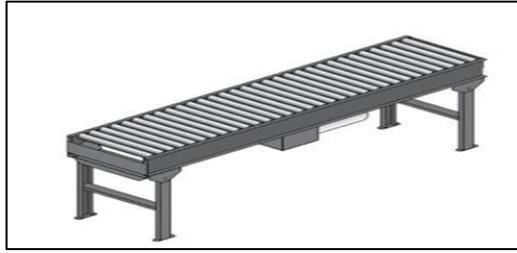
Entre sus aplicaciones permite ejecutar múltiples redes neuronales para realizar diferentes aplicaciones de visión artificial, de igual forma se puede estudiar sistemas robóticos e implementan Deep Learning para la clasificación de imágenes en tiempo real, la detección de objetos, la segmentación, el procesamiento de voz y mucho más. Es la herramienta ideal para implementar en procesos y se pueda incursionar en proyectos con IA.

## **2.4 Sistemas de transporte**

En la actualidad hay varios sistemas de transporte desarrollados para el levantamiento de cargas, para llevar varios objetos de un sitio a otro, depende de la distancia a la que va a efectuarse el transporte, todo esto con la finalidad de reducir el tiempo y costos de producción de algún producto. En este proyecto se mencionarán dos tipos de sistemas de transporte.

### **2.4.1 Transportador por rodillos**

Este tipo de transporte como su nombre lo dice utiliza rodillos generalmente son metálico o pueden ser de otro material robusto. Esto se muestra en la figura 29-2. Sobre la superficie se colocan los rodillos que van ubicados uno cerca del otro para facilitar el transporte de objetos de un lugar a otro (RODRÍGUEZ BOSQUEZ, y otros, 2020).

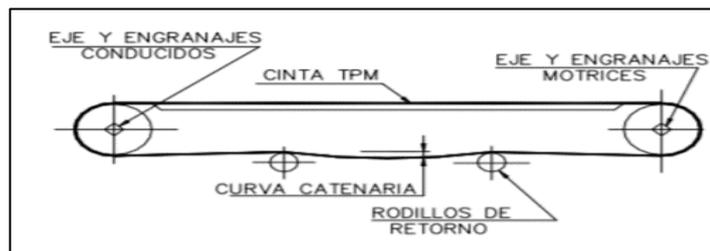


**Figura 29-2:** Transportador por rodillos

Fuente: (RODRÍGUEZ BOSQUEZ, y otros, 2020)

#### 2.4.2 Banda transportadora

Este tipo de transportadora está constituida por una cinta o banda que realiza su movimiento mediante dos rodillos o tambores esto se visualiza en la figura 30-2, dependiendo de su aplicación, si la distancia a transportar es grande, se puede aumentar el número de tambores para que la banda no sufra ningún desperfecto (ORTIZ BASANTES, y otros, 2019). La banda transportada es accionada a través de un motor eléctrico, después de poner en marcha el motor, se genera una fricción en uno de los tambores mediante un mecanismo tensor, mientras que el otro tambor gira libre sin la necesidad de ningún accionamiento y su funcionamiento es hacer retornar la banda. La dureza de la banda y características del motor deben ser parametrizados según a la carga que se vaya a transportar.



**Figura 30-2:** Banda transportadora

Fuente: (RODRÍGUEZ BOSQUEZ, y otros, 2020)

### 2.5 Sensores

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar cambios en el entorno o fenómenos físicos, la variable detectada es imposible que un controlador la puede interpretar, por este motivo el sensor se encarga de convertir esa variable física (temperatura, posición, intensidad de la luz, etc.) en una señal eléctrica, la cual generalmente se normaliza en un rango de 4 a 20 mA de corriente continua o de 0 a 10 V (CUENCA RAMOS, y otros, 2018).

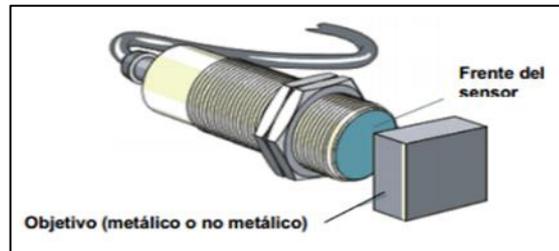
Los sensores son indispensables para un sistema de control, debido a que el controlador los utiliza para diferentes tipos de procesos ya sea de: medir flujo, nivel de agua, para detectar ciertos

objetos, etc. Con la información que recibe el controlador de estos transductores, manda órdenes a los diferentes actuadores que trabajan en el sistema.

Existen diferentes tipos de sensores para una infinidad de procesos, pero en este trabajo se explicarán los sensores capacitivos, inductivos y fotoeléctricos.

### 2.5.1 *Sensor capacitivo*

Es capaz de detectar materiales de tipo metálicos y no metálicos (líquidos), este se muestra en la figura 31-2. Se puede variar su rango de sensado pero no puede detectar elementos a grandes distancias, esto depende del área que tenga el electrodo o cabeza sensora, es decir entre más grande sea el diámetro de ese electrodo, más grandes serán las distancias que se podrá sensar. En el mercado se encuentran sensores de diferente tipo de material para la carcasa y estos son de metal o plástico (VALLEJO CADENA, y otros, 2015).

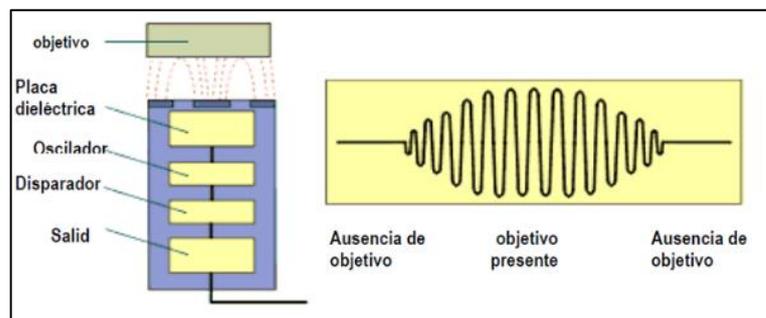


**Figura 31-2:** Sensor capacitivo

Fuente: (MAJI HERNÁNDEZ, 2015)

El funcionamiento de estos dispositivos se puede visualizar en la figura 32-2, se basan en dos electrodos metálicos en forma de capacitor que se encuentran el interior de la cabeza del sensor.

Cuando el sensor es alimentado, se origina un campo electrostático debido a los cambios de capacitancia influenciados por un objeto que esté cercano al sensor. Al momento de llegar a los valores límites de capacitancia, el oscilador empieza a generar unas ondas que conlleva a que el sensor entre en funcionamiento (GUAMÁN GUAYANLEMA, 2019).



**Figura 32-2:** Esquema de funcionamiento de un sensor capacitivo

Fuente: (MAJI HERNÁNDEZ, 2015)

En la tabla 4-2 se puede observar las ventajas y desventajas que tienen estos sensores.

**Tabla 4-2:** Ventajas y desventajas de los sensores capacitivos

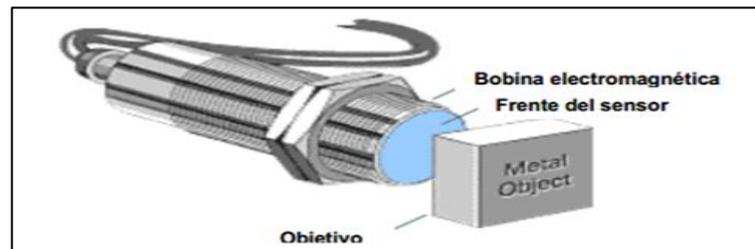
Ventajas	Desventajas
Detectan sólidos y líquidos	Sensibles a factores ambientales
Detectan metales y no metales	No son selectivos al momento de detectar un elemento
Larga vida útil	Corta distancia de detección

Fuente: (VALLEJO CADENA, y otros, 2015)

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

### 2.5.2 Sensor inductivo

Son caracterizados por detectar la presencia o ausencia de cualquier tipo de metal (bronce, acero, aluminio, etc.) a distancias grandes sin que haya contacto directo con los objetos a sensor. Este se puede visualizar en la figura 33-2.



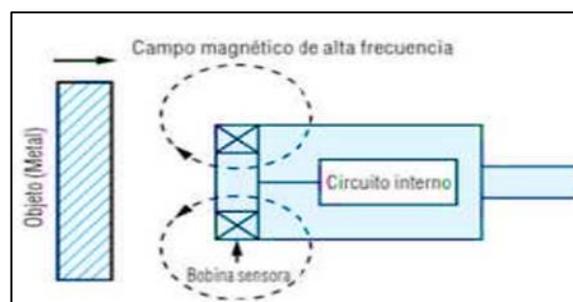
**Figura 33-2:** Sensor inductivo

Fuente: (MAJI HERNÁNDEZ, 2015)

Un sensor inductivo está constituido generalmente de 4 elementos principales:

- Una bobina de núcleo de ferrita.
- Un oscilador de radio frecuencia.
- Una unidad de evaluación o de disparo.
- Una etapa de salida o conmutador.

El funcionamiento de este sensor ocurre cuando el oscilador cambia su frecuencia de oscilación y excita a la bobina creando un campo electromagnético, esto se produce por la aproximación de un objeto metálico al sensor. Esto se visualiza en la figura 34-2.



**Figura 34-2:** Funcionamiento de un sensor inductivo

Fuente: (GUAMÁN GUAYANLEMA, 2019)

En la tabla 5-2, se puede observar las ventajas y desventajas que tienen estos sensores.

**Tabla 5-2:** Ventajas y desventajas de los sensores inductivos

Ventajas	Desventajas
Tienen un diseño Compacto	Detectan solo metales
No les afecta la humedad ni el polvo	Costo Moderado
Larga vida útil	Afectados por campos electromagnéticos cercanos

Fuente: (VALLEJO CADENA, y otros, 2015)

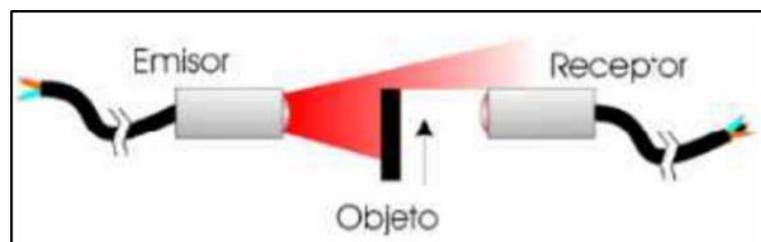
Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

### 2.5.3 Sensor fotoeléctrico

Los sensores fotoeléctricos se basan en la utilización de luz infrarroja, si un objeto interrumpe el haz de luz, se manda una señal que se ha detectado dicho objeto. Constan de filtros incorporados y se puede modificar la frecuencia con la que luz infrarroja es emitida para eliminar anomalías causadas por la luz solar al momento de sensar (GUAMÁN GUAYANLEMA, 2019).

Estos sensores cuentan con mucha distancia de sensado, y esto depende a la distancia máxima que se coloque el emisor y receptor. Para estos sensores es despreciable los factores ambientales, gracias a eso tiene un gran margen de seguridad de trabajo. Los sensores fotoeléctricos también son conocidos como sensores ópticos y detectan cualquier objeto no importa de qué material sean. Usualmente se los utiliza como sensores de posición.

El principio de funcionamiento de estos sensores se basa en emitir un haz de luz, que produce el sensor emisor y es recibido por un sensor receptor, esto se visualiza en la figura 35-2.



**Figura 35-2:** Funcionamiento de un sensor fotoeléctrico

Fuente: (GUAMÁN GUAYANLEMA, 2019)

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

Las metodologías utilizadas en este proyecto integrador cuentan con el método científico que se realizó en investigaciones bibliográficas y de campo para determinar requerimientos de la maquina y requerimientos para la selección de mangos de exportación por medio del experto. El método experimental para implementar nuestro prototipo de automatización, cada uno de los pasos realizados en el proceso de puesta en marcha de nuestro sistema y el método cuantitativo para validar nuestro resultado, reflejando que nuestro prototipo cumple con las expectativas y ayuda a mejorar el proceso de selección de mangos.

En esta sección se especificó el diseño del sistema, basado en hardware como en software, detallando cada etapa realizada, requerimientos, características técnicas, componentes utilizados y el sistema electrónico implementado.

#### 3.1 Requerimientos para el diseño del prototipo

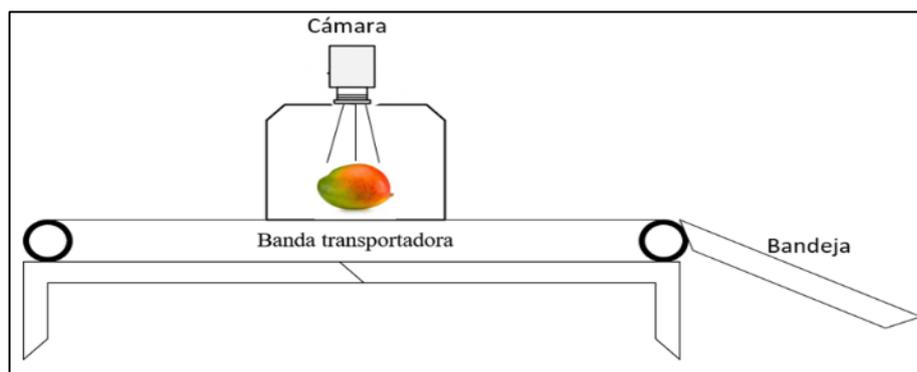
En base a un estudio realizado en el capítulo anterior, definimos los requerimientos para poder satisfacer nuestro prototipo de automatización para la selección de mangos de exportación.

El prototipo debe cumplir con la normativa UNE-EN 1672-2:2006+ A1:2009 que determina los requisitos esenciales de seguridad y de higiene para la manipulación de alimentos. Su uso y operación deben ser sencillo, al momento de transportar y clasificar la fruta esta no debe sufrir ningún daño. La automatización debe ser realizada con componentes accesibles en el mercado nacional. Así como también la programación debe ser realizada en un lenguaje de fácil entendimiento.

- Capacidad de selección por tamaño y color.
- Facilitar la instalación y transporte.
- Seguridad e higiene en el proceso.
- Fácil de operar.
- Fácil mantenimiento.
- Autonomía.
- Bajo costo.
- Funcione con motor eléctrico DC.
- Eficiencia de clasificación.
- Estabilidad.

### 3.2 Análisis funcional del prototipo de clasificación

Como se presenta en la figura 1-3, se aprecian los elementos constitutivos del sistema, una cámara ubicada en la parte superior del prototipo es la encargada de adquirir las fotos a los mangos que pasan por medio de una banda transportadora. Los mangos por medio de sensores detienen la banda al captar la presencia del mango por dos segundos para poder adquirir la información y ser procesada por el algoritmo implementado en la tarjeta Jetson Nano. La tarjeta está programada en lenguaje Python y es la que va a determinar si el mango cumple con los estándares de exportación al final una plancha de tol se moverá hacia el lado derecho o izquierdo para separar la fruta como en la figura 2-3.

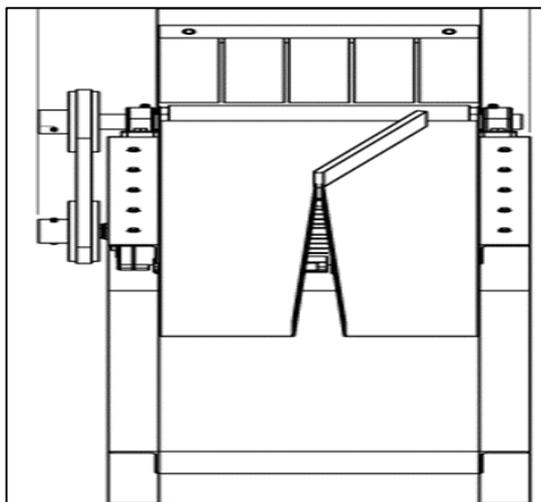


**Figura 1-3:** Concepción del sistema

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

#### 3.2.1 Diseño del prototipo máquina clasificadora

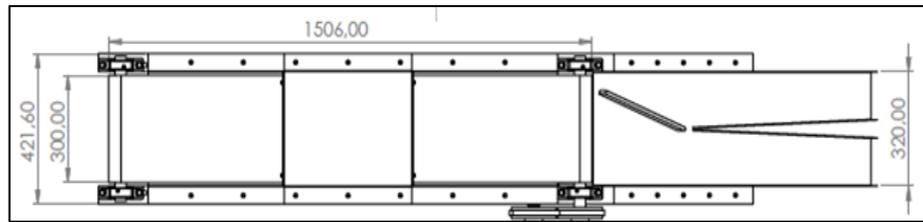
El diseño del prototipo fue desarrollado en SolidWorks con medidas reales. Y se logró implementar físicamente cumpliendo con el diseño. El prototipo es funcional ya que cuenta con una estructura hecha de aluminio ideal para este proceso.



