



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UN
PROTOTIPO DE MÁQUINA CLASIFICADORA DE PIÑAS DE
ACUERDO AL COLOR Y FORMA POR MEDIO DE VISIÓN
ARTIFICIAL”**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTORES: JOHANA BEATRIZ RODRÍGUEZ BOSQUEZ
JOSÉ ISRAEL SALAZAR PAZMIÑO

DIRECTOR: Ing. JOHN GERMÁN VERA LUZURIAGA

Riobamba - Ecuador

2020

© 2020, Johana Beatriz Rodríguez Bosquez; & José Israel Salazar Pazmiño

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

Nosotros, Johana Beatriz Rodríguez Bosquez y José Israel Salazar Pazmiño, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo 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, 03 de agosto del 2020



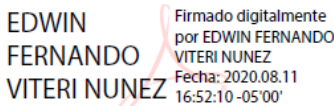

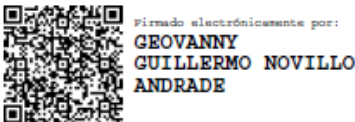
Johana Beatriz Rodríguez Bosquez
020156942-3



José Israel Salazar Pazmiño
020197899-6

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo Propuesta Tecnológica **DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA CLASIFICADORA DE PIÑAS DE ACUERDO AL COLOR Y FORMA POR MEDIO DE VISIÓN ARTIFICIAL**, realizado por los señores : **JOHANA BEATRIZ RODRÍGUEZ BOSQUEZ Y JOSÉ ISRAEL SALAZAR PAZMIÑO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 EDWIN FERNANDO VITERI NUNEZ	2020-08-03
Ing. John Germán Vera Luzuriaga DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	 JOHN GERMAN VERA LUZURIAGA	2020-08-03
Ing. Geovanny Guillermo Novillo Andrade MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 GEOVANNY GUILLERMO NOVILLO ANDRADE	2020-08-03

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi hijo Matías a mi esposo José quienes con su amor y apoyo incondicional me han motivado a continuar y ser una persona de bien, a mi mamá Célida por su sacrificio y dedicación quien no me ha dejado sola en este camino y me ha ayudado a salir adelante, a mi hermano Diego que siempre esta presto a ayudarme. A mis abuelitos Dimas y Elina que me han brindado siempre su cariño.

De igual manera a mi familia y amigos, quienes me alentaron a seguir y me mostraron su apoyo.

Johana

Este trabajo está dedicado a mi hijo Matías que es mi motor para seguir adelante a mi esposa Johana quien con su amor y paciencia me ha alentado a no desmayar para conseguir mi meta, a mis padres José Salazar e Isabel Pazmiño que supieron brindarme su apoyo. A mis hermanos Carolina y Wagner que me han acompañado en este proceso. A mi abuelita Mercedes quien me motivó a seguir esta carrera, a mi abuelita Aurora que me ha brindado su cariño.

De igual manera a mi familia y compañeros que me brindaron sus consejos.

José

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento muy especial a mi madre por brindarme su apoyo para culminar con mi carrera, a mi esposo por ser amigo, compañero y siempre confiar en mí, a mi hijo quien se acopló a las situaciones en cada etapa. A mi hermano que con sus juegos entretenía a Matías. Gracias a cada uno por su sacrificio, amor y comprensión he podido culminar mi carrera y lograr esta meta. Un agradecimiento especial a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y a la Escuela de Ingeniería Mecánica por permitirme formarme profesionalmente, al Ing. John Vera Director del Trabajo de Titulación y al Ing. Geovanny Novillo por acompañarnos en el proceso con sus conocimientos y experiencia.

Johana

Un agradecimiento muy especial a mis padres y hermanos por brindarme su apoyo para culminar con mis estudios, a mi esposa Johana Rodríguez por realizar toda la carrera juntos, a mi hijo quien estuvo presente en esta etapa universitaria. A mi cuñado Diego Muñoz por brindarnos su ayuda con Matías en momentos complicados. Gracias a todas las personas que conforman mi familia por su amor y comprensión he podido culminar mi carrera.

Un agradecimiento especial a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y a la Escuela de Ingeniería Mecánica por permitirme formarme como profesional, al Ing. John Vera Director del Trabajo de Titulación y al Ing. Geovanny Novillo quienes nos guiaron desde el inicio de este proceso con sus conocimientos y experiencia.

José

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvii
RESUMEN	xviii
SUMMARY	xix
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I.

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	3
1.1	Antecedentes	3
1.2	Objetivos.....	4
1.2.1	<i>Objetivo general</i>	4
1.2.2	<i>Objetivos específicos</i>	4

CAPÍTULO II

2.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	6
2.1	Características y variedades de las piñas que se producen en el Ecuador	6
2.1.1	<i>Características geométricas, diámetro y peso</i>	6
2.1.2	<i>Estados de madurez de la piña.</i>	7
2.2	Sistema de transporte.....	7
2.2.1	<i>Bandas transportadoras</i>	8
2.2.2	<i>Transportador de rodillos</i>	8
2.2.3	<i>Métodos de diseño</i>	9
2.2.3.1	<i>Ciclo básico de diseño</i>	9
2.3	Unidad neumática.....	10
2.3.1	<i>Cilindros neumáticos</i>	11
2.3.1.1	<i>Cilindro de simple acción</i>	11
2.3.1.2	<i>Cilindro de doble acción</i>	11
2.3.2	<i>Tratamiento del aire</i>	12
2.3.3	<i>Válvulas distribuidoras</i>	12
2.3.3.1	<i>Electroválvula</i>	13
2.3.4	<i>Tubos y racores</i>	13
2.3.4.1	<i>Tubos según el material</i>	14
2.3.4.2	<i>Racores</i>	14

2.4	Automatización y control	15
2.4.1	Visión artificial	15
2.4.1.1	<i>Imagen</i>	15
2.4.1.2	<i>Iluminación</i>	15
2.4.1.3	<i>Tipos de iluminación artificial</i>	15
2.4.1.4	<i>Técnicas de iluminación</i>	17
2.4.1.5	<i>Ópticas</i>	18
2.4.1.6	<i>Distancia focal</i>	19
2.4.2	Etapas de un sistema de visión artificial	20
2.4.2.1	<i>Adquisición de imágenes</i>	20
2.4.2.2	<i>Pre-procesamiento</i>	20
2.4.2.3	<i>Segmentación</i>	20
2.4.2.4	<i>Reconocimiento o clasificación</i>	21
2.4.3	Sistema embebido	21
2.4.3.1	<i>Raspberry Pi</i>	21
2.4.3.2	<i>Sensores</i>	21

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	22
3.1	Diseño conceptual del prototipo de máquina clasificadora de piñas	22
3.1.1	<i>Determinación de las especificaciones y requerimientos de la máquina</i>	22
3.1.2	<i>Desarrollo de la función de calidad (QFD)</i>	22
3.1.2.1	<i>Identificación y evaluación de las necesidades del usuario (voz del usuario)</i>	23
3.1.2.2	<i>Voz del ingeniero</i>	23
3.1.2.3	<i>Despliegue de la casa de la calidad</i>	24
3.1.3	<i>Análisis funcional</i>	25
3.1.3.1	<i>Nivel 0</i>	25
3.1.3.2	<i>Nivel 1</i>	25
3.1.4	<i>Desarrollo de las alternativas de solución para el prototipo de máquina</i>	26
3.1.4.1	<i>Transportar la fruta</i>	26
3.1.4.2	<i>Reconocimiento de la fruta</i>	27
3.1.4.3	<i>Clasificación</i>	29
3.1.4.4	<i>Salida de la fruta</i>	29
3.1.5	<i>Alternativas de solución</i>	30
3.1.5.1	<i>Alternativas de solución para cada módulo</i>	31
3.1.6	<i>Criterios de evaluación del módulo</i>	33
3.1.7	<i>Diseño de detalle</i>	36
3.2	Análisis de fuerzas y diseño de los componentes mecánicos	36

3.2.1	<i>Dimensionamiento</i>	37
3.2.2	<i>Cálculo de la velocidad de operación del prototipo de máquina</i>	37
3.2.3	<i>Cálculo de la capacidad del prototipo de máquina</i>	38
3.2.4	<i>Cálculo de la potencia requerida del prototipo de máquina clasificadora de piñas.</i>	38
3.2.5	<i>Selección de la cadena</i>	39
3.2.6	<i>Potencia requerida del motor</i>	45
3.2.7	<i>Diseño del eje motriz</i>	46
3.2.8	<i>Verificación de la resistencia del eje</i>	54
3.2.9	<i>Diseño de la estructura principal</i>	56
3.2.9.1	<i>Análisis de resultados</i>	59
3.2.10	<i>Selección de rodamientos</i>	60
3.2.10.1	<i>Chequeo a carga dinámica</i>	61
3.2.10.2	<i>Chequeo a carga estática</i>	63
3.2.11	<i>Cálculo de la chaveta</i>	64
3.2.11.1	<i>Análisis a corte</i>	65
3.2.11.2	<i>Análisis a aplastamiento</i>	66
3.3	<i>Sistema neumático</i>	67
3.3.1	<i>Selección del cilindro neumático</i>	67
3.3.2	<i>Selección de electroválvulas</i>	72
3.3.3	<i>Tuberías neumáticas, racores y acoples</i>	73
3.3.3.1	<i>Tubería neumática</i>	73
3.3.3.2	<i>Racores y acoples</i>	74
3.3.4	<i>Unidad de mantenimiento neumático</i>	75
3.3.5	<i>Esquema del circuito neumático</i>	76
3.4	<i>Selección de elementos eléctricos y electrónicos</i>	76
3.4.1	<i>Elementos eléctricos</i>	76
3.4.1.1	<i>Protección eléctrica</i>	76
3.4.1.2	<i>Fusible cilíndrico y base para fusible cilíndrico</i>	77
3.4.1.3	<i>Contactador</i>	78
3.4.1.4	<i>Relé</i>	78
3.4.1.5	<i>Paro de emergencia</i>	79
3.4.1.6	<i>Luz piloto</i>	79
3.4.2	<i>Elementos electrónicos</i>	80
3.4.2.1	<i>Sensor ultrasónico</i>	80
3.4.2.2	<i>Raspberry Pi 4</i>	80
3.4.2.3	<i>Cámara Raspberry Pi</i>	82
3.4.2.4	<i>Pantalla táctil 7" LCD</i>	82
3.5	<i>Control del prototipo de máquina clasificadora de piñas</i>	83
3.5.1	<i>Etapas de control</i>	85

3.5.1.1	<i>Adquisición de señal de los sensores</i>	85
3.5.2	<i>Esquema de los circuitos de potencia y control</i>	87
3.5.3	<i>Diseño de la placa PCB</i>	89
3.5.4	<i>Desarrollo de la interfaz gráfica de usuario</i>	90
3.5.4.1	<i>Configuración de la cámara en la interfaz gráfica de usuario</i>	90
3.5.4.2	<i>Visualización de la imagen en la interfaz gráfica de usuario</i>	91
3.5.4.3	<i>Visualización de la clasificación en la interfaz gráfica de usuario</i>	92
3.5.4.4	<i>Control del prototipo mediante la interfaz gráfica de usuario</i>	92
3.5.5	<i>Desarrollo del algoritmo de visión artificial</i>	94
3.5.5.1	<i>Adquisición de la imagen</i>	94
3.5.5.2	<i>Captura de la imagen</i>	95
3.5.5.3	<i>Segmentación de la imagen</i>	95
3.5.5.4	<i>Extracción de características para el reconocimiento por color</i>	98
3.5.5.5	<i>Segmentación de la imagen por forma</i>	98
3.5.5.6	<i>Extracción de características para el reconocimiento por forma</i>	101
3.5.5.7	<i>Clasificación por forma</i>	101
3.5.5.8	<i>Clasificación por color</i>	102
3.5.6	<i>Acciones del mecanismo</i>	102
3.5.6.1	<i>Acciones del mecanismo en función de la clasificación</i>	103
3.6	<i>Construcción y Montaje</i>	104
3.6.1	<i>Método para la construcción</i>	104
3.6.1.1	<i>Elementos de construcción</i>	105
3.6.1.2	<i>Operaciones y tiempos de construcción para el sistema estructural</i>	107
3.6.1.3	<i>Operaciones y tiempos de construcción para el sistema de transmisión</i>	108
3.6.1.4	<i>Operaciones y tiempos de construcción para el sistema de clasificación</i>	108
3.6.1.5	<i>Operaciones y tiempos de construcción para el sistema de salida</i>	109
3.6.1.6	<i>Operaciones y tiempos de construcción para el sistema neumático y de control</i>	110
3.6.2	<i>Montaje de la máquina clasificadora de piñas</i>	111
3.6.2.1	<i>Diagrama de flujo del montaje</i>	112
3.6.3	<i>Tiempo total de construcción y montaje</i>	112
3.7	<i>Manual de operación y mantenimiento para el prototipo de máquina clasificadora de piñas</i>	113
3.7.1	<i>Manual de operación de la máquina</i>	113
3.7.2	<i>Instrucciones de funcionamiento</i>	113
3.7.3	<i>Manual de mantenimiento de la máquina</i>	116
3.8	<i>Análisis de costos</i>	117
3.8.1	<i>Costo directo</i>	117
3.8.2	<i>Costos indirectos</i>	121
3.8.3	<i>Costo total</i>	122

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS	123
4.1	Pruebas de funcionamiento	123
4.2	Discusión de resultados	123
4.2.1	<i>Clasificación realizada de forma manual y con el prototipo</i>	123
4.2.2	<i>Efectividad del algoritmo implementado de visión artificial</i>	125
4.2.3	<i>Resultados del proceso en el prototipo</i>	127
4.2.4	<i>Comparación del tiempo empleado en la clasificación manual y la del prototipo</i>	128
5.	CONCLUSIONES	130
6.	RECOMENDACIONES	131

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Calibres de la piña	6
Tabla 2-2:	Características de los tipos de iluminación artificial	16
Tabla 3-2:	Técnicas de iluminación	17
Tabla 1-3:	Ventajas y desventajas de la banda transportadora.....	26
Tabla 2-3:	Ventajas y desventajas del transportador de rodillos.....	27
Tabla 3-3:	Ventajas y desventajas de la cámara fotográfica	28
Tabla 4-3:	Ventajas y desventajas de la cámara Raspberry Pi.....	28
Tabla 5-3:	Ventajas y desventajas del sistema neumático	29
Tabla 6-3:	Ventajas y desventajas de la bandeja.....	30
Tabla 7-3:	Componentes de la alternativa 1.....	31
Tabla 8-3:	Componentes de la alternativa 2.....	32
Tabla 9-3:	Componentes de la alternativa 3.....	33
Tabla 10-3:	Evaluación del peso específico de cada criterio	34
Tabla 11-3:	Evaluación de soluciones respecto del criterio Eficiencia.....	34
Tabla 12-3:	Evaluación de soluciones respecto del criterio Higiene	34
Tabla 13-3:	Evaluación de soluciones respecto del criterio Mantenimiento	35
Tabla 14-3:	Evaluación de soluciones respecto del criterio Costo.....	35
Tabla 15-3:	Soluciones de las alternativas.....	35
Tabla 16-3:	Velocidad de operación del prototipo de máquina clasificadora de piñas.....	38
Tabla 17-3:	Valores obtenidos de la selección de la cadena	45
Tabla 18-3:	Parámetros para el modelado del eje	54
Tabla 19-3:	Especificaciones del bastidor.....	56
Tabla 20-3:	Parámetros para el diseño de la estructura.....	57
Tabla 21-3:	Propiedades de rodamientos NTN	62
Tabla 22-3:	Dimensiones de la chaveta	64
Tabla 23-3:	Dimensiones del chavetero.....	64
Tabla 24-3:	Dimensiones de la chaveta calculada	67
Tabla 25-3:	Especificaciones del cilindro de doble acción.....	69
Tabla 26-3:	Casos con el factor para la longitud de pandeo	71
Tabla 27-3:	Especificaciones técnicas de la electroválvula	73
Tabla 28-3:	Especificaciones técnicas de la tubería neumática	74
Tabla 29-3:	Especificaciones técnicas de los elementos de unión neumáticos.....	74
Tabla 30-3:	Especificaciones técnicas de la unidad de mantenimiento neumática.....	75
Tabla 31-3:	Especificaciones del guardamotor	77
Tabla 32-3:	Especificaciones del fusible y base.	77
Tabla 33-3:	Especificaciones del contactor.....	78

Tabla 34-3:	Especificaciones del pulsador.....	79
Tabla 35-3:	Especificaciones de la luz piloto	79
Tabla 36-3:	Especificaciones del sensor ultrasónico	80
Tabla 37-3:	Especificaciones de Raspberry Pi 4 Modelo B.....	81
Tabla 38-3:	Especificaciones cámara Raspberry Pi.....	82
Tabla 39-3:	Especificaciones pantalla táctil.....	82
Tabla 40-3:	Máquinas utilizadas	104
Tabla 41-3:	Herramientas utilizadas	105
Tabla 42-3:	Elementos de construcción	105
Tabla 43-3:	Operaciones y tiempos de construcción del sistema estructural.....	107
Tabla 44-3:	Operaciones y tiempos de construcción del sistema de transmisión	108
Tabla 45-3:	Operaciones y tiempos de construcción del sistema de clasificación.....	109
Tabla 46-3:	Operaciones y tiempos de construcción del sistema de salida	110
Tabla 47-3:	Operaciones y tiempos de construcción del sistema neumático y de control....	110
Tabla 48-3:	Montaje de la máquina	111
Tabla 49-3:	Tiempo de construcción y montaje.....	112
Tabla 50-3:	Manual de operaciones	113
Tabla 51-3:	Instrucciones de funcionamiento	114
Tabla 52-3:	Mantenimiento preventivo de la máquina	116
Tabla 53-3:	Costos materiales mecánicos.....	117
Tabla 54-3:	Costos materiales eléctricos y electrónicos	118
Tabla 55-3:	Costos materiales neumáticos.....	119
Tabla 56-3:	Costos mano de obra	120
Tabla 57-3:	Costos de piñas para pruebas.....	120
Tabla 58-3:	Costo de equipos y herramientas	120
Tabla 59-3:	Costos de transporte	121
Tabla 60-3:	Costo directo total.....	121
Tabla 61-3:	Costos indirectos	121
Tabla 62-3:	Costo total.....	122
Tabla 1-4:	Muestras de cinco días.....	123
Tabla 2-4:	Resultado de la clasificación manual.....	124
Tabla 3-4:	Resultado de la clasificación con el prototipo	125
Tabla 4-4:	Efectividad del algoritmo implementado	126
Tabla 5-4:	Tiempo empelado en cada clasificación	128

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2.	Estados de madurez de la piña	7
Figura 2-2.	Banda transportadora.....	8
Figura 3-2.	Transportador de rodillos	9
Figura 4-2.	Ciclo básico de diseño.....	10
Figura 5-2.	Cilindro de simple acción.....	11
Figura 6-2.	Cilindro de doble acción	12
Figura 7-2.	Unidad de mantenimiento	12
Figura 8-2.	Válvula de 5 vías y 2 posiciones	13
Figura 9-2.	Válvula distribuidora 5/2 de simple bobina.	13
Figura 10-2.	Tipos de tubos	14
Figura 11-2.	Tipos de racores	14
Figura 12-2.	Distancia entre la cámara y el objeto.....	19
Figura 13-2.	Distancia focal.....	19
Figura 1-3.	Matriz QFD (Casa de la calidad).....	24
Figura 2-3.	Función principal de la máquina.	25
Figura 3-3.	Módulos de funcionamiento.....	25
Figura 4-3.	Transportar la fruta por banda.	26
Figura 5-3.	Transportar la fruta por rodillos.	27
Figura 6-3.	Modelo de cámara.	28
Figura 7-3.	Módulo cámara Raspberry Pi.....	28
Figura 8-3.	Tipos de cilindros neumáticos.....	29
Figura 9-3.	Bandeja de salida.....	30
Figura 10-3.	Matriz morfológica.....	31
Figura 11-3.	Diseño de detalle del prototipo.....	36
Figura 12-3.	Eje del prototipo de máquina.....	48
Figura 13-3.	Diagrama de cuerpo libre	48
Figura 14-3.	Análisis de fuerzas plano XY	48
Figura 15-3.	Análisis de fuerzas plano XZ.	49
Figura 16-3.	Diagrama de Momento flector plano XY.....	50
Figura 17-3.	Diagrama de Momento flector plano XZ	50
Figura 18-3.	Configuración geométrica del eje.....	51
Figura 19-3.	Diagramas para análisis a fatiga.....	51
Figura 20-3.	Asignación del material del eje	55
Figura 21-3.	Asignación de los soportes en el eje.....	55
Figura 22-3.	Mallado del eje	55
Figura 23-3.	Verificación de la resistencia del eje.....	56

Figura 24-3.	Dimensiones generales del bastidor	57
Figura 25-3.	Asignación del perfil y material a la estructura.....	58
Figura 26-3.	Asignación de la primera carga muerta	58
Figura 27-3.	Asignación de la segunda carga muerta	59
Figura 28-3.	Asignación de la carga viva	59
Figura 29-3.	Resultados mediante software SAP2000.....	60
Figura 30-3.	Unidad de mantenimiento neumática	75
Figura 31-3.	Esquema del circuito neumático.....	76
Figura 32-3.	Relé de 5V.....	78
Figura 33-3.	Algoritmo del proceso de clasificación de piñas.	84
Figura 34-3.	Librerías importadas.....	85
Figura 35-3.	Esquema para la adquisición de señal de los sensores	86
Figura 36-3.	Esquema de conexión para la adquisición de señal de los sensores.....	87
Figura 37-3.	Esquema del circuito de control	88
Figura 38-3.	Esquema del circuito de fuerza.	88
Figura 39-3.	Esquema de conexión del sistema electrónico	89
Figura 40-3.	Diseño de la placa PCB	89
Figura 41-3.	Ventana principal de la interfaz gráfica de usuario.	90
Figura 42-3.	Configuración de la cámara en la interfaz gráfica de usuario	91
Figura 43-3.	Visualización de la imagen en la interfaz gráfica de usuario	91
Figura 44-3.	Interfaz gráfica de usuario.....	92
Figura 45-3.	Control del prototipo mediante la interfaz gráfica de usuario	93
Figura 46-3.	Diagrama para el desarrollo del algoritmo de visión artificial.	94
Figura 47-3.	Adquisición de la imagen de la piña.	95
Figura 48-3.	Función tomar foto.	95
Figura 49-3.	Transformación del espacio de color de la imagen adquirida	96
Figura 50-3.	Separación del fondo y la piña.	96
Figura 51-3.	Comandos utilizados en la segmentación de la imagen	97
Figura 52-3.	Imagen piña segmentada por color.....	97
Figura 53-3.	Extracto de la función para obtener pixeles	98
Figura 54-3.	Imagen de la piña en escala de grises y binaria.....	99
Figura 55-3.	Piña segmentada imagen binaria	99
Figura 56-3.	Recuadro de la piña recortada	100
Figura 57-3.	Piña redimensionada	101
Figura 58-3.	Extracción de características por forma.	101
Figura 59-3.	Clasificación por forma.....	102
Figura 60-3.	Clasificación por color	102
Figura 61-3.	Estados mostrados de las acciones del mecanismo.	103
Figura 62-3.	Acciones que se ejecutaran en el caso de una piña no madura.	104

Figura 63-3.	Diagrama de flujo del montaje del prototipo.....	112
Figura 1-4.	Muestra de piñas para la clasificación manual	124
Figura 2-4.	Resultada de la clasificación de una muestra	125
Figura 3-4.	Resultado de la clasificación con el prototipo para la muestra 1.....	127
Figura 4-4.	Resultado de la clasificación con el prototipo para la muestra 2.....	127
Figura 5-4.	Resultado de la clasificación con el prototipo para la muestra 3.....	128

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-4.	Efectividad del algoritmo	126
Gráfico 2-4.	Tiempo empleado en cada clasificación	129

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: FACTORES DE SERVICIO PARA TRANSPORTADORES

ANEXO B: NÚMERO DE CADENA

ANEXO C: NÚMERO DE DIENTES DE LA CATALINA MENOR

ANEXO D: FACTORES PARA CENTROS Y LONGITUD DE CADENA

ANEXO E: FACTOR DE SUPERFICIE

ANEXO F: FACTOR DE TAMAÑO

ANEXO G: FACTOR DE TEMPERATURA

ANEXO H: FACTOR DE CONFIABILIDAD

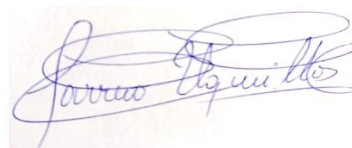
ANEXO I: FACTOR DE EFECTOS VARIOS

ANEXO J: FACTORES DE CONCENTRACIÓM DE ESFUERZO

RESUMEN

Los procesos automatizados han ido tomando relevancia debido a su acoplamiento a los diferentes tipos de productos, en el caso de las frutas se han desarrollado estudios para evitar el contacto directo en el proceso de clasificación. En el presente trabajo se realizó el diseño, construcción y automatización de un prototipo de máquina clasificadora de piñas de acuerdo al color y forma por medio de visión artificial. Para el diseño se utilizó el método de análisis de alternativas para encontrar la mejor solución que garantice un proceso sin contaminar o dañar la piña. La solución consta del sistema de transporte por medio de rodillos, la adquisición de la imagen por medio de una cámara Raspberry Pi dentro de un sistema de iluminación controlado, el sistema de clasificación mediante el accionamiento de cilindros neumáticos y la salida de la fruta por bandejas. Para el modelado y verificación de los elementos mecánicos se utilizó el software SolidWorks y SAP2000. El algoritmo se desarrolló en Python mediante la utilización de librerías de OpenCV. Se aplicó una segmentación basada en umbralizado, para la extracción de características por color se obtuvo el número de píxeles válidos y para las características por forma se utilizó la operación morfológica dilatación y Momentos Hu. La clasificación tanto por color y forma se realizó mediante comparación de un valor denominado umbral. Se implementó una interfaz gráfica de usuario mediante una pantalla táctil y el control del prototipo se realizó mediante la Raspberry Pi. Para los resultados se realizó una comparación de la clasificación manual y la del prototipo. Se obtuvo una efectividad del prototipo del 96.99% y una reducción del tiempo empleado del 13.65%. Se concluyó que el prototipo realiza el proceso de clasificación sin afectar a la piña y se recomienda procesadores que agilicen los tiempos de ejecución.

Palabras clave: <TECNOLOGÍA DEL CONTROL AUTOMÁTICO>, <VISIÓN ARTIFICIAL>, <CLASIFICACIÓN DE ALIMENTOS>, <PROCESAMIENTO DE IMAGENES>, <AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS>, <PYTHON (SOFTWARE)>, <RECONOCIMIENTO DE COLOR>.



11-08-2020

0197-DBRAI-UPT-2020

SUMMARY

Automated processes have been gaining relevance due to their coupling to different types of products; in the case of fruits, studies have been developed to avoid direct contact in the classification process. In the present work, the design, construction, and automation of a prototype of a pineapple sorting machine were carried out according to the color and shape by means of artificial vision. For the design, the alternative analysis method was used to find the best solution that guarantees a process without contaminating or damaging the pineapple. The solution consists of the transport system by means of rollers, the acquisition of the image by means of a Raspberry Pi camera within a controlled lighting system, the classification system by means of the pneumatic cylinders, and the exit of the fruit by trays. SolidWorks and SAP2000 software was used for the modeling and verification of the mechanical elements. The algorithm was developed in Python by using OpenCV libraries. A segmentation based on thresholding was applied, for the extraction of characteristics by color the number of valid pixels was obtained, and for characteristics by shape, the morphological operation dilation and Hu Moments were used. The classification both by color and shape was carried out by comparing a value called the threshold. A graphical user interface was implemented using a touch screen and the prototype was controlled through the Raspberry Pi. For the results, a comparison of the manual classification and that of the prototype was made. Effectiveness of the prototype of 96.99% and a reduction of the time spent of 13.65% was obtained. It was concluded that the prototype performs the classification process without affecting the pineapple and it is recommended that processors speed up execution times.

Keywords: <AUTOMATIC CONTROL TECHNOLOGY>, <ARTIFICIAL VISION>, <FOOD CLASSIFICATION>, <IMAGE PROCESSING>, <PROCESS AUTOMATION>, <PYTHON (SOFTWARE)>, <COLOR RECOGNITION>.

INTRODUCCIÓN

La piña es una fruta cuyo cultivo cada vez cobra mayor importancia a nivel mundial, al ser una fruta tropical de gran aceptación por sus propiedades culinarias y medicinales. Se encuentra como la tercera fruta más importante a nivel mundial y el 70% de la piña que se produce es consumida de manera fresca (García et al., 2011: p.62). En el cultivo de la piña se debe tomar en cuenta factores como: temperatura, las precipitaciones, la luminosidad, vientos, latitud y la altitud (Dopazo et al., 2009: p.71). De todos estos factores la altitud tiene un efecto preponderante en su sabor (Morton, 1987, p.18). Además de los factores climáticos el cultivo de la piña necesita de una buena preparación del suelo ya que su sistema radicular es frágil y superficial (Guido et al., 1983: p.11).

El color de la fruta es fundamental, es un criterio que se utiliza para la cosecha (Saborío y Camacho, 1996: p.68). Generalmente la fruta se corta cuando alcanza un color verde claro en la base. El color de la cascara varía con el tamaño de la fruta, mientras más grande sea menos intenso es el pigmento (Guido et al., 1983: p.16). En el proceso de maduración en la piña disminuye el color verde debido a la disminución de la clorofila apareciendo pigmentos de color amarillo (García et al., 2011: p.14). El desarrollo del color amarillo luego de la cosecha depende de la temperatura de almacenamiento y transporte (Ulloa, 2017, p.22).

En etapa de selección de la fruta los criterios están basados en características externas que cumpla con la calidad exigida. La calidad externa de la piña se determina por características como tamaño, forma, color, ausencia de defectos fisiológicos o patológicos (Kader, 2002, p.31). De todas las características que determinan la calidad externa el color en la cascara es primordial (Brat et al., 2004: p.6170). La selección debe ser eficiente para evitar que la fruta llegue a su destino con exceso de madurez o imperfecciones externas que modifiquen su forma. El consumidor puede ser atraído inicialmente por el color y forma de la piña, por lo que al cumplir con las características externas evitamos que la fruta sea rechazada.

Los controles de calidad automáticos actualmente están siendo usados en muchos países en productos agrícolas utilizando la visión artificial lo cual permite homogeneidad y estandarización de un producto por medio de adquisición de imágenes (Silva y Lizcano, 2012: p.32). El desarrollo de sistemas de visión artificial para clasificar frutas y verduras mediante características externas como color y forma es una manera no invasiva para verificar la calidad del producto (Chen y Sun, 1991: p.92). Se ha realizado aplicaciones en frutas como manzanas (Kleynen et al., 2005: p.41). Otros estudios indican la eficiencia en tiempo real para la clasificación de manzanas (Throop et al., 2005: p.289). Así como la clasificación de cítricos mediante identificación de defectos más comunes

(Blasco et al., 2007: p.384). Papas, aceitunas, fresas y café han sido exitosamente clasificadas por este sistema (Brosnan y Sun, 2004: p.9).