**Figura 2-3:** Sistema de clasificación

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

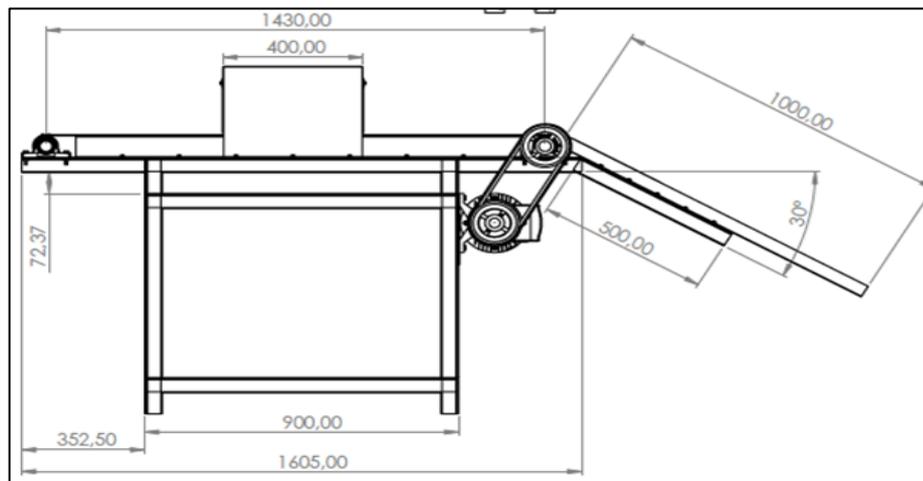
En la figura 3-3. Se tiene una imagen de la parte superior de nuestro prototipo la cual cuenta con un espacio en la banda de 30cm de ancho por la que se transportara el mango. En la parte final esta nuestro sistema de clasificación.



**Figura 3-3:** Diseño del prototipo de clasificación vista superior

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

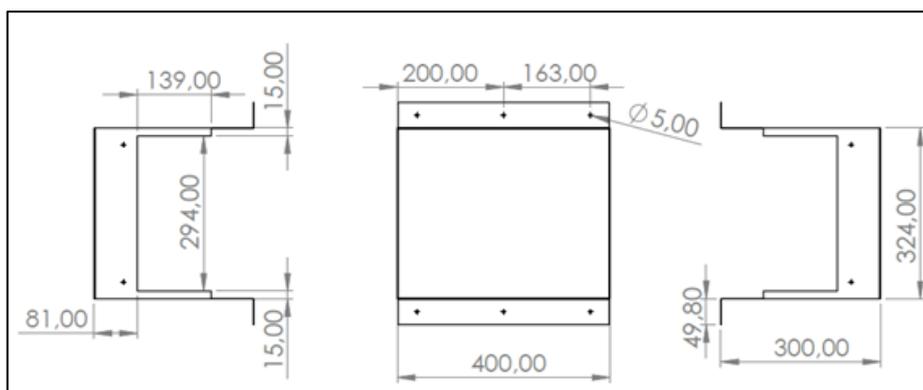
En la figura 4-3. Se diseñó la bandeja de clasificación con una inclinación de 30° para que nuestro mango pueda descender de la banda y sea clasificado sin sufrir golpes.



**Figura 4-3:** Diseño del prototipo de clasificación

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

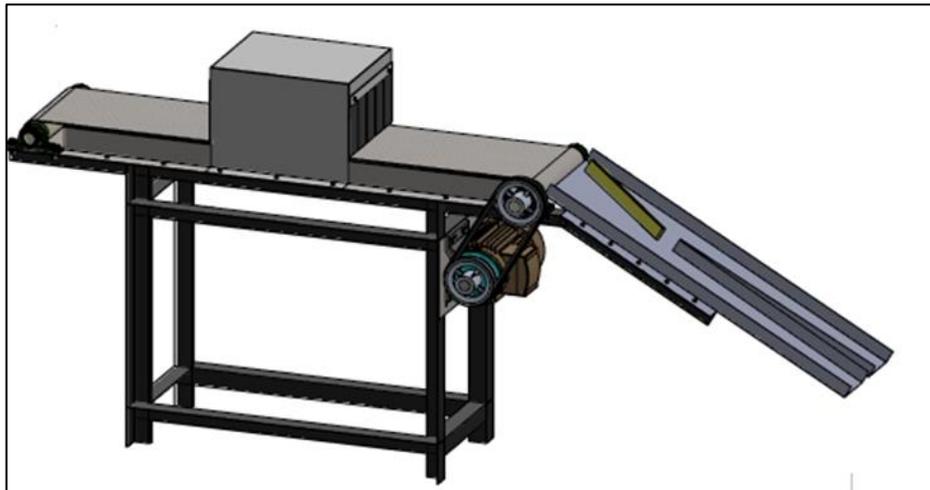
En la figura 5-3. Se tiene las medidas de nuestra caja donde se encuentra ubicada la cámara a 30cm de altura para poder obtener imágenes apropiadas.



**Figura 5-3:** Caja de cámara

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

En la figura 6-3. Podemos ver que nuestro prototipo ya toma forma y procedemos a implementarlo físicamente tomando en consideración las medidas del diseño.



**Figura 6-3:** Diseño del prototipo de clasificación implementado

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

En la tabla 1-3 se muestra las ventajas y desventajas que otorga usar una banda transportadora en el prototipo.

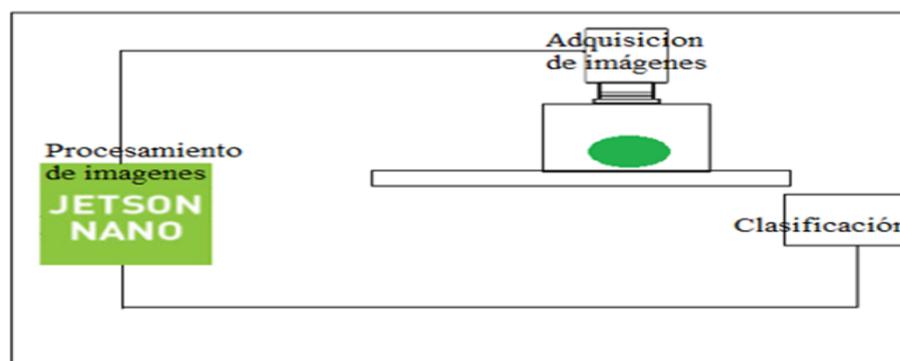
**Tabla 1-3:** Ventajas y desventajas del uso de la banda transportadora

Ventajas	Desventajas
La fruta no se transporta con movimientos bruscos	Cambio de la banda debido al desgaste.
Buena capacidad de transporte	Difícil limpieza en caso de existir frutas con exceso de maduración.

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

### 3.3 Diseño de bloques del proceso del sistema

Definiremos el funcionamiento del prototipo de manera general por etapas. Esto se muestra en la figura 7-3.



**Figura 7-3:** Concepción del sistema clasificador

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

### 3.3.1 Etapa de adquisición de imágenes

Como se indica en la figura 7-3. En la presente etapa se captarán las imágenes a través de la Webcam HD 1080p angular, ubicada en el centro superior interno de una estructura diseñada para la cámara a 30cm de altura y con un ángulo de inclinación de 90° grados, las mismas que serán transferidas a través de conexión USB a la Jetson Nano.

### 3.3.2 Etapa de procesamiento de imágenes

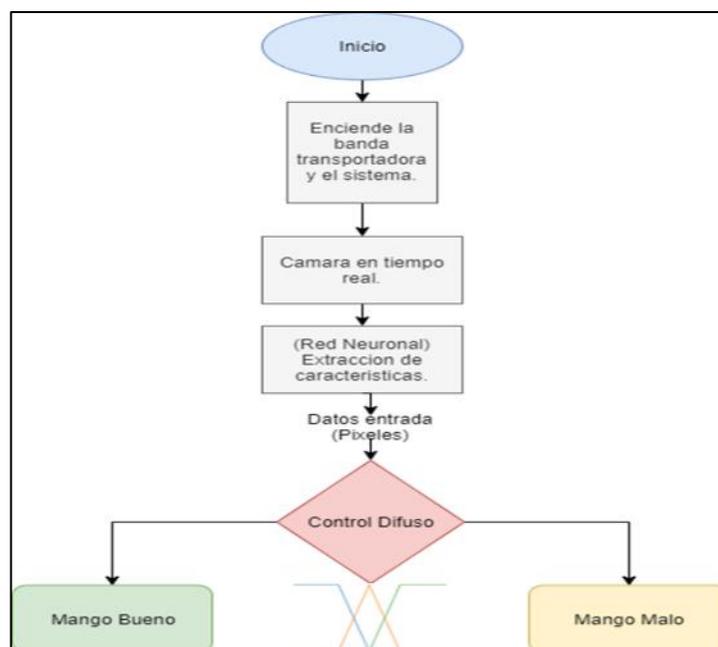
Como se indica en la figura 7-3. En la tarjeta Jetson Nano se ejecutará el programa realizado en lenguaje Python que segmentará las imágenes para el reconocimiento de la fruta y las características, el mismo enviará los datos obtenidos en pixeles a nuestro controlador difuso y se encargará de clasificar los mangos según su pertenencia.

### 3.3.3 Etapa de clasificación

Como se indica en la figura 7-3. En esta etapa entraran en acción nuestro motor Nema 17 controlado por medio de un Arduino Uno, este recibe una señal de la tarjeta Jetson determinando si el mango esta apto o no, y esta moverá la división de la bandeja hacia la derecha o la izquierda según corresponda para clasificar nuestra fruta y poder separarlas.

### 3.3.4 Diagrama de flujo del prototipo

En el gráfico 1-3, se muestra en diagrama de flujo usado en el prototipo.



**Gráfico 1-3:** Diagrama de flujo del prototipo

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

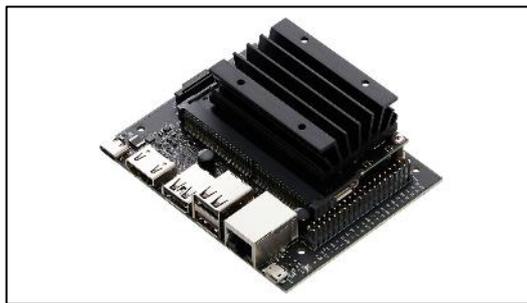
### 3.4 Descripción de los elementos de hardware del prototipo

En el siguiente apartado se describirá brevemente los elementos de *hardware* usados en el prototipo

#### 3.4.1 Jetson Nano

Es una tarjeta embebida creada por la empresa NVIDIA, actualmente usada para procesar grandes cantidades de información ideal para poder trabajar con visión artificial y con mayor alcance que las tarjetas tradicionales en procesos industriales, lo que la hizo ideal para este proyecto. Esta tarjeta se visualiza en la figura 8-3.

En la tabla 2-3 se detalla las características técnicas principales de esta tarjeta.



**Figura 8-3:** Tarjeta Jetson Nano

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

**Tabla 2-3:** Características técnicas principales de la tarjeta Jetson Nano

Componentes	Especificaciones
GPU	128 núcleos NVIDIA Maxwell
CPU	ARM de 4 núcleos a 1.43 GHz
Memoria	4 GB de LPDDR4 de 64 bits
Almacenamiento	Puede incorporar un microSD, pero no está incluida con la venta de la tarjeta
Video codificador	4Kp30   4x 1080p30   9x 720p30 (H.264/H.265)
Video decodificador	4Kp60   2x 4Kp30   8x 1080p30   18x 720p30 (H.264/H.265)
Alimentación	Micro-USB con fuente de 5 voltios a 2 Amperios
Entradas y Salidas	USB: 4x USB: 3.0, USB: 2.0, Micro-B HDMI Gigabit ethernet 10/100/1000 GPIO, 12 C, 12 S, SPI, UART conectores de cámaras MIPI-CSI Conector de ventilador, Conector PoE
Dimensiones	100 mm x 80 mm x 29 mm

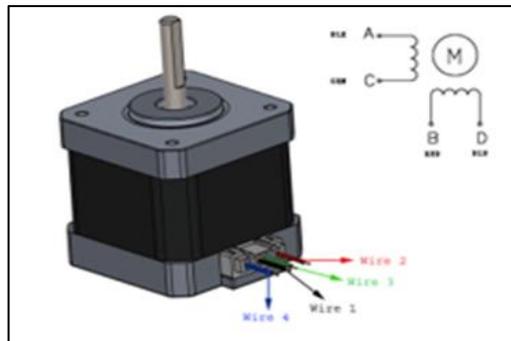
Fuente: (NVIDIA, 2020)

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

#### 3.4.2 Motor Nema 23

En la figura 9-3 se presenta un motor paso a paso que son un segmento especial que pertenece a la clase de motores sin escobillas y está especialmente diseñado para mantener un par elevado. Este par proporciona la capacidad de moverse entre posiciones, lo que da como resultado un

sistema de posicionamiento simple que no requiere un codificador, lo que hace que los controles de motor paso a paso sean muy fáciles de implementar y usar. Este par elevado lo hace ideal para mover la transportadora.

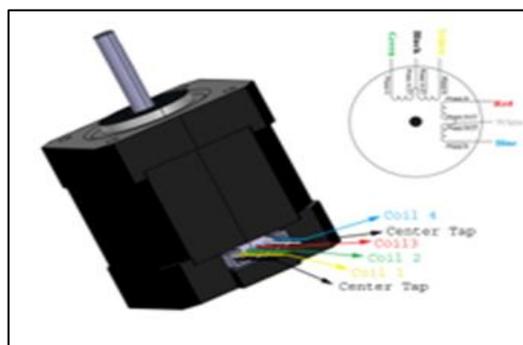


**Figura 9-3:** Motor Nema 23

Fuente: (COMPONENTS 101, 2019b)

### 3.4.3 Motor Nema 17

En la figura 10-3 se presenta este motor. Es un motor paso a paso robusto ideal para proyectos que requieren movimientos precisos en este prototipo es el encargado de mover la aspa en el sistema de clasificación.

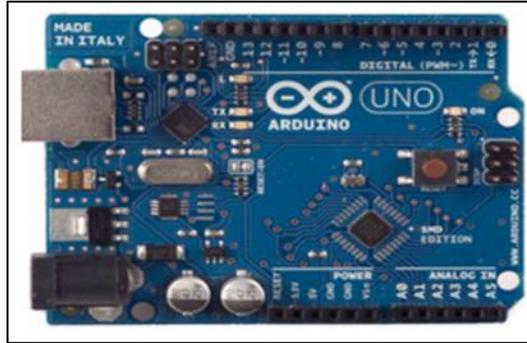


**Figura 10-3:** Motor Nema 17

Fuente: (COMPONENTS 101, 2019b)

### 3.4.4 Arduino Uno

La figura 11-3 es un microcontrolador basado en código abierto, envía y recibe señales para crear una comunicación entre sensores, motores o actuadores. En este proyecto nos ayuda a comunicarnos con el motor Nema 17.



**Figura 11-3:** Arduino Uno

Fuente: (ARDUINO, 2021)

### 3.4.5 Driver TB6600

En la figura 12-3 tenemos un controlador de motores paso a paso bipolares, pueden controlar motores hasta 3,5A con un pico de 4A por cada canal. Son compatibles con microcontroladores que generen señales a nivel de pulsos de hasta 5V, pueden soportar un voltaje de entrada en un rango de 9 a 42V DC.



**Figura 12-3:** Driver TB6600

Fuente: (COMPONENTS 101, 2021a)

En la tabla 3-3 se detalla las características técnicas principales de este driver.

**Tabla 3-3:** Características técnicas principales driver TB6600

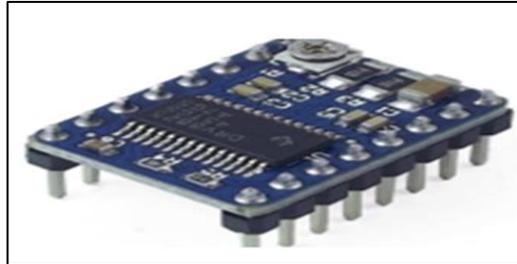
Descripción	Características
Corriente de entrada	0V a 5V
Salida de corriente	0,5A a 4A
Señales de control	3,3V a 24V
Potencia máxima	160W
Temperatura de funcionamiento	-10°C a 45°C

Fuente: (COMPONENTS 101, 2021a)

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

### 3.4.6 Driver DRV8825

En la figura 13-3 tenemos un controlador o driver que nos ayudan a facilitar el manejo de motores paso a paso controlados por un microcontrolador o de manera automática, para realizar el control lo único que se necesita son dos salidas digitales, una para la comunicación y otra para darle sentido de giro. El DRV8825 es una actualización mejorada del driver A4988.



**Figura 13-3:** Driver DRV8825

Fuente: (NAYLAMPMECHATRONICS, 2020)

En la tabla 4-3 se detalla las características técnicas principales de este driver.

**Tabla 4-3:** Características técnicas principales driver DRV8825

Descripción	Características
Tensión máxima	45V
Intensidad máxima	2,5A
Microsteps	32
Rs típico	0,1
Color	Morado

Fuente: (NAYLAMPMECHATRONICS, 2020)

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

### 3.4.7 Cámara Tolulu 1080 Full HD

En la figura 14-3 se observa este tipo de cámara que nos ofrece una excelente calidad de imágenes a una velocidad de 30 FPS, se ajusta automáticamente el color y el brillo para una iluminación natural, gracias a su definición full HD 1080p podemos considerarla para proyectos con visión artificial.