Los sistemas de visión artificial son herramientas útiles para una amplia gama de industrias. Estos sistemas permiten analizar imágenes o video y realizar tareas de clasificación y etiquetado (Rouhiainen, 2018, p.21). La visión artificial consiste en la deducción automática de la estructura de un mundo tridimensional a partir de una o varias imágenes bidimensionales (Alegre et al., 2016: p.11). La visión artificial extrae información del mundo a partir de imágenes, analizando contraste, colores, formas entre otros parámetros (Jiménez et al., 2015: p.179). Su campo de aplicación es amplio debido a que se acopla casi a cualquier proceso.

La visión artificial en el Ecuador ha sido utilizada para traducir el lenguaje de señas a texto partiendo de imágenes para elaborar una base de datos para posterior ser comparadas con sus respectivas asignaciones de letras (Chiguano y Moreno, 2011: p.96). En el caso del cacao ha sido útil para determinar el grado de fermentación del grano (Negrete y Llaguno, 2017: p.22). Las técnicas de visión artificial se han aplicado en procesos donde se requiere precisión. Un sistema automático de detección y perforación de marcas en láminas de PVC se desarrolló mediante estas técnicas (Viteri, 2016, p.2). Para la clasificación de frutas como: fresas, moras y uvillas reconociendo exitosamente las características necesarias para seleccionar la fruta (Constante y Gordón, 2015: p.70). En la ciudad de Riobamba se han desarrollado trabajos con técnicas de visión artificial en diferentes áreas. Trabajos como el control motorizado de una silla de ruedas mediante la pupila del ojo humano (Llanga et al., 2018: p.679). El control de un vehículo eléctrico por el robot bípedo humanoide NAO arrojando resultados exitosos (Carranco, 2018, p.5). En el sector agrícola se desarrolló un proyecto que está diseñado para plantaciones de brócoli (Bautista, 2018, p.2). Este proyecto no solo se limita al brócoli ya que puede ser usado para cualquier otra plantación con excelentes resultados.

La visión artificial es muy confiable para clasificar productos que cumplan con características deseadas. Por tal razón se utilizará una cámara que procesará imágenes que permitirá clasificar piñas asegurando homogeneidad y cumplimiento de estándares de calidad. Mediante la aplicación de la visión artificial se podrá distinguir la fruta apta para el transporte sin alterar sus características internas o externas. Las técnicas de visión artificial disminuirán notablemente errores al clasificar y aumentan la velocidad de inspección del producto.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

En el Ecuador los productos agrícolas se han consolidado como el pilar de las exportaciones no petroleras. Llevando a que estas se dividan en dos grupos, productos tradicionales y no tradicionales. En el primer grupo encontramos el cacao, banano, café, camarón. En el segundo se encuentran los que se han incorporado en los últimos años a los mercados internacionales, como son: flores, frutas tropicales (granadilla, pitahaya, maracuyá), piñas, sombreros de paja toquilla, maderas, entre otros. La piña es un producto que desde el año 2014 ha ido aumentando su tasa de exportación anual cuyo dato actualmente es del 18 % dentro de los productos no tradicionales (Verdugo y Andrade, 2018: pp.85-87).

Dado el crecimiento en la exportación de piñas también ha crecido su producción. Los agricultores han tenido que ponerse a la par de la demanda y asegurar un producto de calidad para el consumidor final, sea este nacional o extranjero. Por este motivo, la correcta clasificación de piñas es una etapa muy importante previa al transporte y distribución. Los sistemas como el de visión artificial permiten identificar características y defectos de un producto sin afectar la calidad y de manera confiable y han ido incrementando su utilización en el sector agrícola y alimenticio (Silva y Lizcano, 2012: p.31). Esta es una herramienta para quienes se desempeñan en estos sectores para el control de calidad en sus productos.

La piña es una fruta que se cultiva en zonas con clima tropical y con un rango de temperatura de 22°C y 30°C (Guido et al., 1983: p.1). Temperaturas fuera de este rango afectan notablemente el crecimiento, formación y maduración del producto. Debido al requerimiento de temperatura es evidente que no se la puede cultivar en cualquier zona tropical y es por ello que es una fruta que debe recorrer diferentes provincias del Ecuador para llegar a nuestros hogares. El producto debe ser clasificado de tal manera que la fruta salga del lugar donde la cultivan en buen estado, es decir, sin golpes que afecten la calidad de la fruta y además debe ser seleccionada cuidadosamente para que al llegar a su destino este apta para el consumo.

Debido a que no se tiene un control de cultivo unitario se cosechan piñas de un mismo tipo, pero pueden presentar una variación en sus características. Esta variación hace indispensable separar aquella piña que no cumpla con los requisitos para ser transportada. En este punto es de utilidad clasificar las piñas golpeadas, maduras y verdes para lo cual se utilizará visión artificial que nos permitirá identificar la piña según la condición antes indicadas de manera no invasiva y confiable. Los sistemas de visión artificial cuentan con alta demanda de objetividad, coherencia y eficiencia en el control de la calidad de los productos.

Teniendo en cuenta lo antes mencionado este trabajo propone un prototipo de máquina clasificadora de piñas de acuerdo al color y forma por medio de visión artificial utilizando una cámara. La separación se realizará de manera automática mediante la activación de cilindros neumáticos. El procedimiento de evaluación se implementará a través de un algoritmo de procesamiento de imágenes digitales en color. Se aplicará las etapas de adquisición de la imagen, segmentación, extracción de características y clasificación (Silva y Lizcano, 2012: p.31).

Aplicando conceptos de automatización y diseño se construirá un mecanismo de transporte y se seleccionará los diferentes componentes necesarios que formarán parte del prototipo de máquina clasificadora de piñas. Para la clasificación se utilizará el procesamiento de imágenes de piñas. El proyecto se realiza por la necesidad de máquinas clasificadoras de piñas que sean capaces de disminuir el tiempo de clasificación sin afectar interna ni externamente la fruta. En este trabajo se diseñará, construirá y automatizará un prototipo de mecanismo capaz de clasificar piñas de acuerdo con el color y forma usando visión artificial (una cámara).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Diseñar, construir y automatizar un prototipo de máquina clasificadora de piñas de acuerdo con el color y forma por medio de visión artificial utilizando una cámara.

1.2.2 Objetivos específicos

- Diseñar un prototipo de máquina clasificadora de piñas, apoyándose en software para su simulación mecánica.
- Construir un modelo físico y utilizable mediante técnicas tradicionales siguiendo lo establecido en el diseño.

- Implementar un algoritmo de selección de piñas por medio de visión por computadora para procesar imágenes digitales.
- Automatizar el prototipo mediante la utilización de sensores y dispositivos de control eléctrico y realizar pruebas experimentales de funcionamiento del prototipo.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Características y variedades de las piñas que se producen en el Ecuador

La piña es conocida como un fruto tropical de forma ovalada y/o cilíndrica, con grandes beneficios alimenticios y medicinales. Su rango de color va desde verde a anaranjado de acuerdo con la madurez de consumo. La pulpa es jugosa, carnosas de consistencia firme y sabor dulce ligeramente ácido. De todas las variedades que se cultivan en el Ecuador no todas son para exportación debido a los estándares de calidad elevados que exigen ciertos mercados internacionales. En el país la variedad de piña de mayor consumo es la Perolera también conocida como la Milagrera es la más cultivada en el territorio ecuatoriano. La piña Cayena Lisa conocida como Champaca o Hawaiana y la Golden Sweet o súper dulce conocida con la marca MD2 tienen gran acogida y demanda internacional (Avelino et al., 2009: pp.17-31).

2.1.1 Características geométricas, diámetro y peso

De acuerdo con la norma NTE INEN 1836 que establece el tamaño de la piña en el Ecuador determinados por el diámetro en mm y la masa expresada en g, en la tabla 1-2 se muestra la correlación entre diámetro y masa.

Tabla 1-2: Calibres de la piña.

Tamaño	Diámetro ecuatorial, D, en mm	Masa promedio, m, en g
Milagrera y Criolla		
Grande	$D \geq 130$	$m > 2000$
Mediana	$130 > D > 120$	$2000 > m > 1500$
Pequeña	$D < 120$	$700 \leq m < 1500$
Hawaiana Champaca F-153 y MD2		
Grande	$D > 120$	$m > 1500$
Mediana	$120 > D > 110$	$1500 > m > 1000$
Pequeña	$D < 110$	$500 \leq m < 1000$

Fuente: NTE INEN 1836, 2016

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

2.1.2 Estados de madurez de la piña.

El estado de madurez de la piña se relaciona directamente con su color. El color es una de las características exigidas para la exportación. La calibración y selección de la fruta es por su tamaño y color. Los colores 0 y 1 son aceptados para exportación a Europa y los colores 0, 1 y 2 para Estados Unidos. El color 0 es cuando la piña es verde claro en la base, el color 1 ligeramente amarillo en la base y el color 2 es amarillo 2-3 ojos (Saborío y Camacho, 1996: p.68). En la figura 1-2 se muestra los cambios de color con los diferentes estados de madurez.

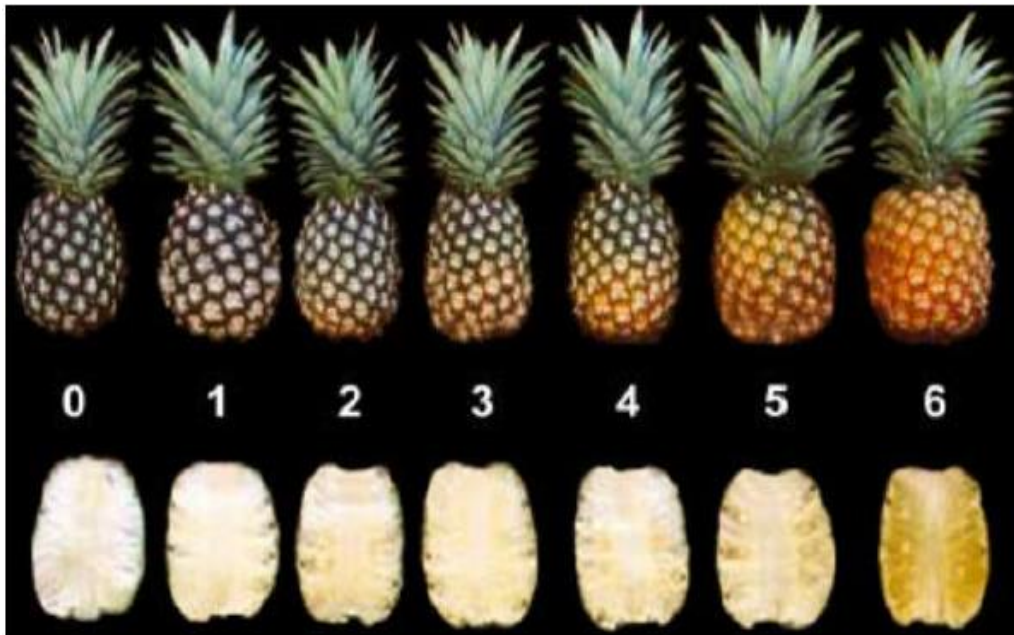


Figura 1-2. Estados de madurez de la piña

Fuente: (NTE INEN 1863, 2016)

Estado verde: del color 0 al color 1

Estado pintón: del color 2 al color 4

Estado maduro: del color 5 al color 6

2.2 Sistema de transporte

Existen varios tipos de sistema de transporte utilizados en la industria. Cada tipo presenta diferentes características para ser empleados. Una de las características a tomar en cuenta es la distancia a la que va a efectuarse el transporte. La capacidad de transporte que se requiere, así como la variedad en clase y granulometría de material que se pueda transportar. El mantenimiento, marcha y la descarga también son características importantes (Hernández, 1969, pp.11-24).

2.2.1 *Bandas transportadoras*

El transportador de banda consta del órgano de tracción ejecutado en forma de banda sin fin que es el elemento portador del transporte; de la estación accionadora que pone en movimiento el tambor impulsor; del tambor tensor extremo y el dispositivo tensor; de los rodillos de apoyo y libres. Todos estos elementos del transportador van montados en el bastidor metálico. En los transportadores de banda se emplean diferentes materiales para la banda: de tela cauchutada con tejido de algodón, sintéticas, de tela cauchutada con cuerdas de acero vulcanizadas dentro de ellas, de acero (Miravete y Larrodé, 1996: p.165).

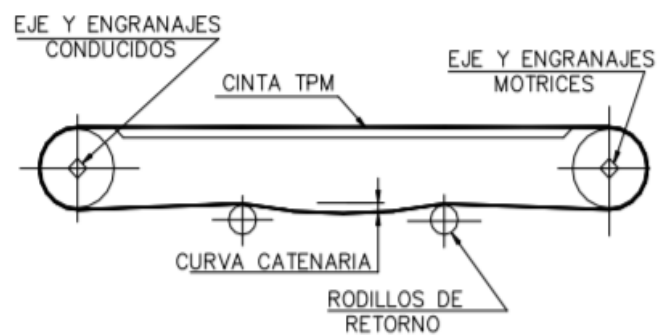


Figura 2-2. Banda transportadora

Fuente: (Incotec, 2014)

2.2.2 *Transportador de rodillos*

Este tipo de transportador utilizan rodillos que pueden ser metálicos o de otro material y de una estructura metálica. Sobre la estructura se soportan los rodillos que van ubicados con cierta cercanía, estos son elementos rodantes encargados de transportar los objetos o piezas de un lugar a otro (Sasari, 2018, p.33).



Figura 3-2. Transportador de rodillos

Fuente: (Hytrol Conveyor Company, 2020)

2.2.3 Métodos de diseño

Los métodos de diseño son procedimientos, técnicas y herramientas para diseñar. Representan distintas actividades que el diseñador utiliza y combina en el proceso general de diseño (Cross, 2002, p.43). Estas actividades de diseño consisten, en transformar una necesidad o idea, en una propuesta de producto y expresarlo en una forma que pueda ser materializado (Riba, 2002, p.70).

2.2.3.1 Ciclo básico de diseño

El ciclo básico de diseño contiene actividades que se dirigen desde los objetivos (las funciones) hacia los medios (el diseño). Además de que en sus pasos hay contenidos específicos (Riba, 2002, p.72).

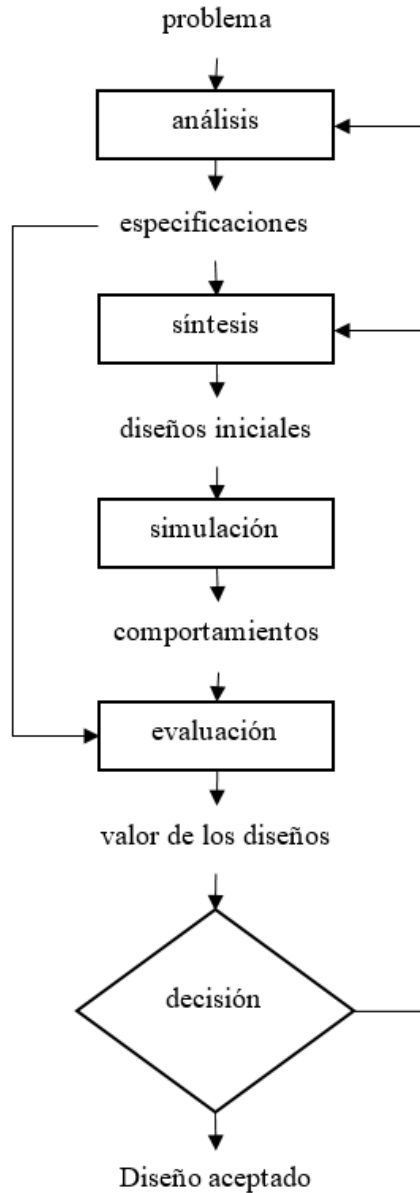


Figura 4-2. Ciclo básico de diseño

Fuente: (Riba, 2002)

2.3 Unidad neumática

La palabra neumática se refiere al estudio del movimiento del aire, la neumática se desarrolla en la industria en paralelo con los sensores y necesita de una estación de generación y preparación del aire comprimido constituida por un compresor de aire, un depósito, un sistema de preparación del aire (filtro, lubricador y regulador de presión), una red de tuberías para llegar al utilizador. Los sistemas de aire comprimido proporcionan un movimiento controlado con el empleo de cilindros y motores neumáticos. Se aplican en herramientas, válvulas de control, sistemas de

empaquetado, elevadores, herramientas de impacto, prensas neumáticas, robots industriales, frenos neumáticos, etc (Creus, 2007, p.9).

2.3.1 Cilindros neumáticos

Los cilindros neumáticos convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico generando un movimiento lineal. Según el principio de operación, los cilindros neumáticos se pueden dividir de simple acción y de doble acción (Creus, 2007, pp.15-16).

2.3.1.1 Cilindro de simple acción

En este tipo de cilindro el aire comprimido se alimenta solo en uno de los lados, produciendo trabajo solo en una dirección. Para el retorno del pistón se utiliza un resorte interconstruido o por la aplicación de una fuerza externa (Majumdar, 1998, p.89).

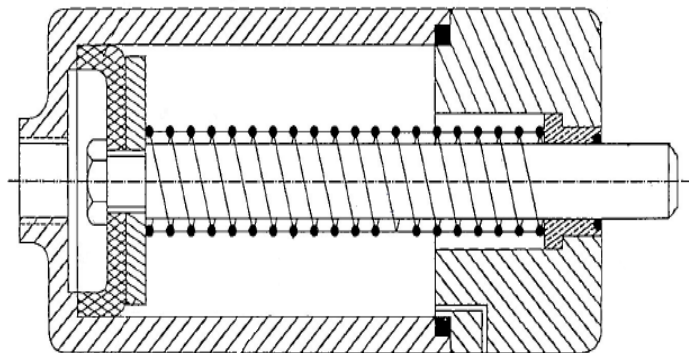


Figura 5-2. Cilindro de simple acción

Fuente: (Majumdar, 1998)

2.3.1.2 Cilindro de doble acción

En este tipo de cilindro la fuerza ejercida por el aire comprimido mueve el pistón en las dos direcciones, esto permite que el pistón realice trabajo no sólo en el movimiento de avance sino también en el de retorno. La longitud de la carrera no está limitada, pero se debe considerar el pandeo y la flexión. Estos factores se deben tomar en cuenta antes de seleccionar un diámetro de pistón y longitud de carrera (Majumdar, 1998, p.93).

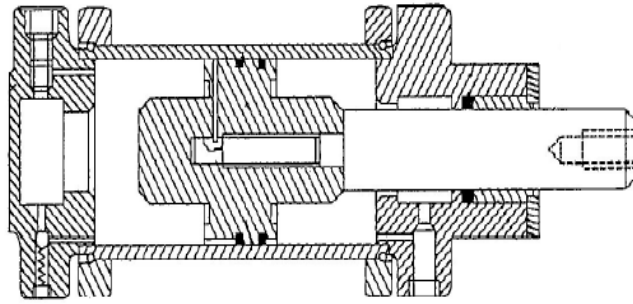


Figura 6-2. Cilindro de doble acción

Fuente: (Majumdar, 1998).

2.3.2 Tratamiento del aire

Es necesario someter el aire a un tratamiento final que lo haga apto para el consumo. El aire comprimido contiene ciertos contaminantes que pueden ser sólidos, líquidos y gaseosos. Por esto se instalan las conocidas unidades de mantenimiento que filtran el aire, decantan la humedad, regulan la presión y lubrican el aire usando aceite limpio finamente disperso en el gas (Serrano Nicolás, 2009, pp.86-87).

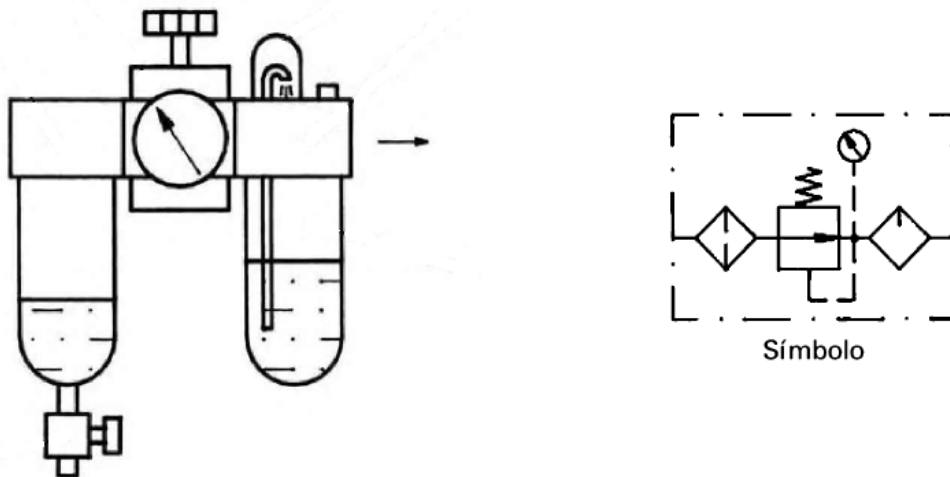


Figura 7-2. Unidad de mantenimiento

Fuente: (Serrano Nicolás, 2009)

2.3.3 Válvulas distribuidoras

Las válvulas distribuidoras son aquellas que dirigen el aire comprimido hacia varias vías ya sea en el arranque, la parada y el cambio del sentido del movimiento del pistón dentro del cilindro. Para su representación se utilizan símbolos que indican el número de posiciones y de vías. El número de posiciones está representado por el número de cuadrados yuxtapuestos y en su interior

se dibuja el esquema de funcionamiento. Las líneas representan el número de tuberías o de conductos (Creus, 2007, pp.52-53). En la Figura 7-2 se muestra una válvula de 5 vías y 2 posiciones.

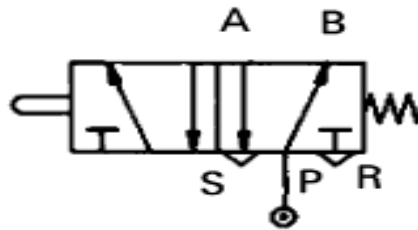


Figura 8-2. Válvula de 5 vías y 2 posiciones

Fuente: (Creus, 2007)

2.3.3.1 Electroválvula

Es una válvula neumática accionada por un electroimán llamado solenoide. Las electroválvulas de un solo solenoide al ser desexcitadas tienen el retorno del émbolo por muelle y se conocen como monoestables, las electroválvulas de doble solenoide se conocen como biestables, permiten que la válvula vaya de una posición a la otra mediante una señal eléctrica de impulso a la bobina opuesta (Creus, 2007, p.59). En la figura 8-2 se muestra una electroválvula de las mencionadas.



Figura 9-2. Válvula distribuidora 5/2 de simple bobina.

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

2.3.4 Tubos y racores

Los tubos y racores son elementos usados para unir los distintos componentes que integran un circuito neumático. En sí se trata de transportar aire a presión por el circuito, con pérdidas de presión mínimas y de una forma económica. Para disminuir las pérdidas en el diseño de tuberías es importante tomar en cuenta la mínima longitud de transporte, tubos con superficies internas lisas y diámetros suficientes de paso (Serrano Nicolás, 2009, p.233).

2.3.4.1 Tubos según el material

Existe una extensa gama de tubos para usos neumáticos, desde rígidos como el acero, cobre y latón, los flexibles como los de caucho con refuerzo de fibras diversas, de poliamida, los de poliuretano y los de teflón. Los más utilizados son los de poliamida o nilón (Serrano Nicolás, 2009, p.233).

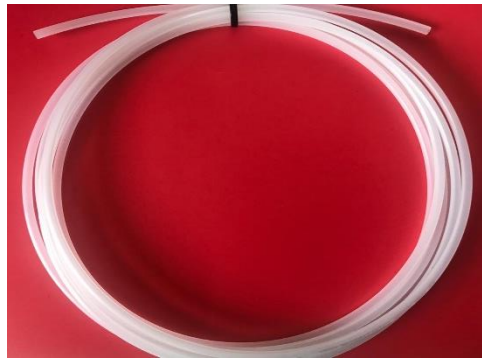


Figura 10-2. Tipos de tubos

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

2.3.4.2 Racores

Existe una extensísima gama de racores debido a sus diferentes formas, posibilidades de conexión y por los diversos materiales con los que pueden ser fabricados. Los materiales más frecuentes son acero, acero inoxidable, latón y materiales plásticos. En el mercado se encontrará de formas y tamaños suficientes para resolver cualquier problema de unión de tuberías (Serrano Nicolás, 2009, p. 239).

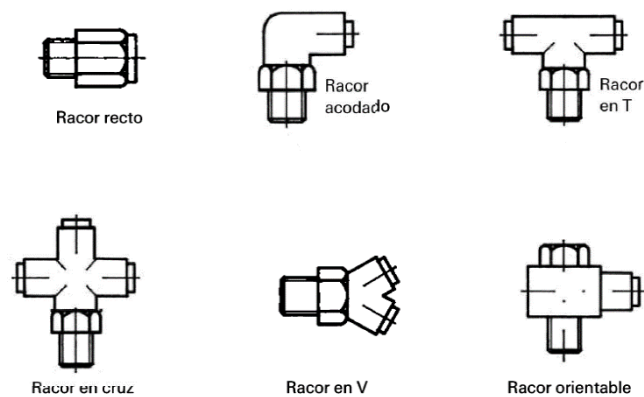


Figura 11-2. Tipos de racores

Fuente: (Serrano Nicolás, 2009)

2.4 Automatización y control

2.4.1 *Visión artificial*

La visión artificial tiene como finalidad la extracción de información del mundo físico. Un sistema de Visión Artificial actúa sobre una representación de una realidad que le proporciona información sobre brillo, colores, formas. Estas representaciones pueden ser: imágenes estáticas, escenas tridimensionales o imágenes en movimiento (Serrano et al., 2018: p.16).

2.4.1.1 *Imagen*

Una imagen es una representación visual de un objeto, una persona o una escena producida por un dispositivo óptico como un espejo, una lente o una cámara (Marques, 2011, p.5). Una imagen es una representación bidimensional de una escena del mundo tridimensional, es el resultado de la adquisición de una señal mediante un sensor, que transforma la información del espectro electromagnético en codificaciones numéricas (Alegre et al., 2016: p.11).

2.4.1.2 *Iluminación*

La iluminación no controlada del entorno tiene como resultado imágenes con bajo contraste, sombras y destellos que no son aceptables. Un sistema de iluminación debe proporcionar luz a la escena de este modo la imagen que se obtiene sea favorable para el posterior proceso sobre la misma, de tal forma que se mantenga e incluso se mejore la información necesaria para la detección y extracción de los objetos y sus características de interés (Alegre et al., 2016: p.12).

2.4.1.3 *Tipos de iluminación artificial*

Existen diferentes tipos de iluminación con características propias. En la tabla 2-2 se muestra los tipos de iluminación.

Tabla 2-2: Características de los tipos de iluminación artificial.

Tipo de iluminación.	Ventajas.	Inconvenientes.
Incandescente/ Halógena	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo coste y fáciles de utilizar. • Permiten ajustar la intensidad de luz. • Oscila 50 veces por segundo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Desprenden una gran cantidad de calor. • Su espectro se centra en el rojo siendo deficiente para azules verdes o amarillos.
Fluorescentes	<ul style="list-style-type: none"> • Se calienta menos que el incandescente. • Su espectro se centra en los colores del ojo humano. • La duración está estimada en torno a 10000 horas. 	<ul style="list-style-type: none"> • La longitud de onda de la luz cambia con el uso. • Para que sean validos en aplicaciones industriales tienen que trabajar a una frecuencia del orden de 25 KHz
Led	<ul style="list-style-type: none"> • Gran durabilidad (100000 horas) • Posibilidad de encender y apagar solamente en el tiempo de captura de la imagen. • Fácil elección de la longitud de onda de la fuente de luz dentro del espectro visible e infrarrojo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Precio
Láser	<ul style="list-style-type: none"> • Se utilizan para generar luz estructurada con forma diversas tales como líneas, líneas paralelas, líneas cruzadas, retículas, puntos y matriz de puntos. Para generar las formas se utilizan ópticas específicas. • Están disponibles en multitud de longitud de ondas desde el visible al infrarrojo cercano. • Dado que el ojo humano es muy sensible al verde, un diodo láser en esta longitud de onda genera un mejor contraste en los bordes especialmente sobre superficies rojas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Precio

Tabla 2-2: (continuación) Características de los tipos de iluminación artificial

Tipo de iluminación.	Ventajas.	Inconvenientes.
Fibra óptica	<ul style="list-style-type: none"> • Se utiliza para llevar la luz a cualquier punto distante de la fuente de luz. • Permite iluminar pequeñas áreas. • Proporciona luz fría, es decir, no se calienta. 	<ul style="list-style-type: none"> • Precio • Solo sirve para iluminar pequeñas áreas.

Fuente: (Alegre et al., 2016: p.13)

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

2.4.1.4 Técnicas de iluminación

Para que una aplicación de visión tenga éxito es importante la iluminación que se utilice, por esto es necesario utilizar técnicas de iluminación adecuadas que permitan obtener una imagen correcta en la que los píxeles que representa los objetos de interés tengan características de luminosidad parecida, además que no aparezcan zonas saturadas o sombras que oculten información dentro de la imagen y causen falsas detecciones de bordes. Una iluminación inadecuada puede resultar en una baja relación señal/ruido, provocando una imagen con píxeles ruidosos, así mismo una iluminación no uniforme puede afectar las operaciones de segmentación. Para determinar la cantidad de luz que se requiere es importante tomar en cuenta el tiempo de exposición, la sensibilidad de la cámara y el área (Alegre et al., 2016: p.14).

Tabla 3-2: Técnicas de iluminación

Técnica	Descripción	Pros	Contras
Direccional	La iluminación de la escena se realiza con uno o varios puntos de luz en que el ángulo de incidencia no es paralelo ni perpendicular al eje de la cámara.	<ul style="list-style-type: none"> • Flexible • Adaptable • Barata 	<ul style="list-style-type: none"> • Produce brillos • Genera sombras
Lateral o darkfield	Se utiliza luz direccional en la que el ángulo de incidencia es paralelo a la superficie a inspeccionar y perpendicular al eje de la cámara.	<ul style="list-style-type: none"> • Resalta la textura de la superficie del objeto. • Descubre grietas, burbujas si es transparente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aparecen zonas quemadas y sombras. • Poco contraste del borde.