**Figura 14-3:** Cámara Tolulu Full HD

Fuente: (AMAZON, 2021)

En la tabla 5-3 se detalla las características técnicas principales de la cámara Tolulu Full HD

**Tabla 5-3:** Características técnicas principales de la cámara Tolulu Full HD

Descripción	Características
Marca	Tolulu
Resolución de cámara	1080p
Conectividad	USB
Distancia focal	500 mm
Tipo de lente	Ángulo ancho

Fuente: (AMAZON, 2021)

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

### 3.4.8 Fuente de voltaje Unitec

En la figura 15-3 tenemos una fuente de voltaje de la marca Unitec con una capacidad de 550W, este tipo de fuentes son ideales para trabajar en proyectos en DC, ya que permiten una estabilidad en el momento de suministrar el voltaje necesario en el sistema de clasificación.



**Figura 15-3:** Fuente de voltaje Unitec 550W

Fuente: (ANDINOTEC, 2020)

En la tabla 6-3 se detalla las características técnicas principales de la fuente Unitec 550W

**Tabla 6-3:** Características técnicas principales de la fuente Unitec 550W

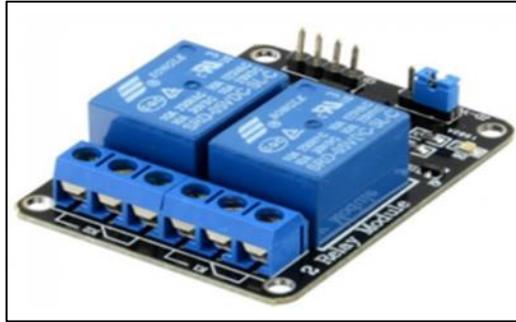
Descripción	Características
Potencia	550W
Pines	20+4
Conectores	6
Protección contra sobrecargas	Si
Protección contra cortocircuitos	Si

Fuente: (ANDINOTEC, 2020)

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

### 3.4.9 Banco de relés

En la figura 16-3 nos muestra un banco de relés lo usamos para conectar luces led a 110V en nuestra cámara de selección.



**Figura 16-3:** Banco de relés

Fuente: (MECABOT, 2020)

En la tabla 7-3 se detalla las características técnicas principales del banco de relés.

**Tabla 7-3:** Características técnicas principales del banco de relés

PIN	Descripción
GND	Va a común o tierra
IN1	Controla el primer relé
IN2	Controla el segundo relé
VCC	A 5V

Fuente: (MECABOT, 2020)

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

### 3.4.10 Botoneras

En la figura 17-3 podemos botoneras de inicio y de paro usadas para poner en marcha el proceso. El botón verde enciende el prototipo y el botón de color rojo lo apaga, dicho dispositivo está previamente enlazada y programado con el microcontrolador Arduino uno.



**Figura 17-3:** Botonera ON/OFF

Fuente: (OTECE, 2020)

## 3.5 Herramientas *software* para el prototipo

Se han utilizado 5 herramientas de desarrollo para procesamiento y técnicas de visión artificial, comunicación y diseño del prototipo, que se describen a continuación.

### **3.5.1 Python**

Es un lenguaje de programación de multiplataforma abierto y de alto nivel, se utiliza para desarrollar aplicaciones y programación en sistemas embebidos. Python facilita el trabajo con inteligencia artificial, machine learning, deep learning, data science, big data.

### **3.5.2 Labeling**

Esta es una herramienta gratuita creada con una interfaz gráfica completa, está escrita en el lenguaje Python y Qt, la usamos para el etiquetado de imágenes, este un proceso manual por lo que necesita de tiempo y consiste en asignar una etiqueta a objetos en particular, que presentemos en nuestras imágenes y nuestro sistema pueda distinguir entre ellos, es una preparación previa para los datos de nuestro modelo.

### **3.5.3 IDE Arduino 1.8.16**

Arduino es un programa basado en código abierto, en un lenguaje de programación C++, es compatible con cualquier sistema operativo. Cuenta con una amplia variedad de librerías que nos ayudan a facilitar la interacción con el hardware. A continuación, se presenta el diagrama de funcionamiento del control de la banda transportadora.

### **3.5.4 Cade Simu**

El programa Cade Simu es de software libre y nos permite dibujar esquemas eléctricos y electrónicos con una amplia variedad de simbología y facilidad, cuenta con las librerías necesarias para simular un Arduino. En el programa se desarrolló el simulado de la etapa de automatización de la banda transportadora.

### **3.5.5 Solidworks**

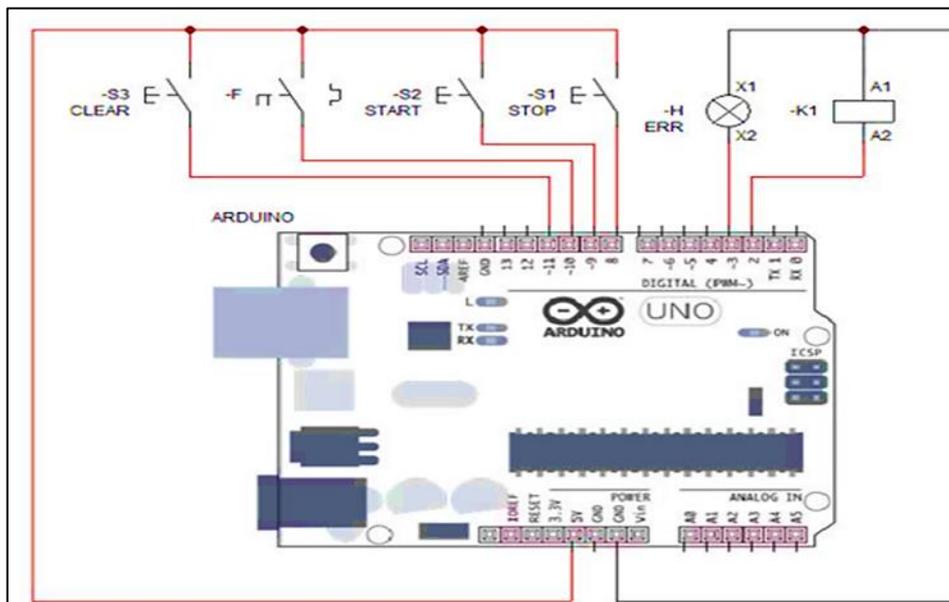
Es un software de diseño en 3D para el modelamiento de piezas, que nos permite de manera intuitiva crear, simular y gestionar modelos tridimensionales. Este software facilita el trabajo gracias a una poderosa interfaz que ayuda a implementar el modelado sólido, es propio para el diseño de proyectos y soluciones de ingeniería.

## **3.6 Etapa de automatización**

En la etapa de automatización especificaremos los esquemas realizados para el montaje y la función que cumplen en el prototipo de clasificación.

### 3.6.1 Esquema del sistema de automatización de la banda transportadora

En la figura 18-3 presenta el diseño del sistema de control de la banda transportadora, dicho esquema fue desarrollado con Cade Simu software libre, como podemos observar en la figura 18-3, dicho diseño consta de un botón de inicio, un botón de paro, también tenemos un botón de reseteo que va a ser muy importante al momento que se genere un percance o simplemente como fase de prueba de reseteo, adicional tenemos una luz de emergencia la cual nos va a indicar cuando el sistema se pone en marcha y cuando se detiene su funcionamiento lo cual irá alternando un encendido y apagado de la misma y finalmente y ya que se ha dado la orden de encendido, el sistema se pondrá en marcha dando lugar al comienzo del proceso de funcionamiento de los motores tanto a los motores de la parte inicial de la banda transportadora como al motor de selección del mango. El objetivo para esta prueba fue determinar que las mediciones del sensor respectivo del dispositivo IoT fabricado, no sobrepasen al margen de error esperado del equipo patrón utilizado para esta prueba, en vista de que en la *datasheet* de este sensor no se menciona error alguno.



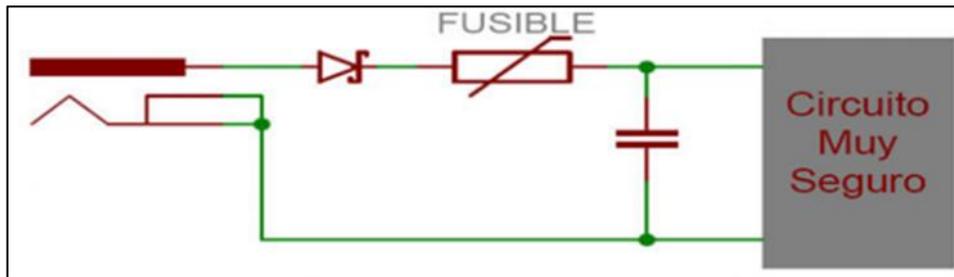
**Figura 18-3:** Circuito de control de arranque de la banda transportadora

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

### 3.6.2 Diseño del sistema de protección

En la figura 19-3 tenemos nuestro circuito de protección. El circuito cuenta con un diodo para evitar que la corriente regrese, igualmente colocamos fusibles en nuestra caja de operación en el área de las botoneras, esta clase de esquemático como podemos observar en la figura 19-3, al momento que ingresa la corriente y dado que está en conducción directa, esto va a evitar gracias al diodo Shockley que esa misma corriente retorne de manera brusca causando un desperfecto

considerable al funcionamiento general del prototipo del sistema de clasificación de mangos, con lo cual se aplicó un sistema de protección de polaridad inversa.



**Figura 19-3:** Esquemático del circuito de protección

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

### 3.7 Desarrollo del algoritmo de visión artificial

El desarrollo del algoritmo en visión artificial se realiza mediante 3 fases principales la detección del mango, adquisición de datos en píxeles, y la parte de control mediante lógica difusa, dicho esto se ha desarrollado los algoritmos que van a dar lugar a un sistema completo de detección de mangos en función de las anomalías físicas y tamaño.

#### 3.7.1 Red neuronal YOLO V3

Yolo está diseñado como un sistema detector de objetos en tiempo real, esta utiliza Deep Learning y redes neuronales convolucionales, la red Yolo no observa la imagen completa, esta solo mira parte de esta en donde se encuentra grandes probabilidades de contener el objeto. Tiene muchas ventajas en comparación a otro tipo de redes neuronales convolucionales, una de ellas es mayor rapidez de detección y fiabilidad para predecir eventos.

Hemos investigado muchas técnicas de visión artificial, empezamos con el Machine Learning donde tenemos procesamiento de imágenes, clasificadores de imágenes, descriptores de imágenes y también tenemos redes neuronales convolucionales profundas que son parte del Deep learning que es la parte dedicada directamente a la detección de objetos, nosotros por mayor facilidad y precisión hemos decidido usar redes neuronales convolucionales de preferencia usamos la red neuronal Yolo con 53 capas, hemos escogido la Versión 3 Tyni porque es un versión creada directamente para trabajar con sistemas embebidos (REDMON, 2018).

##### 3.7.1.1 Entrenamiento de la red neuronal

El entrenamiento es un proceso por el cual una red neuronal aprende a como llevar a cabo una tarea específica, en nuestro caso se le asigno determinar características específicas del fruto como

imperfecciones y tamaño del fruto, durante el entrenamiento la red neuronal se encargó de reducir los errores al mínimo, con cada entrenamiento ese error se fue reduciendo.

### 3.7.1.2 Entrenamiento de Google Colab

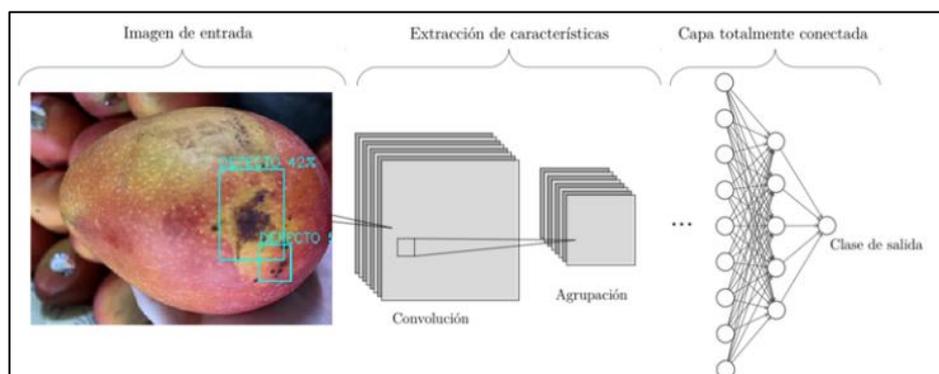
Escogimos este sistema porque es un sistema sencillo, muy rápido y gratuito, no es necesario tener una computadora de última generación, lo único que necesitamos es conexión a internet y una cuenta en de Google. A continuación, se indican los pasos seguidos:

- Ingresamos a la página web colab.research.google.com.
- Creamos el entorno de desarrollo.
- Seguimos las instrucciones de Google Colab.
- Preparamos el Dataset en un drive.
- Hacemos el entrenamiento en Google Colab.
- Usamos los archivos del entrenamiento.
- Realizamos la prueba en imágenes.

### 3.7.2 Extracción de características

La red convolucional generalmente consta de una etapa convolucional, una etapa de aplicación de funciones no lineales y una etapa de agrupación. Estas capas generalmente se apilan una tras otra para formar un patrón más profundo. Su función principal es extraer características de los datos de entrada y, en la salida estas redes tienen una o más capas de una red neuronal común llamada capa completamente conectada con el propósito de realizar las predicciones.

En la figura 20-3. La red neuronal recibe una imagen como entrada, esta se representa como un vector  $X$ , debemos tomar en cuenta que una imagen es una matriz de píxeles de dimensión alto y ancho. La red neuronal lo que hace es extraer las características del fruto en pixeles para enviar estos datos a nuestro controlador difuso.

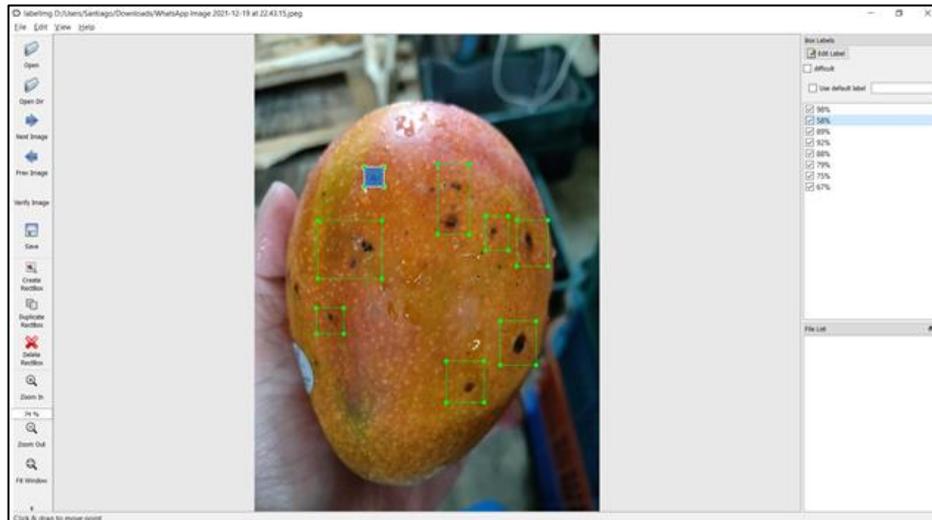


**Figura 20-3:** Extracción de características

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

### 3.7.3 *Etiquetado*

El etiquetado es un requerimiento para nuestro Data set, este va a identificar la región de interés donde se encuentran las imperfecciones, para etiquetar nuestras 2000 imágenes hemos usado un programa gratuito Labelimg en la versión V1.4.3. Esto se muestra en la figura 21-3.



**Figura 21-3:** Etiquetado de imágenes en Labelimg V1.4.3

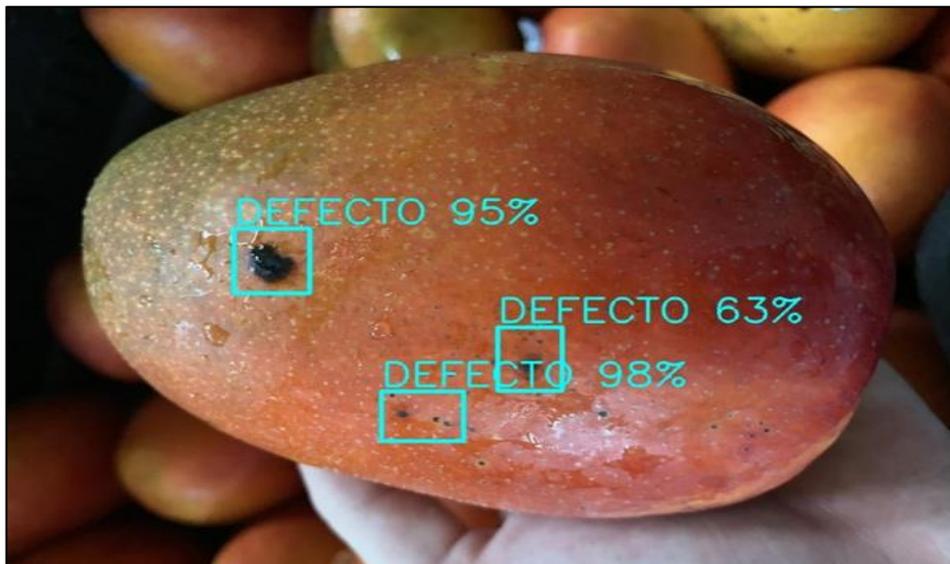
**Realizado por:** Aldaz J., Freire F., 2022.