Tabla 3-2: (continuación) Técnicas de iluminación

Técnica	Descripción	Pros	Contras
Difusa	Iluminando la escena de forma indirecta se consigue una luz suave.	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce brillos. • Reduce sombras. • Iluminación suave. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de iluminación de gran tamaño. • Dificultad para encajar en pequeños espacios. • Las características de la superficie se difuminan.
Anillo	Luz direccional con ángulo de incidencia en la misma dirección que el eje de la cámara. La lente se coloca en el centro del anillo.	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce sombras. • Se puede conseguir una iluminación suave si se utiliza un filtro en el anillo de luz. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reflejos con forma del anillo circular en la escena.
Difusa axial	Luz difusa alineada con el eje óptico de la cámara. Se utiliza un cristal polarizado.	<ul style="list-style-type: none"> • No existen sombras. • Iluminación suave. 	<ul style="list-style-type: none"> • Poca intensidad.
Estructurada	Se proyecta un patrón en la escena tipo línea, matriz de puntos o círculos generados por láser.	<ul style="list-style-type: none"> • Se obtiene la estructura del objeto. 	<ul style="list-style-type: none"> • No se distinguen colores.
Contraluz	El objeto a inspeccionar se sitúa entre la fuente de luz y la cámara.	<ul style="list-style-type: none"> • Se obtiene una imagen del borde bien definida. 	<ul style="list-style-type: none"> • Elimina los detalles de la superficie.

Fuente: (Alegre et al., 2016: p.16)

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

2.4.1.5 Ópticas

Las ópticas son aquellas que permiten transmitir la luz del sensor de la cámara de forma controlada para obtener una imagen enfocada del objeto, la lente apropiada se determina tomando

en cuenta parámetros como: tamaño del sensor de la cámara, campo de visión y distancia entre la cámara y el objeto (Nogué y Antiga, 2012: p.16).

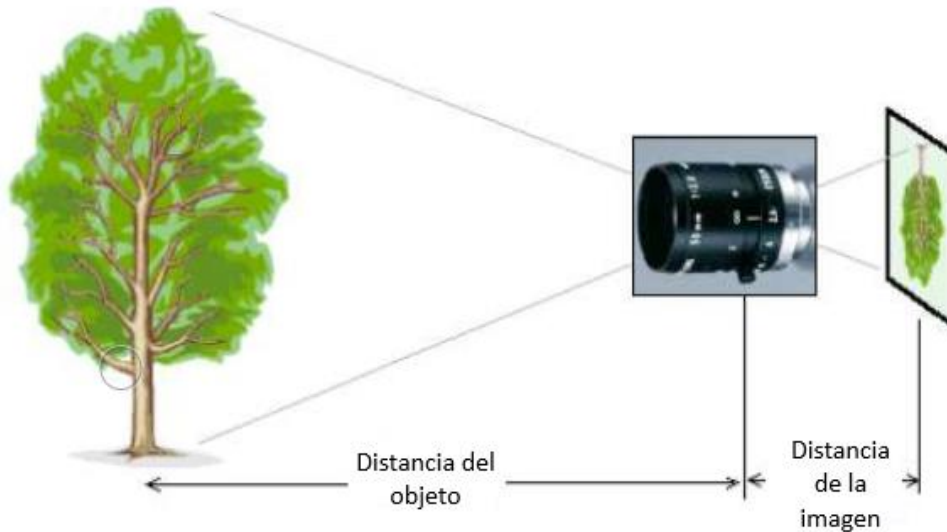


Figura 12-2. Distancia entre la cámara y el objeto

Fuente: (Nogué y Antiga, 2012)

2.4.1.6 Distancia focal

La distancia focal es la medida en mm relativa a la distancia entre la lente y el elemento sensor, esta distancia focal puede ser fija o variable. La imagen se invierte debido a la lente del objetivo (Nogué y Antiga, 2012: p.16).

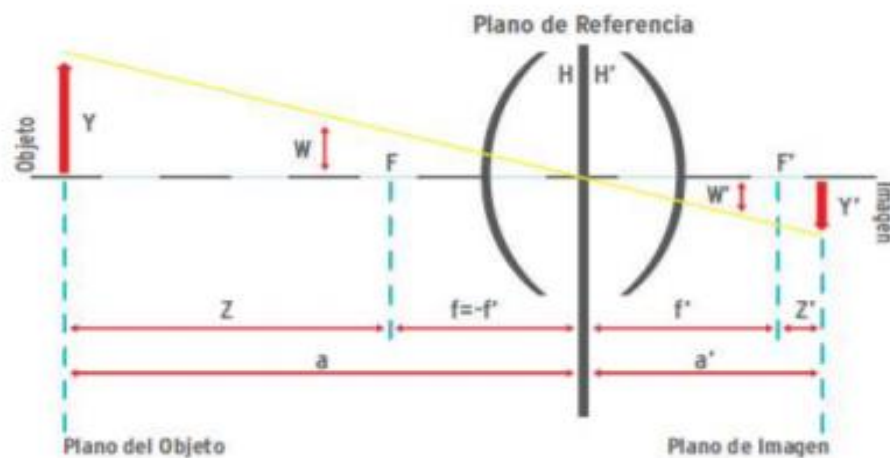


Figura 13-2. Distancia focal

Fuente: (Nogué y Antiga, 2012)

2.4.2 Etapas de un sistema de visión artificial

2.4.2.1 Adquisición de imágenes

Al digitalizar la imagen bidimensional queda constituida por un conjunto de elementos denominados píxeles. Cada píxel tiene información sobre una región elemental de la imagen (Serrano et al., 2018: p.21). Existen dos formas más comunes de almacenar el contenido de la imagen en color, una son representaciones RGB, en las que cada píxel generalmente representado por un número de 24 bits que contiene la cantidad de rojo (R), verde (G), y componentes azules (B), y la otra es representación indexada, donde una matriz 2D contiene índices a una paleta de colores (Marques, 2011, p.25).

2.4.2.2 Pre-procesamiento

El pre-procesamiento consiste en operaciones y transformaciones que se aplican sobre las imágenes digitales. Tiene como objeto mejorar o destacar algún elemento de las imágenes, para que en las siguientes etapas sea más factible la detección de las características de interés (Serrano et al., 2018: p.55). Los procesos por lo general se llevan a cabo teniendo en cuenta los valores de píxeles en el espacio de color en el que están definido. En donde para especificar un color en términos de tres o más características particulares, existen algunos métodos denominados espacios de color o modelos de color (García et al., 2015: p.99).

RGB es un modelo en el cual una imagen consta de tres planos o canales de imagen independientes: rojo, verde y azul (y puede o no, un cuarto canal para la transparencia, denominado canal alfa). En el modelo de escala de grises, el valor de cada píxel es representado como un valor único que tiene solo la información de intensidad, formando una imagen exclusivamente a partir de diferentes tonos de gris. El modelo de color HSV se representan el tono H el cual da una medida de la composición espectral de un color, la saturación S que proporciona la luz pura de la longitud de onda dominante, determinan la cantidad de blanco que contiene un color, y V que da el brillo (García et al., 2015: pp.100-110).

2.4.2.3 Segmentación

La segmentación es un proceso que consiste en dividir una imagen digital en regiones homogéneas con respecto a una o más características que pueden ser el brillo o el color. En este proceso se obtiene otra imagen en la que cada píxel tiene asignada una etiqueta distintiva del objeto al que pertenece (Serrano et al., 2018: p.99).

2.4.2.4 Reconocimiento o clasificación

En esta etapa se pretende distinguir los objetos segmentados, al ser esta la etapa final se cuenta con los análisis de ciertas características que se establecieron previamente para diferenciarlos. Determinadas las características discriminantes, se procede a la obtención del patrón del objeto. Después se determina el grado de pertenencia del patrón a cada una de las clases, asignando el objeto a las clases con las que el grado de semejanza sea mayor (Serrano et al., 2018: p.138).

2.4.3 Sistema embebido

Este sistema podría definirse como un sistema basado en un procesador diseñado para realizar algunas funciones dedicadas, que puede ser en tiempo real. Los sistemas integrados en su mayoría se construyen alrededor de unidades de microcontroladores (cuya abreviación MCU) o procesadores de señal digital (con sus siglas DSP). Algunos sistemas son simples, con pocas entradas y salidas, otras son más complejas y están interconectadas a través de una comunicación red con otros sistemas integrados (Forrai, 2013, pp.1-2).

2.4.3.1 Raspberry Pi

Raspberry Pi ha desempeñado un papel tanto como una computadora basada en Linux de muy bajo costo como una plataforma para la informática integrada. Existen varios modelos de Raspberry Pi y cuenta con su propio sistema operativo denominado Raspbian (Monk, 2016). La Raspberry Pi es una computadora de placa única del tamaño de una tarjeta de crédito. A pesar de su pequeño tamaño, es un dispositivo muy capaz. El Pi ejecuta una versión de Linux que se personalizó para funcionar en el procesador ARM que lo impulsa. Puede funcionar con sensores y dispositivos externos (Cicolani, 2018).

2.4.3.2 Sensores

Un sensor es un dispositivo que, a partir de la energía del medio donde se mide, da una señal de salida transducible que es en función de la variable medida (Pallás, 2003, p.3). El sensor no solo cambia el dominio de la variable física medida, sino que además la salida del sensor será un dato útil para un sistema de medición. De este modo, un sensor se define como un dispositivo de entrada que provee una salida manipulable de la variable física medida (Corona et al., 2014: p.17).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Diseño conceptual del prototipo de máquina clasificadora de piñas

El prototipo de máquina clasificadora de piñas transportará la fruta hasta una distancia en la cual se encuentre la cámara que tomará una fotografía para lo cual se utilizará sensores para detectar su presencia en el punto exacto. Para esto debe cumplir ciertas condiciones como son velocidad y potencia en el sistema. El prototipo constará de un control automatizado el cual permitirá la clasificación de la fruta según su condición. Para la clasificación se implementará un sistema neumático que separará la fruta del transportador. De esta manera se desarrollará la metodología para realizar el proceso de diseño del prototipo partiendo del estudio del estado del arte y de la metodología del diseño conceptual.

3.1.1 *Determinación de las especificaciones y requerimientos de la máquina*

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.

3.1.2 *Desarrollo de la función de calidad (QFD)*

Para establecer el diseño adecuado del prototipo de máquina clasificadora de piñas se realizará inicialmente el despliegue de la casa de la calidad. A partir del cual se determinará los requerimientos establecidos por parte del cliente (voz del usuario) y el análisis técnico (voz del ingeniero). El resultado será una máquina que cumpla las necesidades de una manera eficiente y que tenga una buena vida útil.

3.1.2.1 Identificación y evaluación de las necesidades del usuario (voz del usuario)

El diseño, construcción y automatización del prototipo de máquina clasificadora de piñas resulta de una necesidad de optimizar el proceso de clasificación. Disminuyendo el tiempo y asegurar homogeneidad en la fruta clasificada. Todo este proceso sin dañar la fruta que posteriormente será comercializada. A continuación, se mencionan los requerimientos y características para el prototipo de máquina clasificadora de piñas por medio de visión artificial:

- Capacidad de selección.
- Seguridad e higiene en el proceso.
- Fácil de operar.
- Fácil mantenimiento.
- Fácil ingreso y salida de la fruta.
- Durabilidad de los materiales.
- Bajo costo.
- Funcione con motor eléctrico.
- Estabilidad.

3.1.2.2 Voz del ingeniero

En esta sección se traduce las necesidades, características y requerimientos del usuario a especificaciones técnicas.

- Eficiencia
- Seguridad e higiene en el proceso.
- Confort y Ergonomía.
- Mantenimiento.
- Dimensiones.
- Resistencia de los materiales.
- Costo accesible.
- Consumo de energía.
- Estabilidad estructural.

3.1.2.3 Despliegue de la casa de la calidad

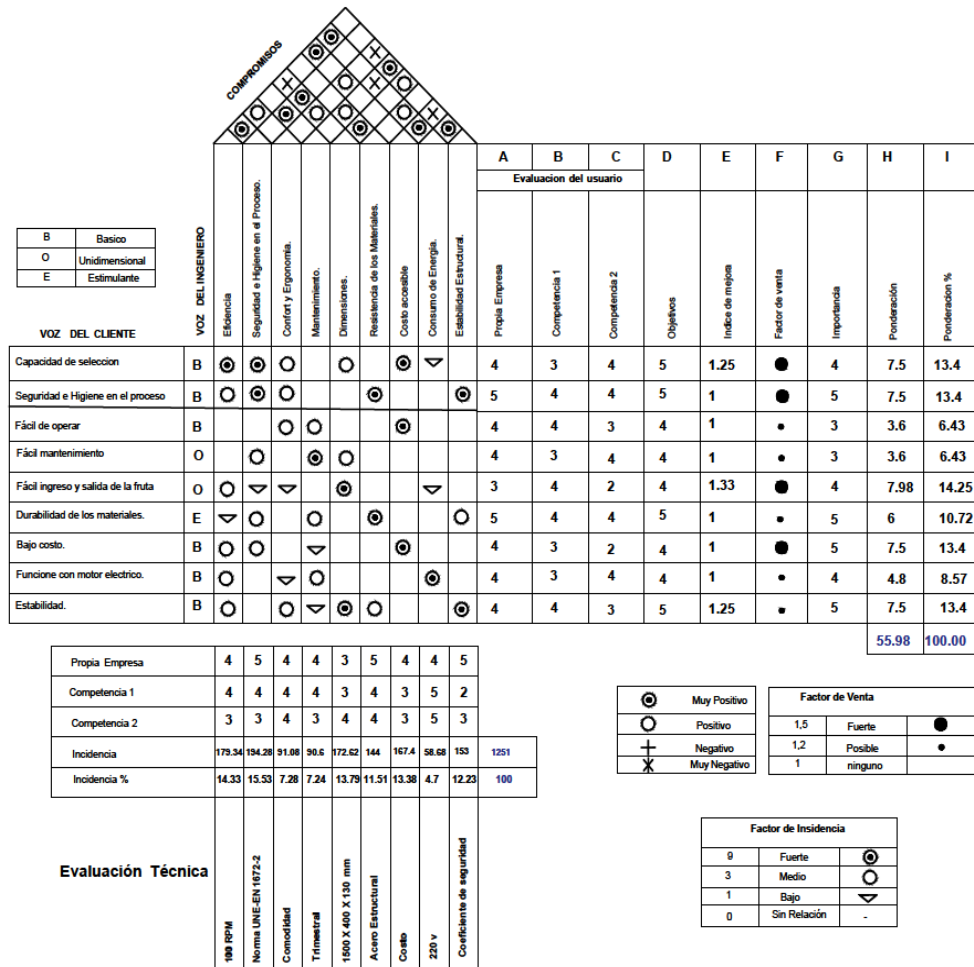


Figura 1-3. Matriz QFD (Casa de la calidad)

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

El despliegue de la casa de la calidad nos permitirá diseñar el prototipo de máquina clasificadora de piñas de tal manera que se adapte a los gustos y necesidades del usuario. Conociendo que características debemos añadir y cuales no son necesarias. Los resultados con mayor consideración para el diseño del prototipo de máquina se resumen a continuación:

- Eficiencia: La máquina debe ser capaz de realizar el proceso de manera rápida y correcta.
- Seguridad e higiene en el proceso: El producto no debe ser contaminado ni afectado sus características de ninguna manera.
- Dimensiones: Las dimensiones deben ser adecuadas para que permita el ingreso y salida de la piña y además que ocupe el menor espacio posible.
- Costo: En el diseño se debe optimizar la mayor cantidad de recursos teniendo en cuenta el costo final del prototipo.

- Mantenimiento: El prototipo de máquina debe contar con facilidad de mantenimiento en todos sus componentes.