### 3.7.4 *Características del mango*

Las características para nosotros parametrizar la selección del mango se lo realizó en la finca los manguitos de la ciudad de Guayaquil provincia del Guayas, los datos de referencia para los mismos se basaron en calibres, forma del mango, esta clase de datos son importantes al momento de realizar una segmentación de los mangos que van a ser destinados a la exportación por ende los mangos destinados a verificación y más demandados en el mercado internacional son los mangos Tommy Atkins, dicho mango goza de ser un fruto fibroso esto es beneficioso para el estudio de la imagen digital a procesar, por el mismo hecho que tiene una forma ovalada casi constante, sus dimensiones y sus pesos son viables para la obtención de su imagen digital ya que no existiría el percance de formas irregulares en sus aristas o su curvatura general, esto permitirá analizar la comparativa entre el procesamiento de nuestro prototipo y el procesamiento manual realizado por operarios expertos en selección de dicho mango, esta clase de bancos son los de mayor exportación hacia mercados como Estados Unidos Rusia Europa central y el mercado asiático, gracias a ello tenemos un margen de selección manejable, la expresión general de la característica de dicho mango se basará en tres parámetros fundamentales, área, color y anomalías. Los datos adquiridos para parametrizar la caracterización de selección detallamos a continuación en la tabla 8-3.

### 3.7.4.1 Clasificación por imperfecciones

Una vez que tenemos la referencia adquirida gracias a la información proporcionada por la Hacienda los manguitos, la forma ideal para un mango Tommy Atkins será de una forma ovalada, cercana a una figura redonda, esto permitirá realizar el estudio del contorno de manera óptima y reducir considerablemente los errores posibles que se puedan presentar, la red neuronal identificará de una manera más adecuada esta clase de mangos, permitiéndonos procesar digitalmente la imagen y evitar errores de procesamiento futuros, como podemos observar en la figura 22-3, la Lógica Difusa identifica ya su contorno, su forma, logrando así la identificación desiertos errores o defectos en la fruta dándonos lugar a un porcentaje que va de cero a 100%, siendo que 0% comprendería a un mango sin ninguna anomalía física, y el 100% equivaldría a un mango con anomalías considerables coma es decir un mango descartable.



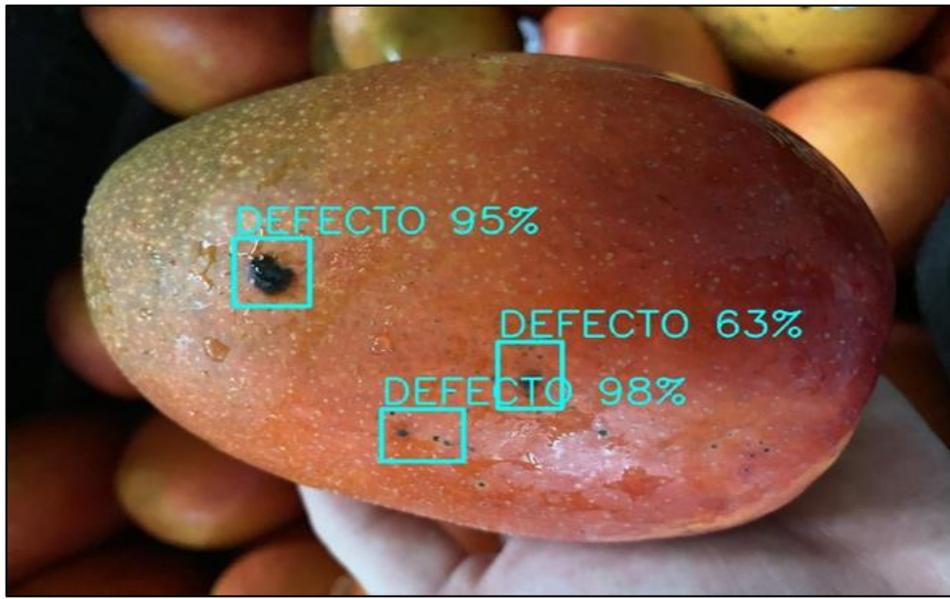
**Figura 22-3:** Clasificación por la forma del mango

**Realizado por:** Aldaz J., Freire F., 2022.

### 3.7.4.2 Clasificación por el tamaño

En la clasificación del color, en la figura 23-3 podemos observar la identificación de un mango con una coloración amarillenta y con una tonalidad oscura asemejándose a un color negro, esta clase de colores según los parámetros que nosotros entrenamos a la red neuronal no son mangos aptos para exportación, por tal motivo el sistema de detección, lanza una bandera y una etiqueta con la alerta de un mango inaceptable, en este caso el color va a ser muy importante al momento de realizar la selección final del mango, ya que en el apartado anterior pudimos observar que empezó a detectar anomalías específicas en función de su contorno y de su superficie, ahora implementando la parametrización aceptable del mango queda claro porque el mango en cuestión sería un rechazo, pero no debemos de olvidar que para que se cumpla un rechazo total debe

cumplir las 3 anomalías de análisis, el color apto para exportación se lo tomaría en 2 parámetros opciones que sería, un mango de color verde en el ámbito de la exportación tendría un rango de 1 a 1.5, mientras que un mango color rojizo tendría un rango de 1.75 hasta 2.5, estos 2 rangos principales son muy importantes al momento de la selección y preselección del mango para exportación ya que el mango verduzco se utiliza para exportación es larga como puede ser Europa y Asia, mientras que el mango rojizo principalmente se exporta a Estados Unidos.



**Figura 23-3:** Detección de color

**Realizado por:** Aldaz J., Freire F., 2022.

**Tabla 8-3:** Características del mango Tommy Atkinns

Kilos rech	Total de kilos producidos	Total kg produc x arbol	% de rech	Total gav	Rend caj gav	X gav kg	Galieres	Galieres							
								6	7	8	9	10	12	14	Grande
24018	144964	20,63	16,56%	6058	3,81	24		8,7	12,9	29,7	16,9	22,8%	9,2%	68%	32%
27909	78314	11,15	35,63%	4350	3,23	18		27,6%	48,9%	22,3%	0,4%	0,8%		99%	1%
190458	518727	73,83	35,71%	25936	3,86	20		0,5%	10,6%	28,8%	34,5%	24,2%	1,4%	74%	25%
202089	470230	66,93	41,08%	23511	3,20	20		4,6%	9,2%	27,5%	18,1%	32,7%	1,5%	59%	41%
204031	653393	70,87	28,82%	40873	2,49	16		0,1%	2,2%	8,0%	13,5%	45,1%	31,1%	24%	76%
130770	745191	80,83	17,1%	45307	3,30	16		0,4%	2,2%	12,6%	16,4%	42,8%	25,5%	32%	68%
151605	779345	84,54	19,45%	45015	3,30	17		3,9%	13,5%	21,6%	19,0%	29,0%	13,0%	58%	42%
267395	921983	100,01	29,00%	50250	3,14	18		0,6%	9,1%	13,5%	19,8%	38,5%	18,5%	43%	57%
183076	912900	99,02	20,05%	45338	3,87	20		4,1%	17,5%	18,7%	23,1%	28,0%	3,8%	64%	38%
174602	864049	101,177	20,21%	48458	3,43	18			9,9%	13,5%	20,6%	39,1%	16,9%	44%	58%
155639	781816	91,5474	19,91%	42554	3,36	18		0,6%	10,0%	14,6%	20,6%	37,9%	16,1%	46%	54%
242445	903163	102,204	26,84%	48939	3,35	18			3,8%	7,9%	12,7%	45,0%	31,0%	24%	73%
129770	694749	816,967	18,68%	38770	3,37	18			9,7%	8,2%	10,5%	56,7%	16,1%	39%	61%
220752	936263	101,56	23,58%	49181	3,59	19		0,1%	5,7%	12,1%	19,5%	43,6%	18,9%	38%	62%
306242	1202819	130,47	25,46%	57457	3,92	21			4,4%	10,0%	29,3%	42,4%	13,9%	43,8%	58,4%
254912	1209851	131,23	21,07%	63756	3,62	19		0,1%	9,0%	16,0%	27,7%	34,3%	12,9%	52,8%	47,2%
221205	1037258	112,51	21,33%	52519	3,82	20	0,0%	0,6%	6,6%	14,2%	28,2%	39,0%	11,4%	50,0%	50,0%
235365	1064255	115,44	22,12%	56282	3,84	19	0,0%	1,5%	10,5%	16,0%	24,0%	35,0%	13,0%	52,0%	48,8%
187.822	946.68	103	20%	52.074	3,75	18	1,8%	4,6%	20,3%	20,8%	22,0%	25,8%	4,8%	89,8%	30,4%
163.937	844.013	92	19%	44.401	3,92	19	0,6%	6,8%	15,8%	23,3%	25,4%	23,5%	4,5%	72,0%	23,0%
244.79	952.15	103	26%	51.733	3,77	18	0,4%	9,0%	18,4%	21,1%	25,4%	21,7%	4,0%	74,3%	25,7%
224.325	1.061.627	115	21%	53.675	4,00	20	0,0%	7,5%	12,7%	20,2%	28,1%	28,1%	3,4%	88,5%	31,5%
251.421	1.078.595	117	23%	54.037	3,00	19	0,0%	2,5%	8,8%	16,9%	32,4%	36,1%	3,4%	80,5%	39,5%
249,998	988,364	107	25%	48,381	4,00	20	0,0%	2,1%	6,6%	13,6%	29,1%	41,6%	7,0%	51,4%	48,60%
196,110	980,216	106	20%	49,95	3,93	20	2,6%	11,6%	20,8%	22,3%	27,6%	14,8%	0,3%	84,9%	15,1%

Fuente: (Hacienda los Manguitos, 2021), Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

### 3.8 Etapa de control

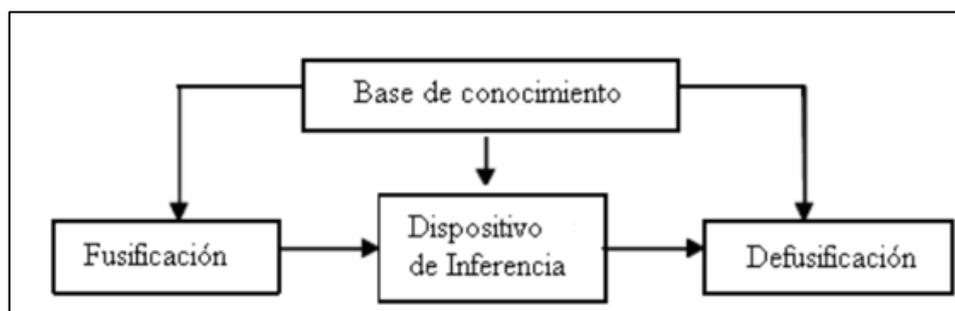
En esta etapa implementamos nuestro controlador, definimos todos los parámetros necesarios para realizar el control, el método por el cual desarrollamos y porque elegimos este tipo de controlador.

#### 3.8.1 Control difuso con Mamdani

El control difuso por Mamani cuenta con tres elementos principales, fusificación, dispositivo de inferencia y defusificación como se ve en la Figura 24-3. La lógica difusa de Mamdani se introdujo por primera vez como un método para crear un sistema de control mediante la síntesis de un conjunto de reglas de control lingüístico obtenidas de operadores expertos. En un sistema Mamdani, la salida de cada regla es un conjunto difuso.

Puesto que los sistemas Mamdani tienen bases de reglas más intuitivas y fáciles de entender, son adecuados para aplicaciones de sistemas expertos donde las reglas se crean a partir del conocimiento de expertos humanos, como los diagnósticos médicos.

- Escogimos este controlador difuso en el proyecto de investigación, porque permite realizar un control confiable basándose en los conocimientos de un experto.
- Un valor ingresa al sistema difuso y luego es convertido en un nivel de pertenencia para cada regla.
- En cada regla se aplican los respectivos operadores difusos para los valores de pertenencia asociados con las entradas.
- Con el anterior resultado y la respectiva función de pertenencia de la salida asociada a la regla, se aplica el operador difuso.
- Luego mediante un operador difuso se agregan todas las implicaciones.
- Finalmente se obtiene el resultado aplicando MOM para defusificación.

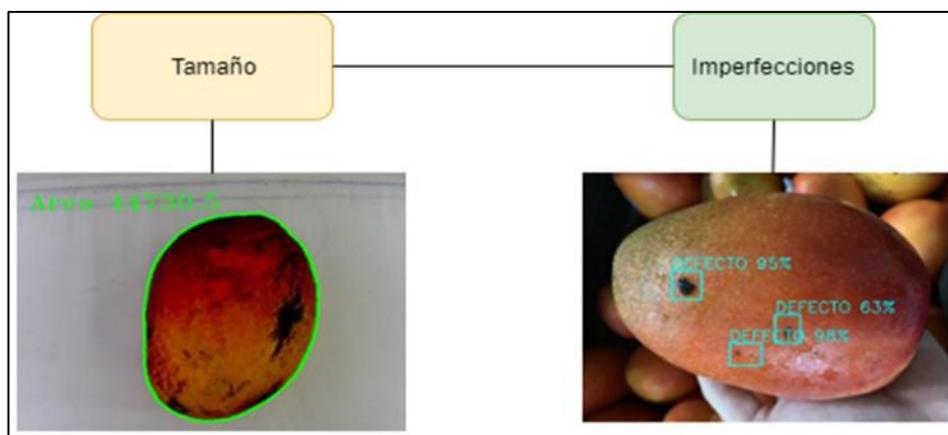


**Figura 24-3:** Arquitectura del sistema difuso

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

### 3.8.2 Variables lingüísticas

En este caso vamos a identificar las variables lingüísticas las cuales intervendrán directamente en nuestro sistema difuso. Se pudo identificar dos claras variables lingüísticas, la primera variable lingüística es del tamaño de la fruta, la cual obtendremos en valores de píxel mediante un valor resultante de la red neuronal entrenada como podemos observar en la figura 25-3, la segunda variable lingüística serán las imperfecciones, las cuales también obtendremos con datos porcentuales que presenta anomalías en la detección de la imagen proveniente de la red neuronal como podemos observar en la figura 25-3. Cabe recalcar que la red neuronal entrenada al momento de la detección de la fruta nos devuelve en una cantidad elevada de pixeles las cuales deben ser acondicionadas para un correcto funcionamiento de nuestro sistema difuso como se observa en la figura 26-3. La relación que se tomó fue mediante la referencia de un mango muy grande que nos daba 100.000 pixeles, mismos que fueron divididos por 1000, para lograr visualizar una escala programable como se ve en la figura 26-3.



**Figura 25-3:** Variables lingüísticas

**Realizado por:** Aldaz J., Freire F., 2022.

```
for c in contours:
    area = cv.contourArea(c)
    #print(area)
    if area > 10000 and area < 100000:
        cv.drawContours(img_2, [c], 0, (0, 255, 0), 2, cv.LINE_AA)
        cv.putText(img_2, "Area "+str(area), (x+10,y+15), cv.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.8, (0, 255, 0))
        out=area
return img_2, out
```

**Figura 26-3:** Relación en pixeles de un mango

**Realizado por:** Aldaz J., Freire F., 2022.

### 3.8.3 Valores lingüísticos

Los valores lingüísticos corresponden a datos directamente relacionadas con las variables lingüísticas, mismas que se catalogó dependiendo la necesidad requerida para la detección tanto

del área, como la detección de imperfecciones del mango. Mismas que detallamos en la tabla 9-3.

**Tabla 9-3:** Detalle de variable y valores lingüísticos

Variables lingüísticas	Valores lingüísticos		
Tamaño	Grande	Mediano	Pequeño
Imperfecciones	Mayor	Mediano	Menor

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

### 3.8.4 Funciones de membresía

Las funciones de membresía van a representar cual será el grado de pertenencia del elemento detectado y a cuál subconjunto va a pertenecer es decir, si ingresa un mango un valor total de pixeles de 90 (una vez realizada la conversión de escalas), entrara en la categoría de los mangos grandes gracias a su grado de pertenecía que tiende a ser 1 y de igual manera si detecta imperfecciones cuyo porcentaje no cumple con los requisitos de selección, inmediatamente será rechazado ya que su grado de pertenecía tiende a ser 0. Las funciones de membresía que se ocupará serán tres por cada variable lingüística, se escogió la función tipo trapezoidal y triangular mismas que nos permitirán abarcar todo el conjunto universo. Esto se lo ve en la tabla 10-3 y 11-3.