3.1.3 *Análisis funcional*

3.1.3.1 *Nivel 0*

En el nivel cero se encuentra la función básica que realizará el prototipo de máquina clasificadora de piñas representado en un solo bloque como se muestra a continuación:



Figura 2-3. Función principal de la máquina.

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.1.3.2 *Nivel 1*

En el nivel 1 se encuentra detallado los módulos de funcionamiento del prototipo de máquina clasificadora de piñas, a partir de los cuales se definirán varias alternativas de diseño.

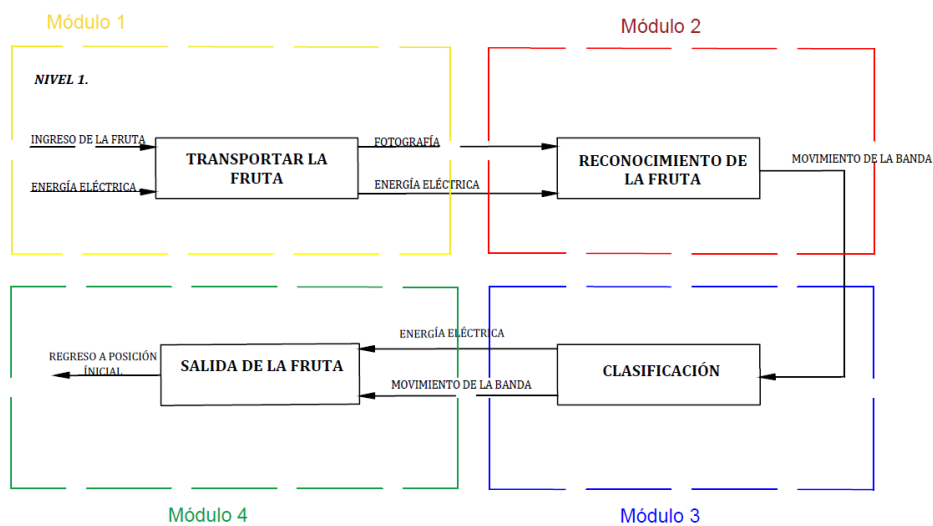


Figura 3-3. Módulos de funcionamiento.

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Los módulos definidos para el prototipo de máquina clasificadora de piñas son:

- Módulo I: Transportar la fruta.
- Módulo II: Reconocimiento de la fruta.

- Módulo III: Clasificación.
- Módulo IV: Salida de la fruta.

3.1.4 Desarrollo de las alternativas de solución para el prototipo de máquina

3.1.4.1 Transportar la fruta

Para transportar la fruta se debe considerar alternativas en las cuales por el movimiento la fruta no sufra ningún daño. El traslado hacia el sistema de clasificación debe realizarse de manera segura e higiénica, sin ningún tipo de contaminación. El mecanismo de clasificación se debe acoplar al de transporte para evitar sobredimensionamientos. Los materiales con los que estará construido no deben afectar ni contaminar la fruta. Los transportadores industriales tienen muchos diseños y usos diferentes a continuación se describen las siguientes alternativas.

- Bandas transportadoras
 - Transportador de rodillos
- Bandas transportadoras: Un transportador de banda es uno de los tipos de transportador más simple y comunes disponibles.



Figura 4-3. Transportar la fruta por banda.

Fuente: (Hytrol Conveyor Company, 2020)

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

Banda Transportadora	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • La fruta no se transporta con movimientos bruscos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cambio de la banda debido al desgaste.
<ul style="list-style-type: none"> • Buena capacidad de transporte. 	<ul style="list-style-type: none"> • Difícil limpieza en caso de existir frutas con exceso de maduración.

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

- Transportador de rodillos: Un transportador de rodillos es uno de los tipos de transportador que mayor resistencia presenta por lo cual es muy usado en la industria.



Figura 5-3. Transportar la fruta por rodillos.

Fuente: (Hytrol Conveyor Company, 2020)

Tabla 2-3: Ventajas y desventajas del transportador de rodillos

Transportador de Rodillos	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Mayor capacidad de carga. 	<ul style="list-style-type: none"> • Difícil desmontaje.
<ul style="list-style-type: none"> • Fácil funcionamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo de fabricación.
<ul style="list-style-type: none"> • Mayor durabilidad. 	

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.1.4.2 Reconocimiento de la fruta

Para adquirir imágenes de la piña que serán reconocida se va a necesitar una cámara. Para seleccionar la cámara debe cumplir requisitos adecuados, capturar detalles importantes en la imagen. Las cámaras tienen muchos diseños y usos diferentes a continuación se describen las siguientes alternativas.

- Cámara fotográfica
- Cámara Raspberry Pi

- Cámara fotográfica: Este tipo de cámaras presentan diferentes accesorios y software que ayudan para mejorar las imágenes captadas de acuerdo a como será utilizada.



Figura 6-3. Modelo de cámara.

Fuente: (Alegre et al., 2016)

Tabla 3-3: Ventajas y desventajas de la cámara fotográfica

Cámara Fotográfica	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Accesorios que mejoran la calidad de imagen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo.
<ul style="list-style-type: none"> • Fácil montaje. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tamaño.

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

- Cámara Raspberry Pi: Este tipo de cámara es propia para Raspberry, captura imágenes con buena definición manteniendo el color.

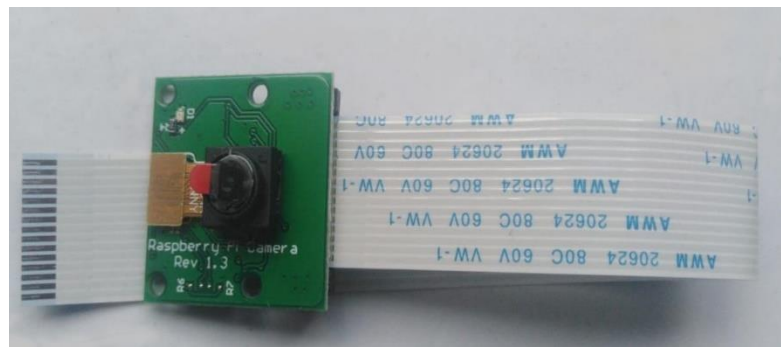


Figura 7-3. Módulo cámara Raspberry Pi

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Tabla 4-3: Ventajas y desventajas de la cámara Raspberry Pi

Cámara Raspberry Pi	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Tamaño y Peso. 	<ul style="list-style-type: none"> • Frágil.
<ul style="list-style-type: none"> • Fácil montaje. 	

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.1.4.3 Clasificación

Para realizar la clasificación de la fruta se necesita un mecanismo que la separe del sistema de transporte, el cual debe tener la fuerza necesaria para empujar la fruta de su trayectoria. Esta fuerza es equivalente al peso de la piña, por lo cual como única alternativa se presenta un sistema de actuadores neumáticos.



Figura 8-3. Tipos de cilindros neumáticos.

Fuente: (VPC PNEUMATIC, 2017)

Tabla 5-3: Ventajas y desventajas del sistema neumático

Sistema Neumático	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Bajo costo de sus componentes.	<ul style="list-style-type: none">• Posibles fugas que afectan el rendimiento.
<ul style="list-style-type: none">• Fácil implementación.	
<ul style="list-style-type: none">• Fácil control de presión y fuerza.	

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.1.4.4 Salida de la fruta

Para la salida de la fruta se colocarán bandejas al lado derecho e izquierdo del sistema de transporte para que una vez que sea empujada la piña, esta caiga por gravedad por la bandeja que será diseñada con un ángulo de inclinación y una altura adecuada evitando que la fruta se dañe.

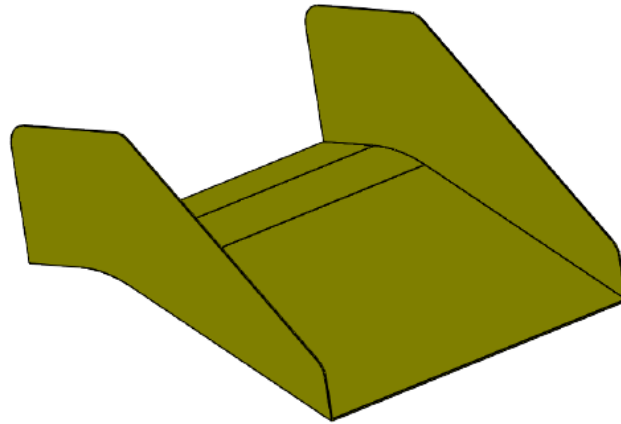


Figura 9-3. Bandeja de salida.

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Tabla 6-3: Ventajas y desventajas de la bandeja

Bandeja	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Fácil construcción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ocupan espacio aumentando el tamaño de la máquina.
<ul style="list-style-type: none"> • Fácil montaje y desmontaje. 	

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.1.5 *Alternativas de solución*

Para obtener las alternativas de solución se combinan las alternativas de los módulos indicados anteriormente. La que se seleccionara es aquella solución cuyos componentes se acoplen permitiendo un óptimo rendimiento del prototipo de máquina clasificadora de piñas y que además cumpla con los requerimientos indicados en la casa de la calidad. En la figura 10-3 se muestran las alternativas de solución para el diseño del prototipo.

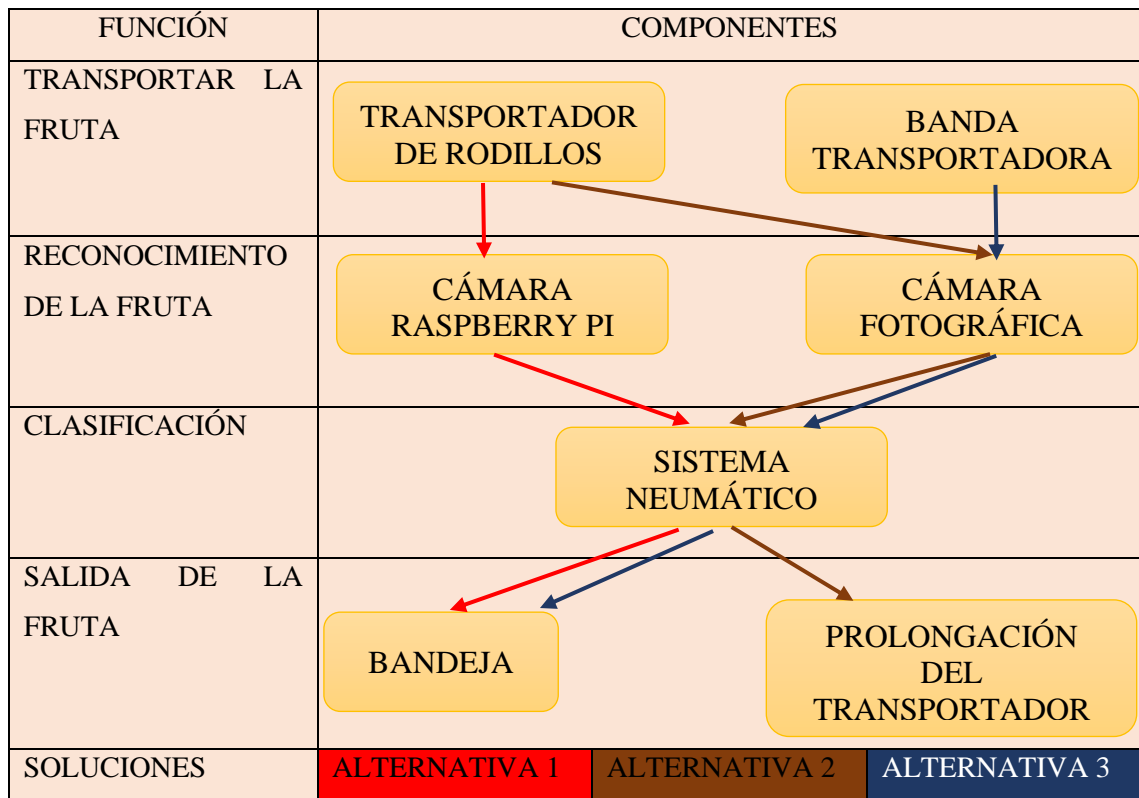


Figura 10-3. Matriz morfológica

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.1.5.1 Alternativas de solución para cada módulo

En la alternativa 1 el sistema de transporte se realiza por medio de un transportador de rodillos, para el reconocimiento de la fruta se utilizará una cámara Raspberry Pi y la clasificación por medio de actuadores neumáticos. La salida de la fruta es mediante bandejas ubicadas a la izquierda y derecha del transportador de rodillos.

Tabla 7-3: Componentes de la alternativa 1

OPERACIÓN	ALTERNATIVA 1
TRANSPORTAR LA FRUTA	TRANSPORTADOR DE RODILLOS
RECONOCIMIENTO DE LA FRUTA	CÁMARA RASPBERRY
CLASIFICACIÓN	SISTEMA NEUMÁTICO
SALIDA DE LA FRUTA	BANDEJA

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Ventajas:

- Durabilidad.
- Seguridad e higiene en el proceso.

Desventajas:

- Costo.
- Aumento en las dimensiones del prototipo debido a las bandejas.

En la alternativa 2 el sistema de transporte es por medio del transportador de rodillos, para el reconocimiento de la fruta se considera una cámara fotográfica existente en el mercado nacional y la clasificación por medio de la implementación de un sistema neumático. La salida de la fruta se considera una prolongación del transportador de rodillos en forma de Y.

Tabla 8-3: Componentes de la alternativa 2

OPERACIÓN	ALTERNATIVA 2
TRANSPORTAR LA FRUTA	TRANSPORTADOR DE RODILLOS
RECONOCIMIENTO DE LA FRUTA	CÁMARA FOTOGRAFICA
CLASIFICACIÓN	SISTEMA NEUMÁTICO
SALIDA DE LA FRUTA	PROLONGACIÓN DEL TRANSPORTADOR DE RODILLOS

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Ventajas:

- Durabilidad.
- Seguridad e higiene.

Desventajas:

- Mayor costo.
- Mayor longitud del prototipo debido a la prolongación del transportador.
- Diseñar un acople para la cámara fotográfica

En la alternativa 3 el sistema de transporte es por medio de la banda transportadora, el reconocimiento de la fruta es por medio de una cámara fotográfica existente en el mercado nacional y para la clasificación se usará actuadores neumáticos. La salida de la fruta se realizará por medio de bandejas a cada lado.

Tabla 9-3: Componentes de la alternativa 3

OPERACIÓN	ALTERNATIVA 3
TRANSPORTAR LA FRUTA	BANDA TRANSPORTADORA
RECONOCIMIENTO DE LA FRUTA	CÁMARA FOTOGRAFICA
CLASIFICACIÓN	SISTEMA NEUMÁTICO
SALIDA DE LA FRUTA	BANDEJA

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Ventajas:

- Costo.
- Fácil montaje.

Desventajas:

- Difícil limpieza de la banda.
- Diseñar un acople para la cámara fotográfica.
- Cambio de la banda debido al desgaste.

3.1.6 Criterios de evaluación del módulo

Los criterios de valoración que se consideraron más determinantes son:

- Eficiencia
- Higiene
- Mantenimiento
- Costo

A continuación, se muestra en la tabla 10-3 la evaluación del peso específico de cada criterio

Tabla 10-3: Evaluación del peso específico de cada criterio

Criterio	Eficiencia	Higiene	Mantenimiento	Costo	$\Sigma+1$	Ponderación
Eficiencia		0.5	1	1	3.5	0.35
Higiene	0.5		1	1	3.5	0.35
Mantenimiento	0	0		0.5	1.5	0.15
Costo	0	0	0.5		1.5	0.15
					10	1

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

A continuación, en la tabla 11-3 se realiza la evaluación del peso específico del criterio Eficiencia

Tabla 11-3: Evaluación de soluciones respecto del criterio Eficiencia

Eficiencia	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0.5
Alternativa 2	0		0	1	0.17
Alternativa 3	0	1		2	0.33
				6	1

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

A continuación, en la tabla 12-3 se realiza la evaluación del peso específico del criterio Higiene.

Tabla 12-3: Evaluación de soluciones respecto del criterio Higiene

Higiene	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0.5	1	2.5	0.42
Alternativa 2	0.5		1	2.5	0.42
Alternativa 3	0	0		1	0.17
				6	1

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

En la tabla 13-3 se realiza la evaluación del peso específico del criterio Mantenimiento.

Tabla 13-3: Evaluación de soluciones respecto del criterio Mantenimiento

Mantenimiento	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0.5
Alternativa 2	0		1	2	0.33
Alternativa 3	0	0		1	0.17
				6	1

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

A continuación, se realiza la evaluación del peso específico del criterio Costo.

Tabla 14-3: Evaluación de soluciones respecto del criterio Costo

Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	0	2	0.33
Alternativa 2	0		0	1	0.17
Alternativa 3	1	1		3	0.5
				6	1

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

En la tabla 15-3, se presenta los resultados obtenidos luego de realizar la evaluación de cada criterio y posterior la sumatoria de cada una de las soluciones que se plantearon. Se muestra también la solución más favorable que cumple con los requerimientos técnicos y del usuario.

Tabla 15-3: Soluciones de las alternativas

Alternativa	Eficiencia	Higiene	Mantenimiento	Costo	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0.175	0.147	0.075	0.0495	0.4465	1
Alternativa 2	0.0595	0.147	0.0495	0.0255	0.2815	2
Alternativa 3	0.1155	0.0595	0.0255	0.075	0.2735	3

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

De acuerdo a la tabla de soluciones la alternativa 1 cumple con todos los criterios de evaluación, por lo tanto, esta alternativa es la que se selecciona como solución. El prototipo de máquina clasificadora de piñas estará compuesto de un transportador de rodillos para transportar las piñas, para el reconocimiento de la fruta se utilizará una cámara Raspberry Pi y la clasificación por

medio de actuadores neumáticos. La salida de la fruta es mediante bandejas ubicadas a la izquierda y derecha del transportador de rodillos.

3.1.7 Diseño de detalle

Para el diseño de detalle que se muestra a continuación se utilizó el programa SolidWorks, en la figura podemos observar los diferentes componentes que constituyen el prototipo de máquina clasificadora de piñas.

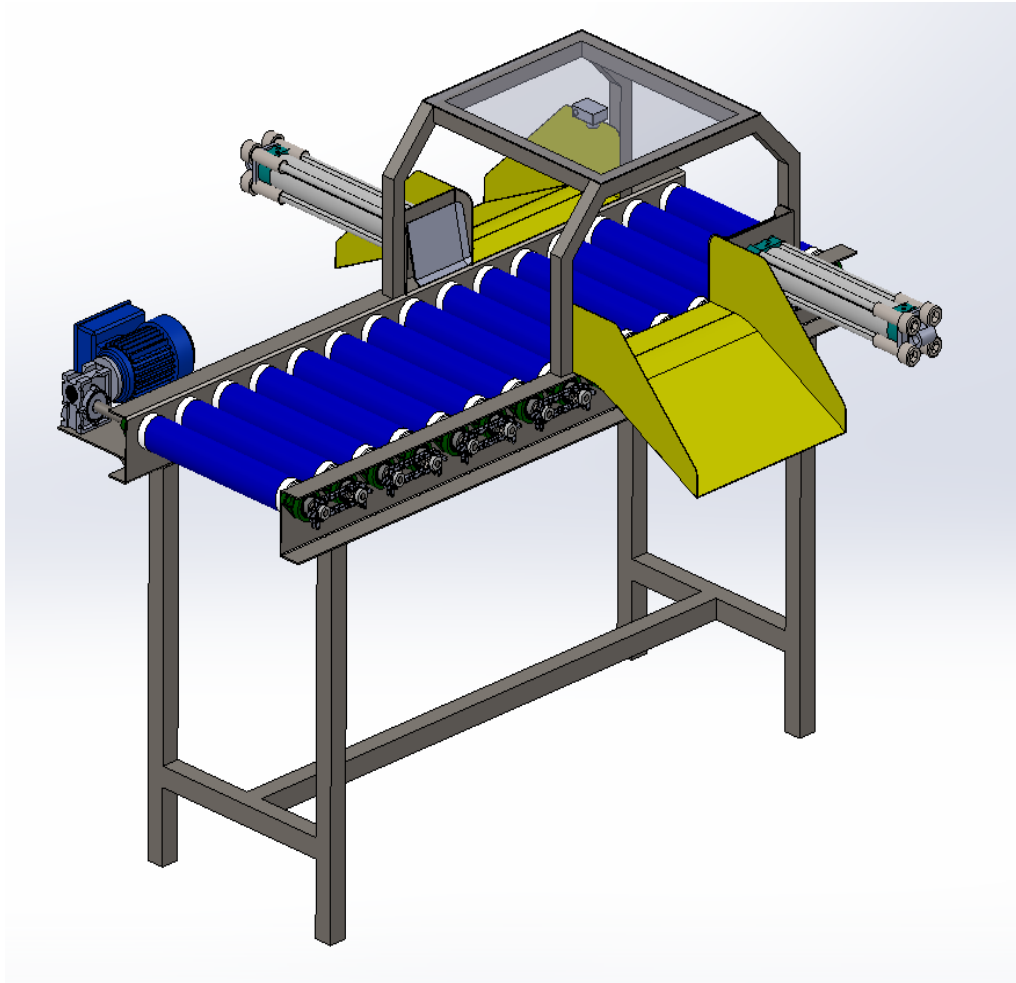


Figura 11-3. Diseño de detalle del prototipo

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.2 Análisis de fuerzas y diseño de los componentes mecánicos

Una vez encontrado la mejor alternativa para el prototipo de máquina clasificadora de piñas se desarrolla el análisis de fuerzas y diseño de los componentes mecánicos que constituyen el prototipo de máquina utilizando datos obtenidos, teorías y principios básicos de diseño.

3.2.1 Dimensionamiento

El dimensionamiento del prototipo se basa en las dimensiones de la piña que se encuentra especificado en la norma NTE INEN 1836-2. El transporte de la piña se lo realizará con la corona incluida por lo cual debemos tomar en cuenta sus medidas ya que de esto dependerá el ancho del transportador de rodillos. La corona debe ser simple y su diámetro medio en relación a la ecuatorial debe encontrarse entre 0.5 y 1.5 veces la longitud del fruto (NTE INEN 1836-2). Por lo cual el diámetro de la corona de la piña está dado por la fórmula:

$$D_{\text{Corona}} = 0.5 \sim 1.5 L \quad (1)$$

Donde:

D_{Corona} : Diámetro de la corona [cm]

L: Longitud del fruto [cm]

$$D_{\text{Corona}} = 1.5(20)$$

$$D_{\text{Corona}} = 30 \text{ cm}$$

Para el coeficiente se tomó el valor mayor que es 1.5 así nos aseguraremos que el ancho del prototipo este diseñado para transportar piñas consideradas grandes y adicional se añade una tolerancia en cada lado obteniendo un ancho total de 40 cm para evitar daños en el transporte de la fruta. Para la longitud del transportador se analizó la distancia necesaria para que la fruta pueda ser detectada al ingresar al sistema de clasificación y posteriormente pueda ser separada de acuerdo a sus características por lo cual se asume una longitud de 150 cm.

3.2.2 Cálculo de la velocidad de operación del prototipo de máquina

Al ser un prototipo de máquina no contamos con bibliografía o recomendaciones de velocidad por lo cual se realizó el análisis mediante experimentación. Para la experimentación se utilizó un transportador de rodillos diseñado para cajas de banano el cual contaba con un motor eléctrico y un variador de frecuencia. En la tabla se muestra los resultados obtenidos en la experimentación.

Tabla 16-3: Velocidad de operación del prototipo de máquina clasificadora de piñas

Frecuencia (Hz)	RPM	W (rad/s)
20	34	3.46
30	54	5.65
40	66	6.91
50	83	8.69
60	100	10.47

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

La velocidad óptima de transporte de la piña es 100 rpm con esta velocidad el proceso es rápido y la piña no sufre daños al desplazarse por el transportador.

3.2.3 Cálculo de la capacidad del prototipo de máquina

Con la velocidad angular anterior se obtiene una velocidad lineal de $0.20 \frac{m}{s}$ mediante experimentación se determina que la máquina procesara $300 \frac{\text{piñas}}{h}$ en la tabla 1-2 se muestra que la piña grande tiene un peso promedio mayor a 2 kg para nuestros cálculos usaremos un peso promedio de 2.5 kg con lo cual nos da una capacidad de $900 \frac{kg}{h}$

3.2.4 Cálculo de la potencia requerida del prototipo de máquina clasificadora de piñas.

Para el cálculo de la potencia del prototipo de máquina se usará la siguiente fórmula que viene dada por:

$$P_T = \frac{F_T v}{33000} \quad (2)$$

Donde:

P_T : Potencia [HP]

F_T : Fuerza tangencial [lb]

v : Velocidad $\left[\frac{ft}{min} \right]$

Para calcular la potencia iniciamos con el cálculo de la fuerza tangencial necesaria para lo cual asumimos algunos datos coherentes con el prototipo de máquina y el proceso que va a desarrollar.

La fuerza tangencial será:

$$F_T = \frac{Q_m M}{3.6 v} + \sigma CL \left(\frac{Q_m}{3.6 v} + P_m \right) \quad (3)$$

Donde:

F_T : Fuerza tangencial [Kg]

Q_M : Toneladas/ hora

M : Altura del transportador [m]

v : Velocidad del transportador $\left[\frac{m}{s} \right]$

σ : Coeficiente de fricción [adimensional]

C : Coeficiente de variación según la longitud [adimensional]

L : Longitud del transportador [m]

P_M : Peso del material más el del transportador [Kg]

Para la altura del transportador se toma una medida de 0.9 m, la longitud del transportador 1.5 m, coeficiente de fricción 0.27 (METALMAX, 2015). Para el peso del material más el transportador se asume un valor de 80 Kg. La fuerza tangencial es igual a:

$$F_T = \frac{0.9 (0.9)}{3.6 (0.20)} + 0.27 (5.8)(1.5) \left(\frac{0.9}{3.6 (0.20)} + 80 \right)$$

$$F_T = 191.98 \text{ [Kg]}$$

Con este resultado transformando a las unidades requeridas podemos calcular la potencia.

$$P_T = \frac{423.31 (39.37)}{33000}$$

$$P_T = 0.5 \text{ HP}$$

3.2.5 Selección de la cadena

Para la selección de la cadena se usará el catálogo Rexnord, lo primero a calcular es la potencia de diseño y viene dado por:

$$P_d = P * C_7 \quad (4)$$

Donde:

P_d : Potencia [HP]

P : Potencia calculada [HP]

C₇: Factor de servicio [adimensional]

Del Anexo A de factores de servicios para transportadores se obtiene un valor de $c_7 = 1,3$

$$P_d = 0.5(1.3)$$

$$P_d = 0,65 \text{ hp}$$

Con la potencia obtenida y el número de revoluciones que se encontró en la tabla 16-3 se encuentra los siguientes valores en el Anexo B

Cadena # 50 1 Hilera

pitch = 0,625 in

La relación de transmisión se calcula con la siguiente fórmula:

$$i = \frac{N_1}{N_2} \quad (5)$$

Donde:

N₁: Numero de revoluciones de entrada por minuto [rpm]

N₂: Numero de revoluciones de salida por minuto [rpm]

La relación de transmisión es igual a:

$$i = \frac{100}{100} = 1$$

El número de dientes de la catalina menor se obtiene en base a la potencia y el mayor valor de rpm. En el Anexo C ubicamos los valores antes mencionados y se obtienen los siguientes datos:

$$Z_1 = 11$$

$$d_{\text{eje}} < 0,969 \text{ in}$$

Tipo de lubricación manual Tipo A

Para calcular el número de dientes de la catalina mayor usamos la siguiente fórmula:

$$Z_2 = i * Z_1 \quad (6)$$

Donde:

Z_2 : Número de dientes de la catalina mayor [adimensional]

i : Relación de transmisión [adimensional]

Z_1 : Número de dientes de la catalina menor [adimensional]

Reemplazando los valores obtenemos:

$$Z_2 = 1(11)$$

$$Z_2 = 11$$

Para calcular el diámetro de la catalina mayor se utiliza la siguiente fórmula:

$$D = \frac{Z_{\text{mayor}} * \text{Pitch}}{\pi} \quad (7)$$

Donde:

D : Diámetro de la catalina mayor [in]

Z_{mayor} : Número de dientes de la catalina mayor

Pitch: Paso [in]

El diámetro de la catalina mayor es igual a:

$$D = \frac{11 * 0,625}{\pi}$$

$$D = 2,18 \text{ in} = 5,54 \text{ mm}$$

Para calcular el diámetro de la catalina menor se utiliza la siguiente fórmula:

$$d = \frac{Z_{\text{menor}} * \text{Pitch}}{\pi} \quad (8)$$

Donde:

d : Diámetro de la catalina menor [in]

Z_{menor} : Dientes de la catalina menor

Pitch: Paso [in]

El diámetro de la catalina menor es igual a:

$$d = \frac{11 * 0,625}{\pi}$$
$$d = 2,18 \text{ in} = 5,54 \text{ mm}$$

A continuación, se calcula la distancia entre centros.

$$C_{\min} = D + \frac{d}{2} \quad (9)$$

Donde:

C_{\min} : Distancia entre centros mínima

D: Diámetro de la catalina mayor [in]

d: Diámetro de la catalina menor [in]

La distancia mínima entre centros será:

$$C_{\min} = 2,18 + \frac{2,18}{2}$$
$$C_{\min} = 3,28 \text{ in}$$

Para nuestro caso tomamos un valor mayor al C_{\min} como se muestra a continuación:

$$C = 4 \text{ in}$$

Para calcular el número de eslabones usamos la siguiente fórmula:

$$N = \frac{Be}{P} + Ct + DT \quad (10)$$

Donde:

N: Número de eslabones [adimensional]

B, C, D: Factores para los centros de las ruedas dentadas y la longitud de la cadena [adimensional]

e: distancia entre centros C [in]

P: Paso [in]

t: Número de dientes de la catalina menor

T: Número de dientes de la catalina mayor

En el Anexo D para encontrar los valores de los factores B, C, D necesitamos encontrar el valor de A con la siguiente fórmula:

$$A = \frac{D - d}{2C} \quad (11)$$

Donde:

A: Factor [adimensional]

D: Diámetro de la catalina mayor [in]

d: Diámetro de la catalina menor [in]

C: Distancia entre centros [in]

El factor A es igual a:

$$A = 0$$

Con el valor de A podemos ingresar al Anexo D y obtener los valores de B, C, D que se muestran a continuación:

$$B = 2$$

$$C = 0,5$$

$$D = 0,5$$

Con los valores obtenidos podemos reemplazar y el número de eslabones es igual a:

$$N = \frac{(2 * 4)}{0,625} + (0,5 * 11) + (0,5 * 11)$$

$$N = 23,8$$

Se aproxima a un número entero por lo cual obtenemos:

$$N = 24$$

Con lo antes calculado se corrige la distancia entre centros con la siguiente fórmula:

$$E = \frac{(N - Ct - DT)P}{B} \quad (12)$$

Donde:

E: distancia entre centros corregida [in]

N: Número de eslabones [adimensional]

B, C, D: Factores para los centros de las ruedas dentadas y la longitud de la cadena [adimensional]

P: Paso [in]

t: Número de dientes de la catalina menor [adimensional]

T: Número de dientes de la catalina mayor [adimensional]

La distancia corregida es igual a:

$$E = \frac{(24 - (0,5 * 11) - (0,5 * 11)) * 0,625}{2}$$
$$E = 4,06 \text{ in}$$

A continuación, se calcula la velocidad de la cadena con la siguiente fórmula:

$$V = \frac{Z * \text{Pitch} * n}{12} \quad (13)$$

Donde:

V: Velocidad de la cadena $\left[\frac{\text{ft}}{\text{min}} \right]$

Z: Dientes de la catalina [adimensional]

Pitch: Paso [in]

n: Velocidad angular [rpm]

La velocidad de la cadena será:

$$V = \frac{11 * 0,625 * 100}{12}$$
$$V = 57,29 \text{ ft}/_{\text{min}} = 0,291 \text{ m}/_{\text{s}}$$

El cálculo de la fuerza se lo realiza mediante la siguiente fórmula.

$$F = \frac{\text{HP} * (33000)}{V} \quad (14)$$

Donde:

F: Fuerza [lb]

HP: Potencia [HP]

V: Velocidad $\left[\frac{\text{ft}}{\text{min.}}\right]$

La fuerza es igual a:

$$F = \frac{0,65 * (33000)}{57,29}$$
$$F = 374,41 \text{ lb}$$

Para la fuerza que se aplica en el eje se multiplica un factor de carga a la fuerza calculada teóricamente, para nuestra aplicación se usará 1.05 (NTN,2009) como se muestra a continuación:

$$F_c = 1.05 * F \quad (15)$$

Donde:

F_c: Fuerza que se aplica en el eje [lb]

F: Fuerza [lb]

La fuerza en el eje es igual a:

$$F_c = 393,13 \text{ lb}$$

A continuación, en la tabla 17-3 se resume los resultados obtenidos.