**Tabla 10-3:** Detalle de los parámetros lingüísticos (tamaño)

Variable lingüística	Tamaño		
Valores lingüísticos	Pequeño	Mediano	Grande
Funciones de membresía	Trapezoidal	Triangular	Trapezoidal
Rangos de membresía	0, 0, 30, 50	30, 50, 70	50, 70, 100, 100

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

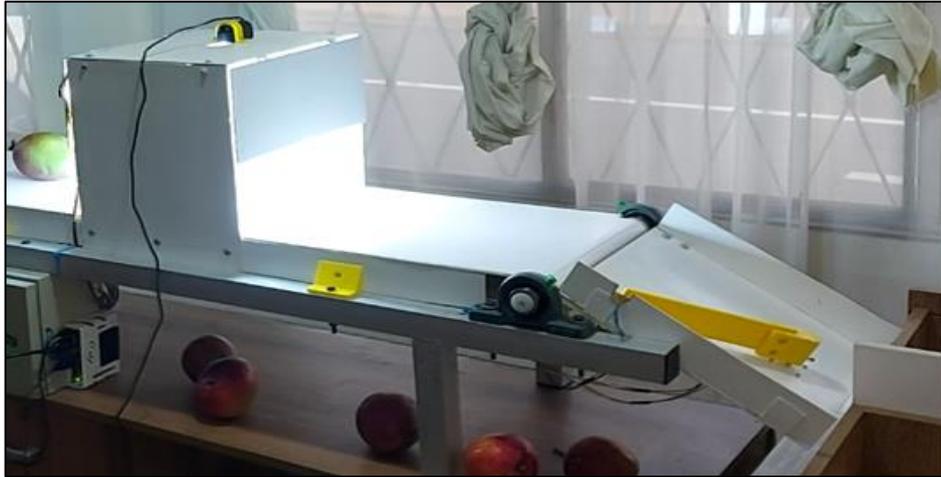
**Tabla 11-3:** Detalle de los parámetros lingüísticos (imperfecciones)

Variable lingüística	Imperfecciones		
Valores lingüísticos	Mayor	Mediano	Menor
Funciones de membresía	Trapezoidal	Triangular	Trapezoidal
Rangos de membresía	0, 0, 30, 50	30, 50, 70	50, 70, 100, 100

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

### 3.8.5 Datos de entrada

Los datos de entrada se obtienen mediante la captura de imagen en tiempo real de un mango, por medio de una Cámara Full HD Tolulu que va a adquirir los datos necesarios ya digitalizados, mismos que serán detectados por la red neuronal logrando así obtener tanto los valores del área en pixeles como el porcentaje de imperfecciones de la imagen capturada, como se puede observar en la siguiente figura 27-3.

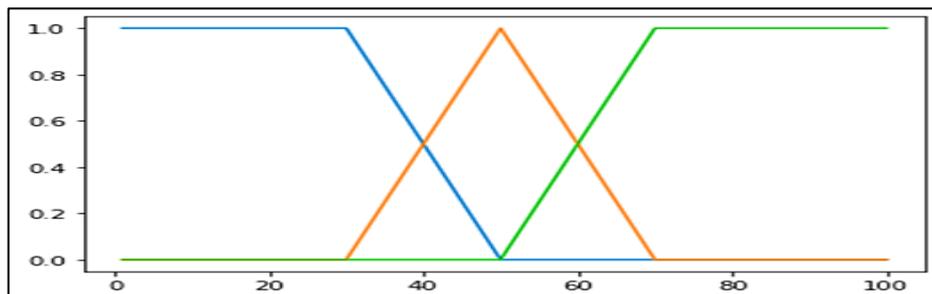


**Figura 27-3:** Captura de imágenes

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

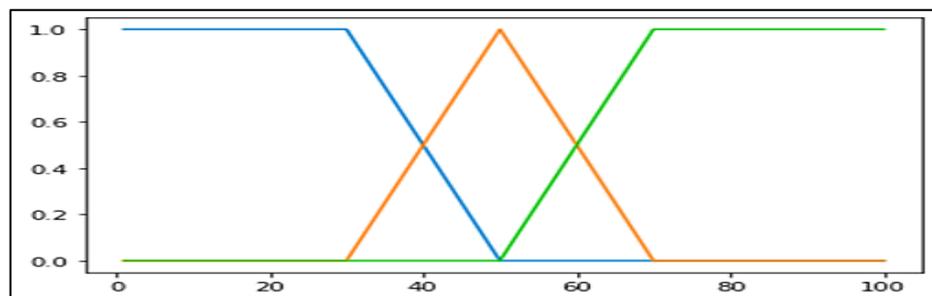
### 3.8.6 Fusificación

Para realizar un control difuso ese debe tener un proceso de Fusificación, este proceso se realiza en todo instante de tiempo, esto dará lugar a una inferencia difusa que es lo que se busca lograr con el control difuso. Aquí interviene muchos pasos matemáticos lo cual, al final, ese dato se convertirá en un elemento del universo, dando lugar a una variable medida del proceso, con lo cual tomará un valor en cada función de membresía dependiendo su pertenencia como podemos observar en la figura 28-3. Correspondiente a la variable lingüística Tamaño y en la figura 29-3 correspondiente a la variable lingüística Imperfecciones.



**Figura 28-3:** Funciones de membresía variable lingüística (tamaño)

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.



**Figura 29-3:** Funciones de membresía variable lingüística (imperfecciones)

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

### 3.8.7 Evaluación de las reglas

Para entender de mejor manera la tabla 12-3, tabla 13-3, tabla 14-3, debemos analizar los datos que arroja nuestras reglas difusas:

**Tabla 12-3:** Abreviaturas de los valores lingüísticos (tamaño)

Variable lingüística	Tamaño		
Valores lingüísticos	Pequeño	Mediano	Grande
Abreviatura	M_p	M_m	M_g

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

**Tabla 13-3:** Abreviaturas de los valores lingüísticos (imperfecciones)

Variable lingüística	Imperfecciones		
Valores lingüísticos	Mayor	Mediano	Menor
Abreviatura	I_g	I_m	I_p

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

Una vez obtenida la información con el experto que realiza la clasificación manual de los mangos se planteó las reglas difusas, estas reglas están basadas completamente en las experiencias de dicho experto, mismas que ayudarán a que nuestro sistema pueda inferir basado en dichas experiencias. Esto se muestra en la tabla 14-3.

**Tabla 14-3:** Reglas difusas obtenidas por el experto operario

Reglas Difusas
Si M_p y I_g Entonces Se Rechaza
Si M_m y I_g Entonces Se Rechaza
Si M_g y I_g Entonces Se Rechaza
Si M_p y I_p Entonces Se Rechaza
Si M_m y I_p Entonces Se Acepta
Si M_g y I_p Entonces Se Acepta

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

Una vez planteadas las reglas difusas ya podemos empezar con el proceso de inferencia el cual dará lugar al resto del proceso de fusificación.

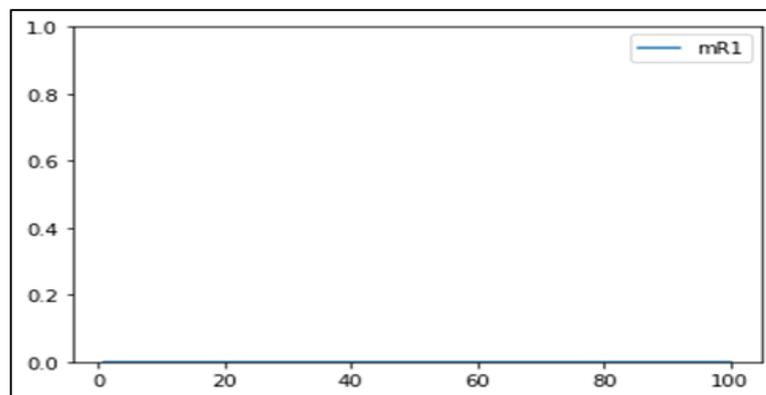
### 3.8.8 Inferencias

Se utilizo el método de Inferencia de Mamdani por mínimos (Mamdani minimum inference), este nos permite sacar los valores mínimos de los valores resultantes una vez aplicadas las reglas difusas, con lo cual por cada regla que hemos planteado obtenemos el valor mínimo el cual le corresponderá un grado de pertenencia, es decir si tomamos el caso que ingresa un mango pequeño vamos a tener el grado de pertenencia más alto en el conjunto de mangos pequeños, el cual usando la inferencia de Mamdani por mínimos, automáticamente tomará los valores menores, de igual manera se aplicaría para los valores porcentuales que nos ingresaría por imperfecciones.

Se detecta un valor de área de 50,000 píxeles, se procederá a acondicionar el valor de la entrada dividiéndola para 1000 con lo cual estará entre el rango de 1 -100, acondicionada a nuestra relación, nuestra variable de entrada será 50 (Se acondiciono) (Valor Capturado por la cámara Full HD Tolulu).

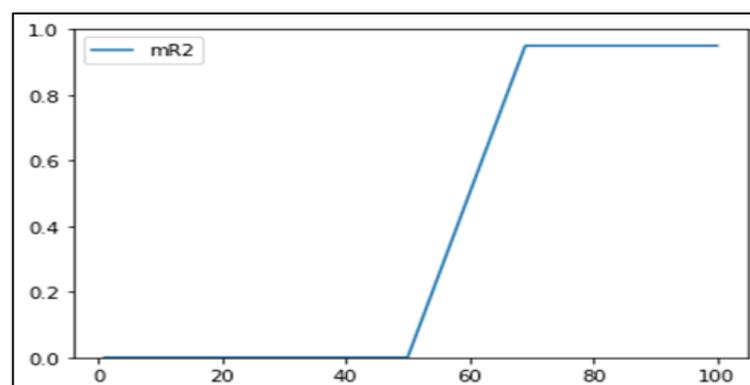
- $\mu_{M\_p}(50) = 0,00$  (Grado de Pertenencia)
- $\mu_{M\_m}(50) = 0,95$  (Grado de Pertenencia)
- $\mu_{M\_g}(50) = 0,05$  (Grado de Pertenencia)

El valor del área en píxeles es igual a 50 (variable acondicionada) pertenece a dos conjuntos difusos con distintos grados de pertenencia en cada uno. Por lo tanto, a partir de ahora y durante el resto de los procesos (0,00 véase en figura 30-3, 0,95 figura 31-3 y 0,05 figura 32-3, son valores de las funciones de membresía resultantes) encarnarán a las variables analizadas del proceso en cuestión. Estos datos se nombrarán como mR (mR1, mR2 y mR3 respectivamente) diferenciándose de otras funciones de membresía.



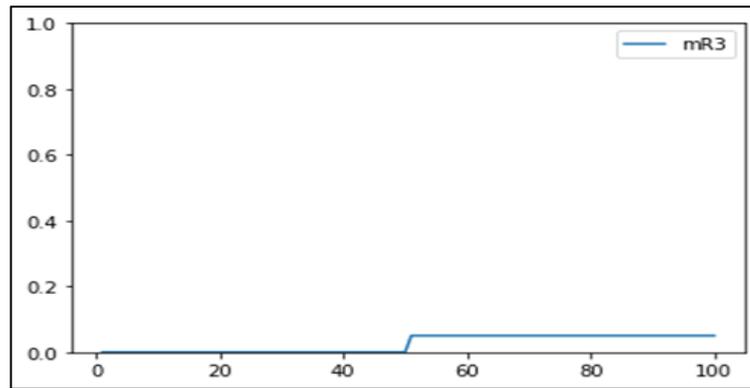
**Figura 30-3:** Evaluación de la primera regla difusa en función del tamaño

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.



**Figura 31-3:** Evaluación de segunda regla difusa en función del tamaño

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.



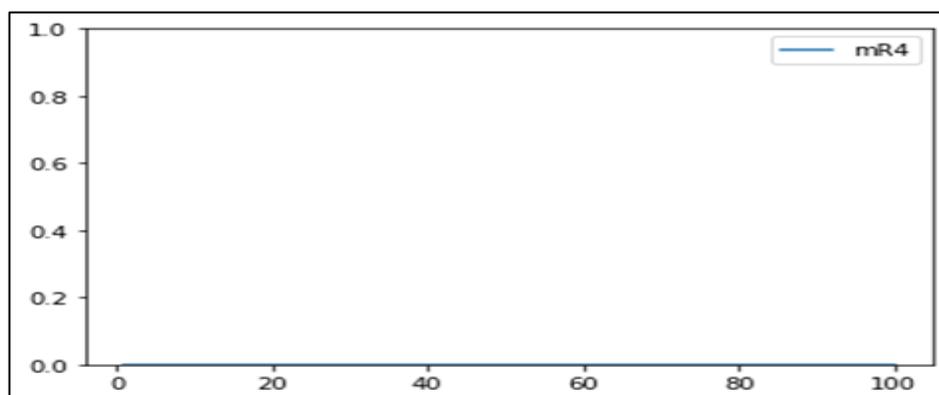
**Figura 32-3:** Evaluación de tercera regla difusa en función del tamaño

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

Se detecta un valor de área de 30, se procederá a acondicionar el valor de la entrada restándola de 100 cuya diferencia nos dará el valor porcentual de aceptación del mango que este caso será 70, con lo cual estará entre el rango de 1 -100 (Valor Capturado por la cámara Full HD Tolulu).

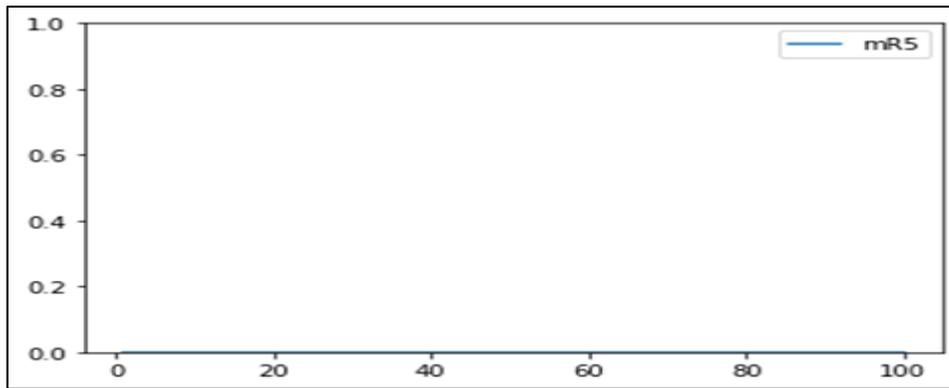
- $\mu_{I_g}(70) = 0,00$  (Grado de Pertenencia)
- $\mu_{I_m}(70) = 0,00$  (Grado de Pertenencia)
- $\mu_{I_p}(70) = 1,00$  (Grado de Pertenencia)

El valor de aceptación porcentual una vez detectado sus imperfecciones es igual a 70 pertenece a un conjunto difuso separándose así de los dos conjuntos difusos restantes con distintos grados de pertenencia en cada uno. Por lo tanto, a partir de ahora y durante el resto de los procesos (0,00 véase en la figura 33-3, 0,00 figura 34-3 y ,.00 figura 35-3, son valores de las funciones de membresía resultantes) encarnarán a las variables analizadas del proceso en cuestión. Estos datos se nombrarán como mR (mR4, mR5 y mR6 respectivamente) diferenciándose de otras funciones de membresía.



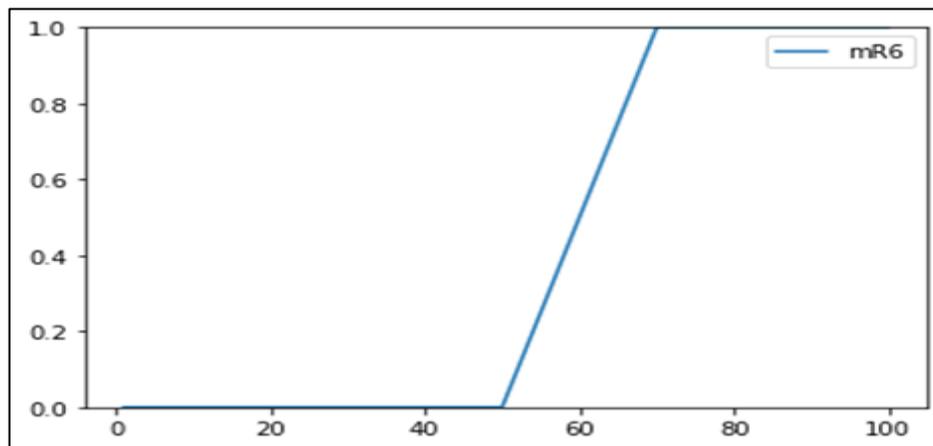
**Figura 33-3:** Evaluación de la cuarta regla difusa en función de las imperfecciones

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.



**Figura 34-3:** Evaluación de la quinta regla difusa en función de las imperfecciones

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

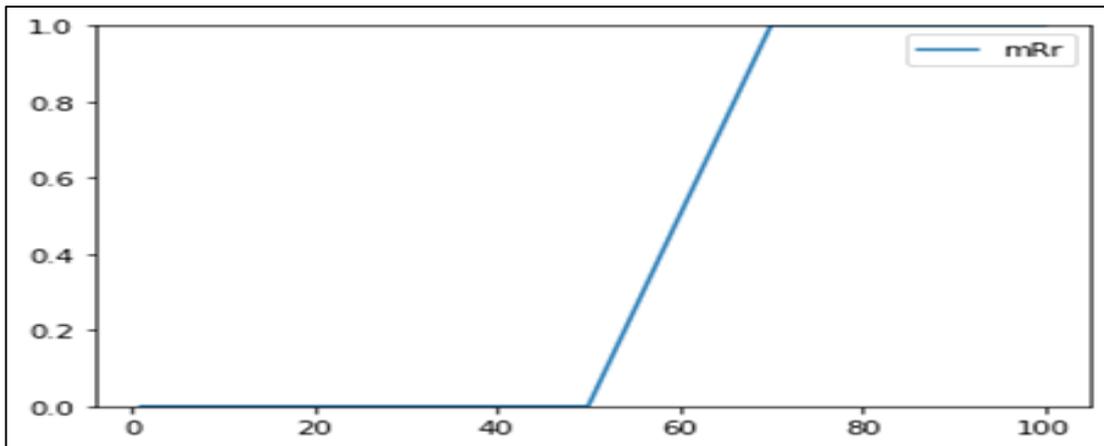


**Figura 35-3:** Evaluación de la sexta regla difusa en función de las imperfecciones

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

### 3.8.9 Agregado

Una vez evaluadas las reglas, se obtienen tantos conjuntos difusos como reglas que se plantearon, para lograr defusificar es necesario realizar una agrupación de estos conjuntos, dicho proceso se llama agregado y para esto existen varios criterios que debemos realizar, el criterio que vamos a emplear es del agrupar los conjuntos inferidos mediante la función Max, con lo cual tendremos un conjunto resultante y nos será de utilidad para poder realizar una defusificación correcta, por tal motivo aplicamos la función Max en cada uno de mR1, mR2, mR3, mR4, mR5, mR6, logrando obtener una mRr como podemos observar en la figura 36-3.



**Figura 36-3:** Agregado de las funciones de membresía de salida (tamaño e imperfecciones)

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

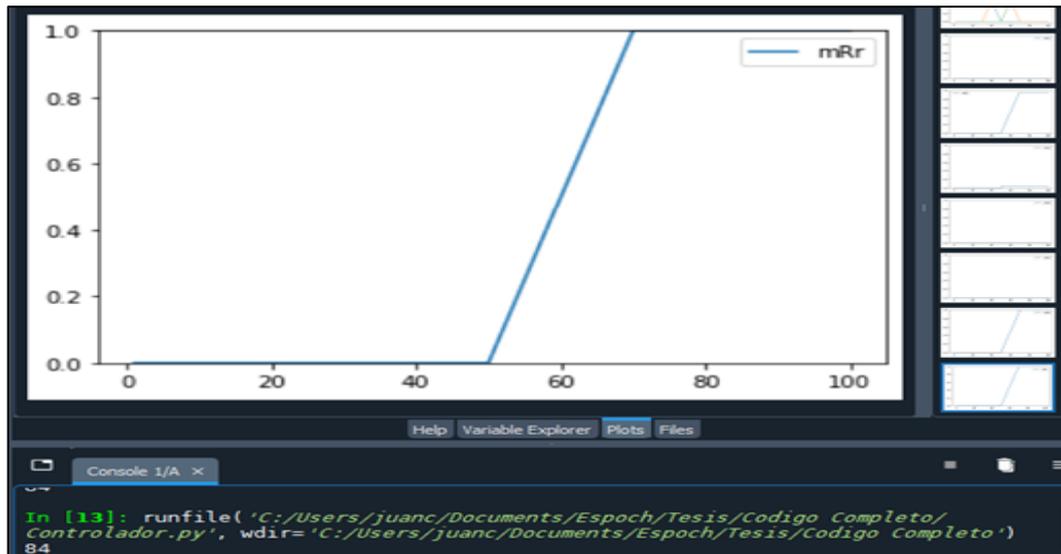
### 3.8.10 Defusificación

En este proceso vamos a convertir un conjunto difuso en un número real, una vez que la inferencia difusa obtuvo una conclusión a partir de los datos de entrada, pero dichos datos eran términos difusos. Esta salida difusa es obtenida gracias a la inferencia difusa ya que logró generar un conjunto difuso resultante, pero para que esto se lleve a cabo debemos realizar una correcta transformación a un número real el cual debe ser representativo de todo el conjunto de la etapa de agregado, por tal motivo se escogió el método de la media de máximo (MOM, middle of maximum). Se escogió este método por el mínimo costo computacional que requería implementarlo a comparación de otros métodos de defusificación. En este método la salida es el valor medio de los valores cuyas funciones de membresía alcanzan el valor máximo del grado de pertenencia. Una vez obtenido este valor máximo de pertenencia se obtiene un promedio de todos los valores que concuerdan con dicho grado de pertenencia. Dicho método se lo escogió ya que en nuestro conjunto resultante vamos a tener varios datos, mismos que al tener un promedio de todos ellos, se podrá identificar a que conjunto de salida pertenece. Cómo se puede observar en la figura 37-3 del agregado mRr, su grado máximo de pertenencia correspondería a 1, sin embargo, tendrá muchos valores reales, cuyo rango iría desde los 68 hasta 100 obteniendo un promedio de 84 (donde u corresponde al valor real) como se puede observar en la siguiente figura 38-3.

```
# Metodo de defusificacion MOM(Media de Maximos)
u= np.where(mRr == np.amax(mRr))
u=list(u)
u=stats.mean(u[0])
print(u)
```

**Figura 37-3:** Aplicación del método defusificación MOM (máximo de medios)

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.



**Figura 38-3:** Dato resultante del proceso de defusificación (valor real)

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

### 3.8.11 Dato de salida

Una vez obtenido el valor real de salida, este valor se encontrará en el rango de 0 a 100, este valor real resultante ya no es un valor difuso por tal motivo ya podemos realizar una operación lógica la cual nos ayudará a realizar la clasificación final del mango, logrando así que el activador gire su posición sea de rechazo o aceptado dependiendo el cumplimiento de dicha condición como muestra en la figura 39-3, es decir sí nuestro mango obtuvo un valor real de 84 el activador se pondrá en la posición de aceptado véase en la figura 40-3, con lo cual esta condición de aceptación o rechazo se logró gracias a los conocimientos del experto seleccionador manual de mango.

```

if u >=70:
    out =1
elif u<70:
    out=0

```

**Figura 39-3:** Condición lógica para el comportamiento del activador

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.



**Figura 40-3:** Imagen del activador con sus respectivas salidas de aceptación y rechazo

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

### 3.9 Construcción y montaje

La construcción de la máquina constó de una estructura de aluminio, chumaceras, motores paso a paso, una fuente de poder, el material de una banda transportadora hecha de tela sintética antiadherente, la cámara de captura digital de mangos, y el sistema de control, la construcción se llevó a cabo en talleres metalmecánico, esto se dio para dar forma a la estructura que iba a sostener todo el sistema de transportación, el diseño y el montaje del sistema de control lo realizamos de manera funcional, tomando en cuenta todas las medidas de seguridad y bioseguridad que amerita en estos tiempos, en las fases iniciales se probó la banda transportadora con los motores paso a paso dando como resultado un funcionamiento óptimo, inmediatamente se probó i indistintamente la captura de imágenes digitales de los mangos, aplicando visión artificial gracias a OpenCv y a la Lógica Difusa, finalmente se consolidó todos los equipos que fueron construidos individualmente y si finalmente se realizó el ensamblaje total del sistema, y como podemos observar en la figura 41-3 es la fase preliminar de la banda transportadora de mangos sin todavía incorporar la caja dónde está ubicada la cámara que va a destinarse para la captura digital de los mangos.



**Figura 41-3:** Imagen preliminar de la banda transportadora de mangos

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

### 3.9.1 Método de construcción, tiempos y operación

Una vez realizada la construcción del prototipo de la máquina clasificadora de mangos, dando gracias a la consolidación de las 3 partes principales de la máquina prototipo que sería la banda transportadora con su sistema de control y su sistema de protección, la parte 2 que sería la caja que consta la cámara de captura de imágenes digitales y la parte final que daría lugar a la selección de rechazos y mangos aceptados, se pudo evidenciar que en comparación al proceso manual que se lo hace actualmente en las fincas productoras de mango con sus expertos operarios en contraparte con nuestro prototipo de clasificación tiene un gran margen de efectividad y eficacia evidenciando principalmente en el tiempo de los procesos ejecutados, un operario experto revisa aproximadamente 8 a 10 mangos por minuto, mientras que en nuestra máquina puede evaluar cerca de 35 a 40 mangos por minuto, teniendo una ventaja de operación referente, dado que es un prototipo las velocidades alcanzadas para su ejecución correcta se encuentra entre 20 a 30 mangos por minuto tomando en cuenta la optimización en equipos electrónicos y mecánicos, como es el variador de frecuencia que por tema de ser un prototipo se utilizó una programación en el microcontrolador, llevado al entorno real nuestro prototipo se reemplazará por un variador de frecuencia para incrementar la velocidad de paso de los mangos hacia la cámara de detección llegando así a sus picos de eficacia y efectividad de los del 90 al 100%, logrando así superar notablemente los tiempos comparativos entre el humano y la máquina. Como se puede observar en la figura 42-3 se realizó la conclusión del ensamblaje del prototipo la clasificadora de mango hice evidenció los tiempos de proceso cuya operación fue óptima y eficaz.



**Figura 42-3:** Estructura consolidada del prototipo de clasificación de mangos

**Realizado por:** Aldaz J., Freire F., 2022.

### 3.9.1.1 Construcción del sistema de la estructura

La estructura se llevó a cabo mediante cortes mecánicos, con estructuras de aluminio y de hierro, también se realizó el ensamblaje de los motores paso a paso nema 23 y nema 17, adicional necesitaba una estabilidad la cual se ensambló cuatro patas metálicas con soportes de caucho mismas que evitarían vibraciones y que se resbale en la máquina por el proceso de paso de los mangos por la banda transportadora, se realizó un aislante electromagnético para que no exista interferencias tanto en el sistema eléctrico como en el sistema de captura de imágenes digitales, ya que podría darse surcos de energía que causaría un mal funcionamiento de la misma, adicional a esto se puso soportes anti ruido y anti vibración en las chumaceras para evitar que exista vibraciones en el proceso de transporte de mangos, finalmente se templó la banda transportadora gracias al material antideslizante utilizando técnicas de calentamiento de fibras. Esto se evidencia en la figura 43-3 en la cual se observa la estructura del prototipo con base a conexiones eléctricas.



**Figura 43-3:** Estructura base del prototipo de clasificación de mangos

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022

### 3.9.1.2 Construcción del sistema de transmisión

En la construcción del sistema de transmisión como lo muestra en la figura 43-3 se sincronizó los motores nema 23 y nema 17, a una cierta velocidad constante esto permitió que nuestro sistema de detección de imagen llegue a su máxima eficacia y eficiencia posible, dado esto y gracias al tipo de material de la banda anti deslizante se pudo lograr una transportación idónea del mango por todo el trayecto planteado logrando así que al momento de captar la imagen del mango no sufra desenfoque y eliminar totalmente cualquier distorsión del reflejo de luz del mango y su respuesta digital al capturar la misma.

### *3.9.1.3 Construcción del sistema clasificadorio*

Cuando se realizó la clasificación de las imágenes de los mangos gracias a la correcta configuración y estructuración del sistema de transmisión se pudo captar en su máximo esplendor el contorno correcto del mango con lo cual la Lógica Difusa no tuvo que ser reentrenado nuevamente, dando lugar a una clasificación correcta, eficiente y eficaz en todas las pruebas realizadas.

### *3.9.1.4 Construcción del sistema de salida*

Para la construcción del sistema de salida se realizó una programación enfocada al tiempo de respuesta que va a tener el sistema de clasificación con la estructuración de transportación de la banda, dando un margen de retardo de 5 segundos mismos que se esperará hasta que el mango culmine su carrera normal en la banda y se accione la franja de selección gracias al motor servo que se encuentra al final de la bandeja de selección, logrando así una selección idónea hasta el final del proceso.

## **3.9.2 Tiempo total de construcción**

El tiempo de construcción de la máquina se llevó a cabo en 3 fases, la primera fase tomó un tiempo aproximado de un mes 15 días, lo que se conformó en la construcción de la banda, incorporación de los motores, ensamblaje de las chumaceras, implementación de los dispositivos antideslizantes y anti vibratorios, la segunda fase se implementó en un mes, y esto comprende la fabricación de la caja donde va a estar empotrada la cámara de detección, la instalación de las luminarias internas que permitirán iluminar correctamente a los mangos que pasen por la parte de detección y captura digital de la imagen, la tercera fase sí ensambló en un periodo de un mes 15 días, dicha fase fue la consolidación de las 2 anteriores fases con la calibración de la parte selectora de mangos idóneos y rechazados, como se pudo observar en la Figura 42-3 el prototipo de la máquina clasificadora de mangos fue ensamblada en su totalidad y empezó la fase de pruebas y errores.

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS

#### 4.1 Pruebas de funcionamiento

Después de la instalación, montaje y puesta en marcha, se completó la prueba y evaluación del prototipo para conocer y determinar si existían problemas técnicos que afectaran su eficiencia y las realizar las mejoras necesarias. El prototipo de evaluación se determina por su rendimiento controlado y eficiencia de clasificación, basado en su algoritmo entrenado, motores, banda transportadora, iluminación, cámara y análisis en tiempo real controlado por la tarjeta embebida Jetson Nano.

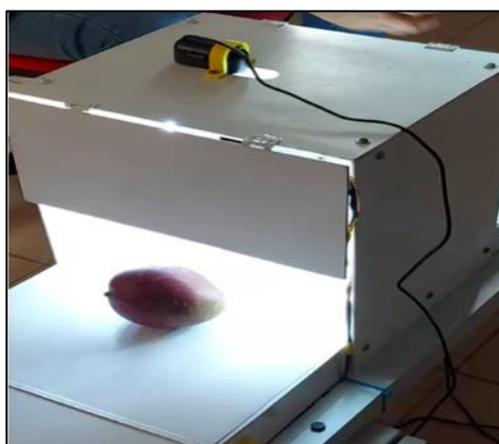
#### 4.2 Análisis de resultados

Para poner a prueba la eficacia del prototipo clasificador, se realizaron las pruebas con mangos verdes, maduros, mangos en mal estado y mangos que cumplían los estándares de calidad para ser exportados. Por medio de estas pruebas se pudo determinar el tiempo de clasificación y eficiencia del algoritmo de reconocimiento en tiempo real por medio de visión artificial, de igual manera pusimos a prueba el mecanismo de clasificación del prototipo. Se hace una comparativa entre el tiempo de clasificación manual y el tiempo que la máquina tarda en clasificar. En la tabla 1-4 se expone los mangos clasificados en 4 rondas de continuas que fueron puestos a prueba en el prototipo, lo mismo que se puede visualizar en la figura 1-4.

**Tabla 1-4:** Rondas de clasificación continuas

# Ronda	Ronda 1	Ronda 2	Ronda 3	Ronda 4
#Mangos	25	25	25	25

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.



**Figura 1-4:** Rondas de clasificación

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022

#### 4.2.1 Clasificación realizada de forma manual y con el prototipo

La clasificación de los mangos se realiza de forma manual por personas expertas en la materia, los operarios expertos mediante la vista separan los mangos de conforme a las condiciones del fruto. Una persona experta en clasificación de la Hacienda Manguitos en la ciudad de Guayaquil realizó la clasificación de 25 mangos en 4 rondas de clasificación. En esta selección se toma en cuenta la madures del mango que viene representada por la aparición de lunares o manchas de color negro representativas, el tamaño de la fruta que cumpla con las medidas correctas y el tiempo de clasificación de forma manual. Esto se lo visualiza en la figura 2-4 y tabla 2-4.



**Figura 2-4:** Experto operario, Hacienda Los Manguitos

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022

**Tabla 2-4:** Clasificación manual realizada por el operario experto

Mangos	Ronda 1	Ronda 2	Ronda 3	Ronda 4
Mango óptimo	16	15	12	14
Mango maduro	4	4	8	6
Mango deforme	5	6	5	5
<b>Total</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

Las mismas muestras fueron evaluadas en el prototipo clasificador de mangos 24 horas después, el resultado obtenido se muestra en la tabla 3-4.

**Tabla 3-4:** Clasificación realizada por la máquina clasificadora

Mangos	Ronda 1	Ronda 2	Ronda 3	Ronda 4
Mango óptimo	15	12	14	18
Mango maduro	3	8	4	2
Mango deforme	7	5	7	5
<b>Total</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

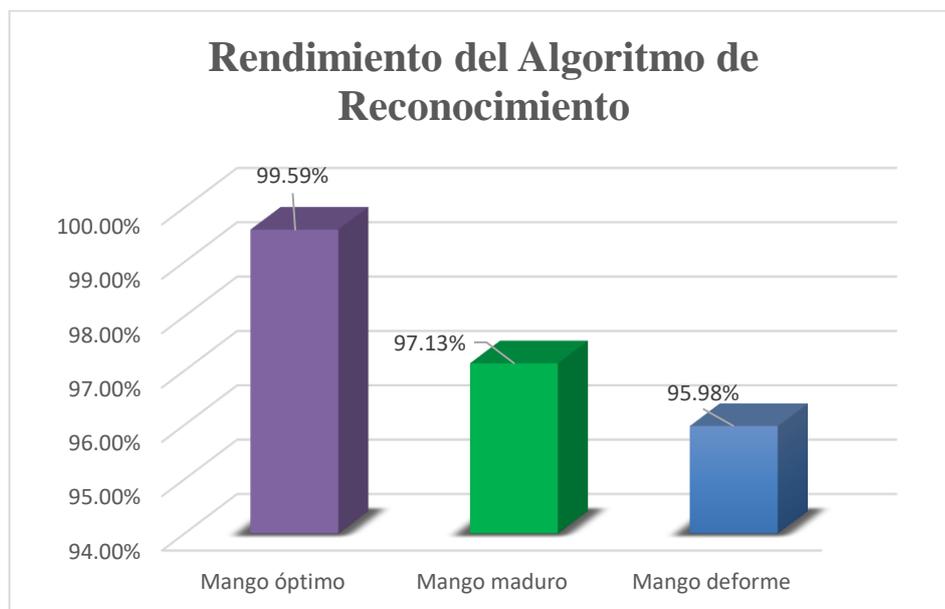
#### 4.2.2 Rendimiento del algoritmo de reconocimiento

Dados los resultados previos de la clasificación por medio de operarios expertos y la clasificación del prototipo de clasificación de mangos, de cuyo análisis de rendimiento del algoritmo de visión artificial para la detección de la forma, color y anomalías aplicado en el prototipo de clasificación de mangos, con lo cual se sintetizó en la tabla 4-4 con lo cual se podrá analizar los datos valor.