Tabla 17-3: Valores obtenidos de la selección de la cadena

Descripción			
Catalina	11 dientes	#50	1H
Catalina	11 dientes	#50	1H
Cadena	24 eslabones	#50	1H
Lubricación Tipo A (manual)			

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.2.6 Potencia requerida del motor

La potencia requerida del prototipo de máquina es de 0.5 HP, la potencia requerida para la transmisión por cadena es de 0.65 HP. Para encontrar la potencia necesaria en el eje del motor se tomará en cuenta un Factor de servicio de 1.15.

$$P_{\text{motor}} = \text{HP} * \text{SF} \quad (16)$$

Donde:

P_{motor} : Potencia del motor [HP]

HP: Potencia requerida para la transmisión del prototipo de máquina [HP]

SF: Factor de servicio [adimensional]

$$P_{\text{motor}} = 0.65 \quad (1.15)$$

$$P_{\text{motor}} = 0.75 \text{ HP}$$

Con este resultado se selecciona un motor del catálogo WEG modelo W22 Carcasa de Hierro Gris - High Efficiency - IE2 de 1680 rpm y potencia de 0.75 HP.

3.2.7 *Diseño del eje motriz*

El material con el que se fabricara es el AISI/ SAE 1020 $S_{ut} = 470 \text{ MPa}$ $S_y = 390 \text{ MPa}$ a continuación se determinara las cargas a las que estará sometido el eje empezando por los siguientes componentes.

El torque de la cadena se determina mediante la siguiente fórmula:

$$T = F_c * r \quad (17)$$

Reemplazando los valores que se obtuvieron en la selección de la cadena se obtiene:

$$T = (1748,73 * 0,0277)\text{Nm}$$

$$T = 48,44 \text{ Nm}$$

La masa aproximada de la catalina es 155.5 g y el peso viene dado en la siguiente fórmula:

$$W = mg \quad (18)$$

Convirtiendo la masa en kg y reemplazando el valor de la aceleración de la gravedad, obtenemos que el peso es igual a:

$$W = 0,1555 \text{ Kg} * 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$W = 1,524 \text{ N}$$

Para calcular el peso distribuido en el eje asumiremos un peso aproximado de 29,4 N por lo que el peso distribuido se puede despejar de la siguiente fórmula:

$$P_{\text{eje}} = W * L \quad (19)$$

Despejando obtenemos el peso por cada metro y es igual a:

$$W = \frac{29,4 \text{ N}}{0,470 \text{ m}}$$

$$W = 62,55 \text{ N/m}$$

Para determinar el diámetro del eje usaremos la fórmula de ASME B 106.1 M

$$d = \left\{ \frac{16 n}{\pi} \left[4 * \left(\frac{K_f * M_a}{S_e} \right)^2 + 3 * \left(\frac{K_{fs} * T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3} \quad (20)$$

Donde:

d: Diámetro [mm]

n: Factor de seguridad [adimensional]

K_f : Factor de concentración de esfuerzos a flexión [adimensional]

M_a : Momento amplitud [Nmm]

S_e : Resistencia a la fatiga [Nmm]

K_{fs} : Factor de concentración de esfuerzos a torsión [adimensional]

T_m : Torque medio [Nmm]

S_y : Límite de fluencia [Nmm]

En el eje del prototipo de máquina se colocarán en el punto A y E catalinas, en el punto B y D chumaceras. En la figura 12-3 se indica la disposición de cada uno.

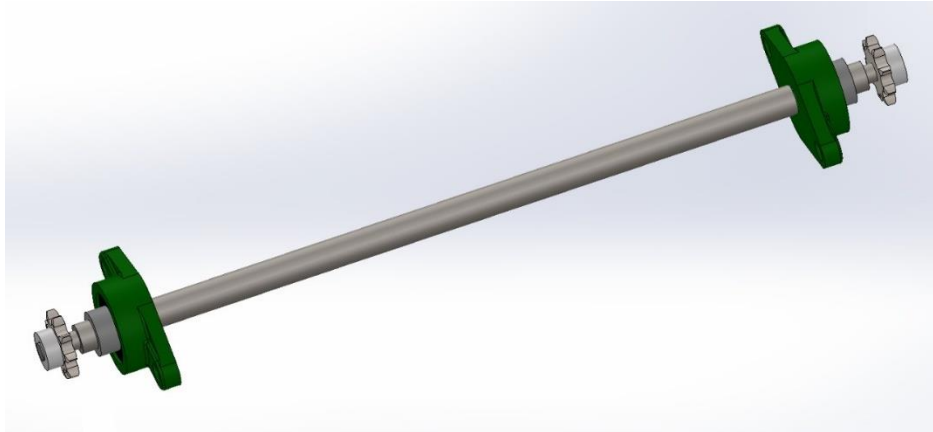


Figura 12-3. Eje del prototipo de máquina

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Para poder aplicar la fórmula anterior empezaremos por realizar el diagrama de cuerpo libre del eje con todas las fuerzas, pesos, tensiones y reacciones. Como se muestra en la figura 13-3 donde están ubicadas cada una de ellas.

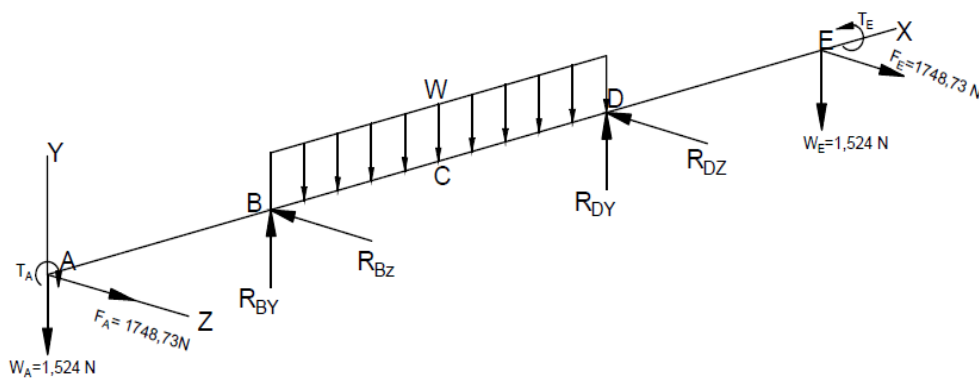


Figura 13-3. Diagrama de cuerpo libre

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Se realiza el análisis de fuerzas en el plano XY como se muestra a continuación:

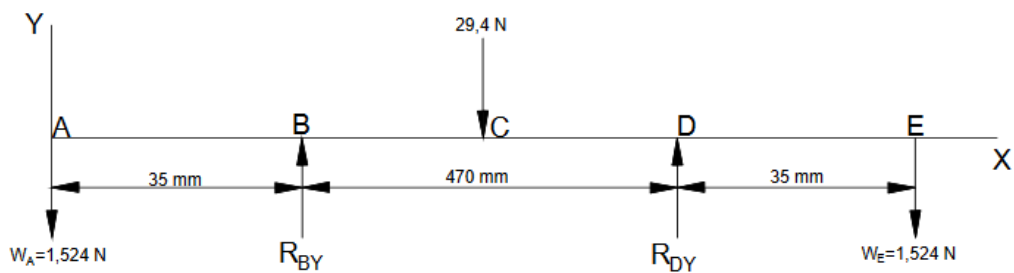


Figura 14-3. Análisis de fuerzas plano XY

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Se realiza la sumatoria de momentos en el punto B mediante la siguiente fórmula:

$$\sum M_B = 0 \uparrow^+ \quad (21)$$

Reemplazando los valores y despejando la reacción del punto D tenemos:

$$1,524\text{N}(35 \text{ mm}) - 29,4\text{N}(235\text{mm}) + R_{Dy}(470\text{mm}) - 1,524\text{N}(505\text{mm}) = 0$$

$$R_{Dy} = 16,224 \text{ N}$$

A continuación, se realiza la sumatoria de fuerzas en el eje Y con la siguiente fórmula:

$$\sum F_y = 0 \uparrow^+ \quad (22)$$

Con la sumatoria de fuerzas obtenemos la reacción en el punto B y es igual a:

$$-1,524\text{N} + R_{By} - 29,4 \text{ N} + 16,224\text{N} - 1,524\text{N} = 0$$

$$R_{By} = 16,224 \text{ N}$$

Continuamos con el análisis de fuerzas en el plano XZ, para lo cual se muestra en la figura 15-3 su diagrama:

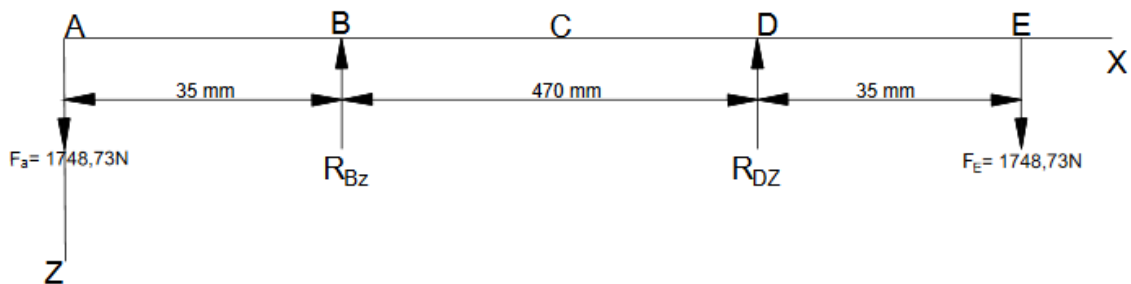


Figura 15-3. Análisis de fuerzas plano XZ.

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Se realiza la sumatoria de momentos en el punto B mediante fórmula (21) como se muestra a continuación:

$$1748,73\text{N}(35 \text{ mm}) + R_{Dz}(470\text{mm}) - 1748,73\text{N}(505\text{mm}) = 0$$

$$R_{Dz} = 1748,73 \text{ N}$$

A continuación, se realiza la sumatoria de fuerzas en el eje Z con la siguiente fórmula:

$$\sum F_z = 0 \downarrow^+ \quad (23)$$

$$1748,73\text{N} - R_{Bz} - 1748,73\text{N} + 1748,73\text{N} = 0$$

$$R_{Bz} = 1748,73 \text{ N}$$

Con lo que se ha calculado hasta el momento, se dibuja el diagrama de momento flector en cada plano comenzando por el plano XY como se muestra en la figura 16-3 donde se ubica los valores en cada punto de interés.

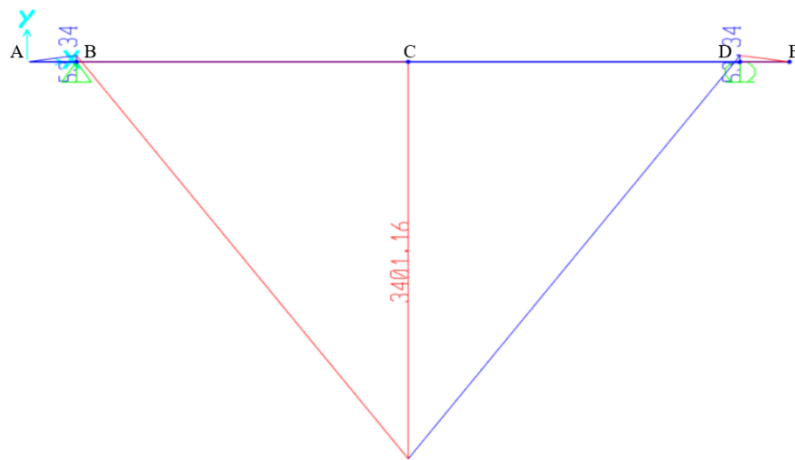


Figura 16-3. Diagrama de Momento flector plano XY

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Lo mismo se realiza para el otro plano como se muestra en la figura 16-3 en la cual se indica los valores obtenidos en cada punto.

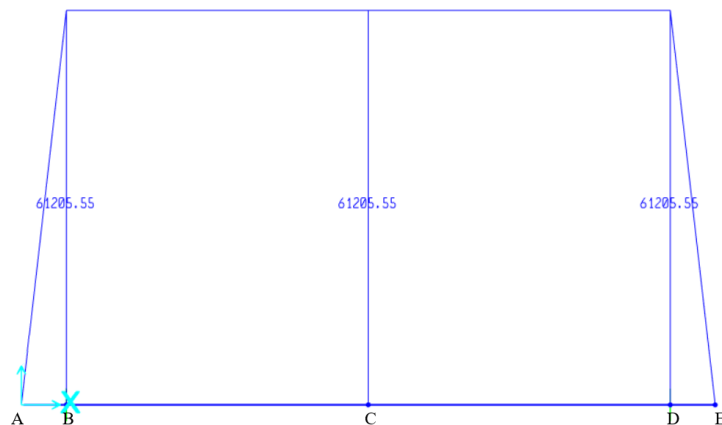


Figura 17-3. Diagrama de Momento flector plano XZ

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

En la figura 18-3 se muestra la configuración geométrica del eje, en la cual se puede observar los cambios de secciones y los puntos respectivos.



Figura 18-3. Configuración geométrica del eje

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Como se muestra en la figura 16-3 y la figura 17-3 el punto que se va a analizar es el punto C. Ahora encontramos el momento resultante, el que está dado por los momentos calculados en los planos XY y XZ con la fórmula que se muestra a continuación:

$$M_c = \sqrt{(M_{xy})^2 + (M_{xz})^2} \quad (24)$$

Reemplazando los valores el momento en C es igual a:

$$M_c = \sqrt{(3401,16)^2 + (61205,55)^2}$$

$$M_c = 61299,98 \text{