**Tabla 4-4:** Rendimiento del algoritmo de reconocimien

Rendimiento	Ronda 1	Ronda 2	Ronda 3	Ronda 4	Media
Mango óptimo	99%	99,37%	100,00%	100,00%	99,59%
Mango maduro	89,16%	99,37%	100,00%	100,00%	97,13%
Mango deforme	93,23%	99,37%	93,44%	97,87%	95,98%
<b>Promedio</b>					<b>97,57%</b>

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.



**Gráfico 1-4:** Rendimiento del algoritmo de reconocimiento

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

Dados los resultados obtenidos sobre el prototipo de clasificadora de mangos consta de una efectividad del 97,57%. Dicho sistema es alcanzado a tal porcentaje de efectividad gracias a la excelente iluminación interna de la caja de captura de imágenes digitales, ya que consta de una iluminación constante durante el proceso de adquisición de datos, sin embargo, existe un problema en cuanto a la velocidad de la banda transportadora ya que al incrementar su velocidad su efectividad empieza a reducirse.

#### 4.2.3 Resultados del proceso en el prototipo

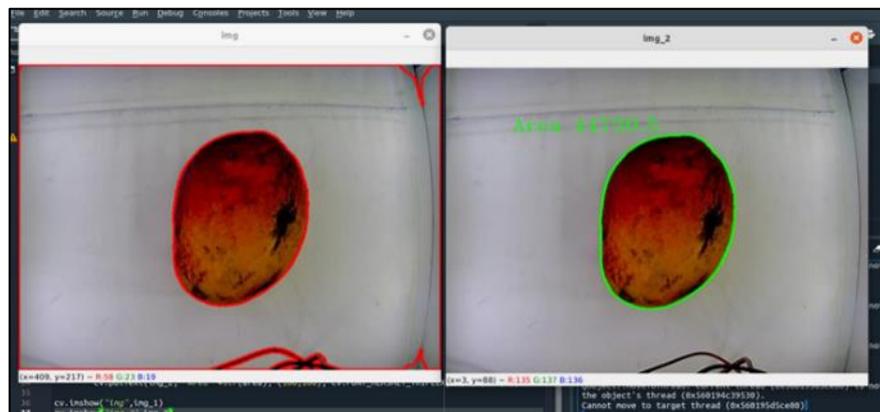
Una vez hecho el prototipo se pudo revisar el proceso que se llevó a cabo al implementar la Lógica Difusa de visión artificial utilizando el algoritmo Mamdani, el sistema electromecánico.

Posteriormente se mostrará el resultado que nos refleja al momento de utilizar el prototipo de máquina clasificadora de mangos utilizando algunas rondas de prueba.



**Figura 3-4:** Captura inicial de mango tierno, sin luz de fondo

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.



**Figura 4-4:** Procesamiento digital utilizando lógica difusa, con impacto de luz

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

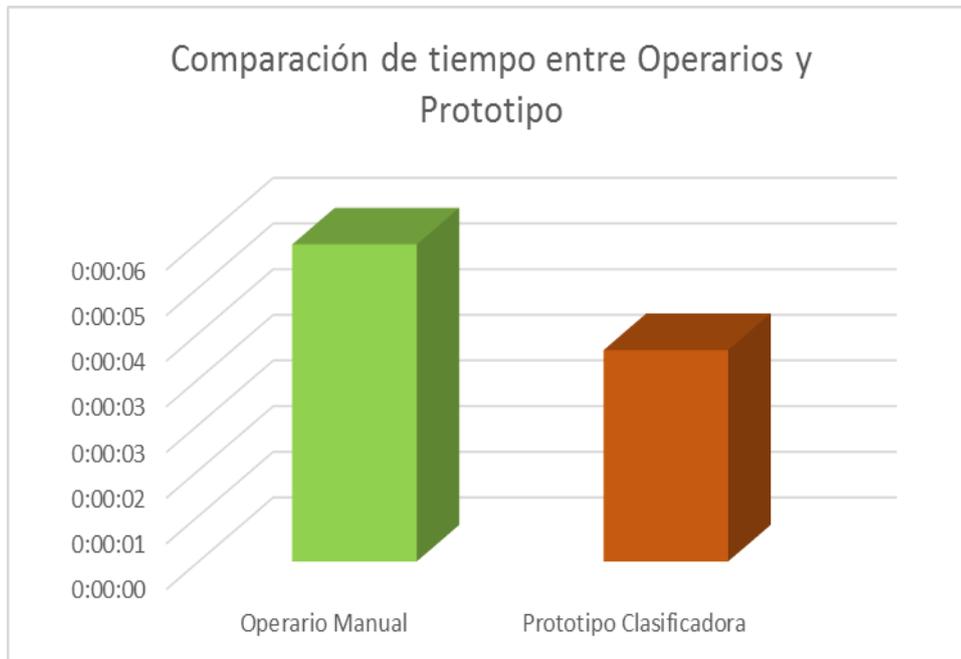
#### 4.2.4 Comparación del tiempo entre la clasificación manual y la del prototipo

Para obtener el tiempo del prototipo de clasificación de mangos se lo realizó de forma manual, adicional a esto se tomó también muestras de tiempo a los operarios que realizaban la verificación de los mangos en la Hacienda Los Manguitos, Dicho esto a continuación se evidenciará en la tabla 5-4 la diferencia de tiempos que se manejaron los operarios de los mangos y el prototipo clasificador de mangos.

**Tabla 5-4:** Costo total del dispositivo

Operario/Maquina	Cantidad de Mangos	Ronda 1	Ronda 2	Ronda 3	Ronda 4	Promedio
Operario Manual	100	00:10:00	00:11:16	00:08:33	00:12:17	00:10:00
Prototipo Clasificadora	100	00:05:00	00:07:06	00:07:06	00:08:33	00:07:06

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.



**Gráfico 2-4:** Comparación de tiempo entre operarios y prototipo

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

Como referencia inicial al momento de tomar los tiempos manualmente de los operarios, eran capaces de clasificar 8 a 10 mangos por minuto por tal motivo se realizó varias rondas de verificación y de muestras, utilizando 100 mangos para la toma de tiempos. Asimismo, el prototipo clasificador de mangos es capaz de clasificar de 35 a 40 mangos por minuto y de la misma forma fue puesto a prueba utilizando 100 mangos para la toma de tiempos. Con lo cual el operario manual fue capaz de clasificar en promedio entre todas las rondas de pruebas de 100 mangos tomados cuyo tiempo promedio fue 11 minutos 30 segundos, por su contraparte el prototipo clasificador de mangos utilizando visión artificial con lógica difusa fue capaz de clasificar los mismos 100 mangos en 2 minutos 30 segundos, teniendo así una clara ventaja sobre el operario experto, por tanto la utilización e implementación del prototipo clasificador de mangos es viable y rentable para la clasificación en volumen bajo medio y alto de mangos para exportación.

### 4.3 Análisis de costos

A continuación, se va a realizar el análisis de costos del prototipo de automatización para la selección de mangos de exportación utilizando una tarjeta Jetson Nano con un sistema difuso, los cuales constan de costos directos, costos indirectos, gastos no recurrentes y finalmente el costo total del prototipo terminado.

#### 4.3.1 Costos directos

**Tabla 6-4:** Costos directos del prototipo de selección de mangos

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Interruptor Termomagnético	1	27,00	27,00
Pulsador de marcha	1	4,50	4,50
Pulsador de Paro	1	4,50	4,50
Luces de señalización	2	2,00	4,00
Potenciómetro	1	0,50	0,50
Selector de 3 posiciones	1	5,50	5,50
Contactador 4 Amp	1	8,00	8,00
Relé térmico de 2-4amp	1	12,00	12,00
Tubo Cuadrado de Aluminio (6.2m)	1	20,00	20,00
Motor de nema 23	1	30,00	30,00
Motor de nema 17	1	30,00	30,00
Arduino Uno	2	40,00	80,00
Tarjeta Jetson Nano	1	45,00	450,00
Chumaceras 1in	4	1,00	40,00
Material Antideslizante	10	1,00	10,00
Driver TB6600	1	25,00	25,00
Driver DRV8825	1	35,00	35,00
Metal Torneable por metros	2	5,00	10,00
Cámara Tolulu 1080 Full HD	1	50,00	50,00
Fuente de voltaje Unitec	1	30,00	30,00
Banco de relés	1	25,00	25,00
Barra de Luces Led	1	20,00	20,00
Caja de Control	1	20,00	20,00
Eje de Nylon	1	27,00	27,00
Pernos 2in	8	0,60	4,80
Rodelas	16	0,10	1,60
Tuercas	24	0,10	2,40
Tornillos Autoperforantes	80	0,04	3,20
Tornado del Eje de Nylon	2	15,00	30,00
Tarjeta de memoria microSD 32 Gb	1	15,00	15,00
<b>TOTAL</b>			<b>1025,00</b>

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

#### 4.3.2 Costos indirectos

Comprende en todos los costos que se dieron a través de la elaboración del prototipo y también la puesta en marcha.

Estos costos son enlistados en la tabla 7-4.

**Tabla 7-4:** Costos indirectos del prototipo de selección de mangos

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Transportación Puyo	1	20,00	20,00
Transportación Ambato	1	40,00	40,00
Transportación Quito	1	60,00	60,00
Transportación Ibarra	1	15,00	15,00
Alimentación Puyo	1	35,00	35,00
Alimentación Ambato	1	30,00	30,00
Alimentación Quito	1	20,00	20,00
Alimentación Ibarra	1	15,00	15,00
Gastos Operativos	1	30,00	30,00
Materiales de Oficina	1	20,00	20,00
Impresiones	1	10,00	10,00
Pintura	1	15,00	15,00
Pegamentos varios	1	5,00	5,00
Gastos Varios	1	100,00	100,00
<b>TOTAL</b>			<b>415,00</b>

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

#### 4.3.3 Costo total

**Tabla 8-4:** Costos totales del prototipo de selección de mangos

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Costos Directos	1	1025,00	1025,00
Costos Indirectos	1	415,00	415,00
<b>TOTAL</b>			<b>1440,00</b>

Realizado por: Aldaz J., Freire F., 2022.

## CONCLUSIONES

- Se diseñó el sistema de automatización usando una tarjeta Jetson Nano, logrando obtener las características de cada uno de los elementos físicos antes de realizar la implementación del prototipo, motores, actuadores, controladores y material.
- Se definió las reglas para aplicar lógica difusa en la selección y clasificación del mango en base a la experiencia del operario con un buen tiempo de respuesta del controlador difuso en la clasificación.
- Se implementó el prototipo de automatización tanto en hardware como software, aprovechando a la tarjeta Jetson Nano como nuestro elemento de control.
- Se realizó el diseño en SolidWorks ayudándonos a tener una idea clara sobre los costos del prototipo y su implementación, de igual manera se aprovechó el diseño para hacer las medidas exactas en la práctica.
- Se Implementó el controlador en la Jetson Nano con un sistema difuso, nos aportó un control ligero con la opción de modificar las reglas de clasificación según los parámetros establecidos por el experto operario.
- Se Evaluó el sistema de automatización implementado con un proceso manual realizado el operario, mismo que fue posible la adquisición de datos con una cámara Tolulu 1080 HD que ayudó a reducir los costos del prototipo y mantuvo la calidad de video en el proceso de selección de mangos.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda montar un prototipo en DC para mejorar la eficiencia en cuanto a rapidez del prototipo de clasificación.
- Utilizar una cámara sin enfoque y que no sea susceptible a los cambios de luz, para que no pueda afectar al controlador difuso.
- Se recomienda mantener ventilado el área donde se encuentra la tarjeta embebida y la fuente de poder.
- Seleccionar adecuadamente la fuente de poder, según las necesidades del prototipo, calculando los porcentajes de consumo de cada área.
- Disminuir el ancho de la banda transportadora y crear más carriles para que el proceso de selección sea masivo.
- Se recomienda entrenar la red neuronal en la nube de manera gratuita en Google Colab.
- Es recomendable que la base de datos de los mangos sea clara y con un fondo blanco para poder clasificarlos.

## BIBLIOGRAFÍA

**AMAZON.** Cámara Tolulu. *Amazon*. [En línea] 2021. [Citado el: 11 de Octubre de 2021.] [https://www.amazon.com/-/es/micr%C3%B3fono-escritorio-panor%C3%A1mica-Streaming-conferencias/dp/B084ZJFNKN/ref=sr\\_1\\_1?c=ts&keywords=webcam+and+voip+equipment&qid=1641836706&refinements=p\\_89%3AToLuLu&s=pc&smid=A1TJG0B2KA7VMB&sr=1-1&ts\\_id=172511](https://www.amazon.com/-/es/micr%C3%B3fono-escritorio-panor%C3%A1mica-Streaming-conferencias/dp/B084ZJFNKN/ref=sr_1_1?c=ts&keywords=webcam+and+voip+equipment&qid=1641836706&refinements=p_89%3AToLuLu&s=pc&smid=A1TJG0B2KA7VMB&sr=1-1&ts_id=172511).

**ANDINOTEC.** Fuente de poder Unitec 550W. *Andinotec*. [En línea] 2020. [Citado el: 04 de Noviembre de 2021.] <https://andinotec.com/producto/fuente-de-poder-550w-unitec-elite/>.

**ANDRADE TEPÁN, Eva Cristina.** Estudio de los principales tipos de redes Neuronales y las Herramientas para su aplicación. *Ups*. [En línea] 2013. [Citado el: 18 de Agosto de 2021.] <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4098/1/UPS-CT002584.pdf>.

**ARDUINO.** Arduino Uno. *Arduino*. [En línea] 2021. [Citado el: 20 de Agosto de 2021.] <https://www.arduino.cc/en/software>.

**ATENCIO ORTÍZ, Pedro Sandino.** Desarrollo de un sistema de visión artificial para el control de calidad del mango de azúcar de exportación. *Unimagdalena*. [En línea] 2009. [Citado el: 12 de Julio de 2021.] <http://repositorio.unimagdalena.edu.co/jspui/handle/123456789/362>.

**AYALA SANTILLÁN, María José; & GRANDA PARRA, Yolanda Jeanneth.** Automatización del Bioreactor para obtener la base de bebidas energeticas con tecnologia difusa en el laboratorio de procesos industriales de la Facultad de Ciencias. *Espoch*. [En línea] 2016. [Citado el: 21 de Julio de 2021.] <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/4972>.

**BÁEZ, Manuel; & CONTRERAS, Rosalba.** Entendiendo el rol de la madurez fisiológica y las condiciones de envío en la calidad de llegada del mango. *Mango*. [En línea] 2018. [Citado el: 10 de Julio de 2021.] [https://www.mango.org/wp-content/uploads/2018/04/Physiological-Maturity-and-Shipping-Conditions\\_-Spn.pdf](https://www.mango.org/wp-content/uploads/2018/04/Physiological-Maturity-and-Shipping-Conditions_-Spn.pdf).

**BALLESTEROS, Deimer; et al.** Un prototipo mecánico para la automatización del proceso de selección del mango tipo exportación. *Scielo*. [En línea] 2012. [Citado el: 09 de Julio de 2021.] <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v11n21/v11n21a13.pdf>.

**BASOGAIN OLABE, Xavier.** Redes Neuronales Artificiales y sus aplicaciones. *Ocw*. [En línea] 2012. [Citado el: 25 de Agosto de 2021.] [https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/40137/mod\\_resource/content/1/redes\\_neuro/contenidos/pdf/libro-del-curso.pdf](https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/40137/mod_resource/content/1/redes_neuro/contenidos/pdf/libro-del-curso.pdf).

**BEDOYA RUIZ, Diana Patricia.** Evaluación de aprendizaje por competencias utilizando lógica difusa. *Udea*. [En línea] 2014. [Citado el: 01 de Agosto de 2021.] [https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/5739/1/BedoyaDiana\\_2016\\_EvaluacionAprendizajeCompetencias.pdf](https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/5739/1/BedoyaDiana_2016_EvaluacionAprendizajeCompetencias.pdf).

**BURTON, Freeman; et al.** El Mango, Componentes Bioactivos, y la Salud. *Mango*. [En línea] 2018. [Citado el: 04 de Julio de 2021.] [https://www.mango.org/wp-content/uploads/2018/03/Dr\\_Brit\\_Burton\\_Mango\\_Review\\_Paper\\_Revision\\_Spn.pdf](https://www.mango.org/wp-content/uploads/2018/03/Dr_Brit_Burton_Mango_Review_Paper_Revision_Spn.pdf).

**CALERO, J; & CASAMÍN, T.** Automatización del proceso de Inyección en la máquina cosmos 65 en la empresa EMPAQPLAST. *EPN*. [En línea] 2015. [Citado el: 11 de Julio de 2021.] <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/9076>.

**CHANDI CADENA, Luis Felipe.** Controlador basado en técnicas de inteligencia artificial aplicado al control de voltaje en un sistema eléctrico de potencia. *Espol*. [En línea] 2017. [Citado el: 12 de Julio de 2021.] <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/38685/D-106129.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>.

**CHIRIBOGA MERA, Teresa Jacqueline; & JIMENEZ HIDALGO, Amanda Liseth.** Estudio Comparativo de Tres Plataformas en Hardware para un Sistema Embebido en un Cargador de Baterías Hércules de Imetrilec Cía. Ltda. *Epoch*. [En línea] 2015. [Citado el: 02 de Septiembre de 2021.] <http://dspace.epoch.edu.ec/handle/123456789/4975>.

**COMPONENTS 101.** Módulo controlador de motor paso a paso TB6600. *Components 101*. [En línea] 2021a. [Citado el: 19 de Octubre de 2021.] <https://components101.com/modules/tb6600-stepper-motor-driver-module-pinout-features-datasheet-working-application-alternative>.

**COMPONENTS 101.** NEMA 23 Stepper Motor. *Components101*. [En línea] 2019b. [Citado el: 12 de Octubre de 2021.] <https://components101.com/motors/nema-23-stepper-motor-datasheet-specs>.

**CORONEL BASURTO, Boris Miguel.** Monitoreo de la red eléctrica del Laboratorio de Máquinas de la Facultad de Informática y Electrónica aplicando inteligencia artificial. *Epoch*. [En línea] 2017. [Citado el: 13 de Agosto de 2021.] <http://dspace.epoch.edu.ec/handle/123456789/7589>.

**CUENCA RAMOS, Silvia Elizabeth; & YUMBILLO MOROCHO, Janeth Alexandra.** Construcción de un controlador de temperatura basado en lógica difusa aplicado al sistema de enfriamiento del láser de una máquina de corte CNC. *Epoch*. [En línea] 2018. [Citado el: 24 de Julio de 2021.] <http://dspace.epoch.edu.ec/handle/123456789/9255>.

**DE LA VEGA PARDO, William Rodrigo; & ENRÍQUEZ LOZANO, Sergio Israel.** Diseño e implementación de un sistema de control automático para seis hornos del Laboratorio de Tratamientos Térmicos de la Escuela Politécnica Nacional. *EPN*. [En línea] 2015. [Citado el: 11 de Julio de 2021.] <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/11521>.

**DUQUE MOLINA, Amelia Roxana; & GÓMEZ LUCERO, Lucia Auxiliadora.** Análisis y aplicación de normas internacionales para mejorar la competitividad en la producción y exportación de mango hacia la Alemania. *Ups*. [En línea] 2010. [Citado el: 03 de Julio de 2021.] <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/3102/1/UPS-GT000080.pdf>.

**EL PODER DEL CONSUMIDOR.** El poder del mango. *El poder del consumidor*. [En línea] 2016. [Citado el: 07 de Julio de 2021.] <https://elpoderdelconsumidor.org/2016/02/el-poder-de-el-mango/>.

**FERNÁNDEZ PAUCAR, Guisela Maritza; et al.** Reconocimiento de placas vehiculares en tiempo real por medio de visión artificial. *Uce*. [En línea] 2017. [Citado el: 16 de Julio de 2021.] <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/11755>.

**FSE.** Aplicación Práctica de la visión artificial en el control de procesos industriales. *Infopl*. [En línea] 2012. [Citado el: 16 de Julio de 2021.] [http://www.infopl.net/files/documentacion/vision\\_artificial/infoPLC\\_net\\_Conocimientos\\_vISIONARTIFICIAL.pdf](http://www.infopl.net/files/documentacion/vision_artificial/infoPLC_net_Conocimientos_vISIONARTIFICIAL.pdf).

**GARCÍA, Eloi.** Visión artificial. *Exabyteinformatica*. [En línea] 2016. [Citado el: 13 de Julio de 2021.] [https://www.exabyteinformatica.com/uoc/Informatica/Diseno\\_de\\_interaccion/Diseno\\_de\\_interaccion\\_\(Modulo\\_5\).pdf](https://www.exabyteinformatica.com/uoc/Informatica/Diseno_de_interaccion/Diseno_de_interaccion_(Modulo_5).pdf).

**GARCÍA, Iván; & CARANQUI, Víctor.** La visión artificial y los campos de aplicación. *Upec*. [En línea] 2015. [Citado el: 02 de Julio de 2021.] <https://revistasdigitales.upec.edu.ec/index.php/tierrainfinita/article/view/76>.

**GUAMÁN GUAYANLEMA, Jhonatan Adrian.** Implementación de un prototipo de sistema para supervisión de lugares exclusivos para personas con discapacidad en parqueaderos públicos usando visión artificial. *Epoch*. [En línea] 2019. [Citado el: 15 de Julio de 2021.] <http://dspace.epoch.edu.ec/handle/123456789/13673>.

**HEREDIA MORENO, Fabián Israel; & PILAMUNGA LLUMIGUANO, Laura Cecilia.** Implementación de un Sistema Automático Fuzzy para la Estabilización de Potencia en un Horno de Ahumado de Cárnicos en la FCP de la Epoch. *Epoch*. [En línea] 2016. [Citado el: 18 de Julio de 2021.] <http://dspace.epoch.edu.ec/handle/123456789/4953>.

**INFAIMON.** Iluminación frontal. *Infaimon*. [En línea] 2018. [Citado el: 17 de Julio de 2021.] <https://www.infaimon.com/enciclopedia-de-la-vision/iluminacion-frontal/>.

**LANDIVAR MORENO, Tatiana Elizabeth.** Control automatico con sistema scada para el proceso de calentamiento y recirculación de agua utilizando calderos para el sector hotelero. *Epoch*. [En línea] 2015. [Citado el: 11 de Julio de 2021.] <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4976>.

**LUCERO JARA, Olga del Rosario.** La producción comercialización y exportación del mango en el Ecuador. *Rrae*. [En línea] 2011. [Citado el: 08 de Julio de 2021.] [https://rraae.cedia.edu.ec/Record/UG\\_b32635dc164a127c783b426561498d92](https://rraae.cedia.edu.ec/Record/UG_b32635dc164a127c783b426561498d92).

**LUDEÑA CHICA, Juan Alexander.** Implementación de un sistema de seguridad para supervisión de niños entre 2 a 4 años usando Visión Artificial. *Epoch*. [En línea] 2019. [Citado el: 14 de Julio de 2021.] <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13593>.

**MACHADO, Jaime.** Automatización de los procesos Productivos en la planta II División Partes y Piezas para la Empresa Indurama S.A. *Ucuenca*. [En línea] 2009. [Citado el: 01 de Julio de 2021.] <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2627/1/tm4288.pdf>.

**MACÍAS OLIVES, John Javier.** Diseño e implementación de un prototipo de control y monitoreo de procesos con sistemas embebidos Arduino y Raspberry Pi para PYMES. *Epoch*. [En línea] 2018. [Citado el: 28 de Agosto de 2021.] <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/9213>.

**MAJI HERNÁNDEZ, Edison Geovanny.** Diseño e Implementación de un Sistema de Control Automático Centralizado en el Área de Molienda de Puzolana Miag de la Planta Cemento Chimborazo. *Epoch*. [En línea] 2015. [Citado el: 20 de Julio de 2021.] <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/5003>.

**MECABOT.** Banco de relés. *Mecabot*. [En línea] 2020. [Citado el: 16 de Octubre de 2021.] <http://mecabot-ula.org/tutoriales/arduino/practica-16-encender-un-bombillo-de-110v-usando-un-rele/>.

**NAYLAMPMECHATRONICS.** Driver DRV8825. *Naylampmechatronics*. [En línea] 2020. [Citado el: 20 de Octubre de 2021.] <https://naylampmechatronics.com/drivers/126-driver-papdrv8825.html>.

**NVIDIA.** Tarjeta Jetson. *Nvidia*. [En línea] 2020. [Citado el: 11 de Septiembre de 2021.] <https://www.nvidia.com/es-la/autonomous-machines/embedded-systems/jetson-nano-developer-kit/>.

**OGATA, Katsuhiko.** *Ingeniería de control moderna*. s.l. : Prentice Hall, 2010.

**ORTIZ BASANTES, Darwin Javier; & PILATUÑA QUINALUISA, Lorena Isabel.** Diseño de una planta virtual de trituración de piedra caliza, propuesta de un plan de mantenimiento preventivo. *Epoch*. [En línea] 2019. [Citado el: 14 de Septiembre de 2021.] <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13549>.

**OTECE.** Botonera ON/OFF. *Otece*. [En línea] 2020. [Citado el: 16 de Octubre de 2021.] <https://www.otece.com.ec/producto/botonera-on-off-ncno-np2-el8325-chint/>.

**PLAY FM.** Planta un mango usando la semilla que trae en su interior. *Playfm*. [En línea] 2016. [Citado el: 06 de Julio de 2021.] <https://playfm.cl/cafe-play/planta-un-mango-usando-la-semilla-que-trae-en-su-interior>.

**PONCE CRUZ, Pedro.** *Inteligencia artificial con aplicaciones a la ingeniería*. México : Alfaomega, 2010. 978-607-7854-83-8.

**REDMON, Joseph; et al.** You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. *Pjreddie*. [En línea] 2018. [Citado el: 12 de Abril de 2021.] <http://pjreddie.com/yolo/>.

**RODRÍGUEZ BOSQUEZ, Johana Beatriz; & SALAZAR PAZMINÑO, José Germán.** Diseño, construcción y automatización de un prototipo de máquina clasificadora de piñas de acuerdo con el color y forma por medio de visión artificial. *Epoch*. [En línea] 2020. [Citado el: 12 de Septiembre de 2021.] <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/14314>.

**SANDOVAL ATIAJA, Alex Patricio.** Desarrollo de un sistema de control en tiempo real para medir las variables de presión y velocidad con sistemas embebidos. *Epoch*. [En línea] 2018. [Citado el: 10 de Septiembre de 2021.] <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/9685>.

**SERNA COCK, Liliana; et al.** Evaluación de Polvos Alimentarios obtenidos de Cáscaras de Mango (*Mangifera indica*) como fuente de Ingredientes Funcionales. *Scielo*. [En línea] 2015. [Citado el: 06 de Julio de 2021.] <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v26n2/art06.pdf>.

**UNCTAD.** Mango. *Unctad*. [En línea] 2016. [Citado el: 05 de Julio de 2021.] [https://unctad.org/es/system/files/official-document/INFOCOMM\\_cp07\\_Mango\\_es.pdf](https://unctad.org/es/system/files/official-document/INFOCOMM_cp07_Mango_es.pdf).

**USAID.** Manual de producción del mango. *Fdocuments*. [En línea] 2017. [Citado el: 10 de Julio de 2021.] <https://fdocuments.ec/download/manual-de-produccion-gra-la-2012-02-29-plan-de-inversion-por-un-cultivo.html>.

**VALLEJO CADENA, Jorge Luis; & LOZADA YÁNEZ, Jorge Luis.** Estudio del Comportamiento de Sensores industriales Mediante la Implementación de un Sistema de Entrenamiento en Sensórica. *Epoch*. [En línea] 2015. [Citado el: 10 de Octubre de 2021.] <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4403>.

**VARGAS, Albeiro.** Aplicación de técnicas de visión artificial para la inspección visual de recubrimiento de cable. *Hbenitez*. [En línea] 2012. [Citado el: 15 de Julio de 2021.] [https://www.hbenitez.org/Students\\_files/monografia.pdf](https://www.hbenitez.org/Students_files/monografia.pdf).

## ANEXOS

### ANEXO A: CÓDIGO DE CONTROL DEL SISTEMA DIFUSO

@author: Juan Carlos Aldaz Inca

# Librerías requeridas

```
import numpy as np
```

```
import matplotlib.pyplot as plt
```

```
import statistics as stats
```

```
def trimf(x, a,b,c):
```

```
    # param = [a, b, c]
```

```
    # a <= b <= c
```

```
    a = float(a)
```

```
    b = float(b)
```

```
    c = float(c)
```

```
    if (a <= b) and (b <= c):
```

```
        m = np.zeros(x.size)
```

```
        for i in range(x.size):
```

```
            if x[i] <= a:
```

```
                m[i] = 0.0
```

```
            elif (a <= x[i]) and (x[i] <= b):
```

```
                m[i] = (x[i] - a)/(b - a)
```

```
            elif (b <= x[i]) and (x[i] <= c):
```

```
                m[i] = (c - x[i])/(c - b)
```

```
            else:
```

```
                m[i] = 0.0
```

```
        return m
```

```
    else:
```

```
        return -1
```

```
def trapmf(x, a,b,c,d):
```

```
    # param = [a, b, c, d]
```

```
    # a <= b <= c <=d
```

```
    a = float(a)
```

```
    b = float(b)
```

```
    c = float(c)
```

```
    d = float(d)
```

```
    if (a <= b) and (b <= c) and (c <= d):
```

```

m = np.zeros(x.size)
for i in range(x.size):
    if x[i] <= a:
        m[i] = 0.0
    elif (a <= x[i]) and (x[i] <= b):
        m[i] = (x[i] - a)/(b - a)
    elif (b <= x[i]) and (x[i] <= c):
        m[i] = 1.0
    elif (c <= x[i]) and (x[i] <= d):
        m[i] = (d - x[i])/(d - c)
    else:
        m[i] = 0.0
return m
else:
    return -1

# *****FUSIFICACION*****
#*****Tamaño*****
# universo discurso
Xm = np.linspace(1, 100, 100)
# Mango pequeño
a, b, c, d = 0, 0, 30, 50
M_p = trapmf(Xm, a, b, c, d)
#Mango mediano
a, b, c = 30, 50, 70
M_m = trimf(Xm, a, b, c)
#Mango Grande
a, b, c, d = 50, 70, 100, 100
M_g = trapmf(Xm, a, b, c, d)
#Grafica
plt.figure(1)
plt.plot(Xm,M_p,Xm,M_m,Xm,M_g)
plt.show()
#*****Imperfecciones*****
Xc = np.linspace(1,100,100)
# Mayor Imperfeccion
a, b, c, d =0, 0, 30, 50

```

```

M_n = trapmf(Xc, a, b, c, d)
#Mediana Imperfeccion
a, b, c = 30, 50, 70
M_q = trimf(Xm, a, b, c)
#Menor Imperfeccion
a, b, c, d = 50, 70, 100, 100
M_b = trapmf(Xc, a, b, c, d)
#Grafica
plt.figure(2)
plt.plot(Xc,M_n,Xc,M_q,Xc,M_b)
plt.show()
#*****
#*****

#Numero 1
x =50
mR1=np.zeros([len(Xm),1])
for i in range(len(Xm)):
    mR1[i] = min(M_p[x],M_n[i])
plt.figure(3)
plt.plot(Xm,mR1,label="mR1")
plt.ylim((0,1))
plt.legend()

#Numero 2
mR2=np.zeros([len(Xm),1])
for i in range(len(Xm)):
    mR2[i] = min(M_m[x],M_b[i])
plt.figure(4)
plt.plot(Xc,mR2, label="mR2")
plt.ylim((0,1))
plt.legend()

#Numero 3
mR3=np.zeros([len(Xm),1])
for i in range(len(Xm)):
    mR3[i] = min(M_g[x],M_b[i])
plt.figure(5)
plt.plot(Xm,mR3,label="mR3")
plt.ylim((0,1))

```

```

plt.legend()
#####
#*****
#*****

#Numero 4
num0=30
num =100-num0
mR4=np.zeros([len(Xc),1])
for i in range(len(Xc)):
    mR4[i] = min(M_p[num],M_n[i])
plt.figure(6)
plt.plot(Xc,mR4,label="mR4")
plt.ylim((0,1))
plt.legend()
#Numero 5
mR5=np.zeros([len(Xc),1])
for i in range(len(Xc)):
    mR5[i] = min(M_m[num],M_b[i])
plt.figure(7)
plt.plot(Xc,mR5, label="mR5")
plt.ylim((0,1))
plt.legend()
#Numero 6
mR6=np.zeros([len(Xc),1])
for i in range(len(Xc)):
    mR6[i] = min(M_g[num],M_b[i])
plt.figure(8)
plt.plot(Xc,mR6,label="mR6")
plt.ylim((0,1))
plt.legend()
#####
mRr=np.zeros([len(Xm),1])
for i in range(len(Xm)):
    aux = max(mR1[i],mR2[i])
    aux1 = max(aux,mR3[i])
    aux2 = max(aux1,mR4[i])
    aux3 = max(aux2,mR5[i])

```

```
mRr[i] =max(aux3,mR6[i])
plt.figure(9)
plt.plot(Xm,mRr,label="mRr")
plt.ylim((0,1))
plt.legend()
# Metodo de defusificacion MOM(Media de Maximos)
u= np.where(mRr == np.amax(mRr))
u=list(u)
u=stats.mean(u[0])
print(u)
if u >=70:
    out =1
elif u<70:
    out=0
```



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL  
APRENDIZAJE



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS  
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 02 / 02 / 2022

<b>INFORMACIÓN DE LOS AUTORES</b>	
<b>Nombres – Apellidos:</b> JUAN CARLOS ALDAZ INCA FRANKLIN SANTIAGO FREIRE LUGO	
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>	
<b>Facultad:</b> INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA	
<b>Carrera:</b> ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN	
<b>Título a optar:</b> INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN	
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b>	 Firmado electrónicamente por: ELIZABETH FERNANDA AREVALO MEDINA

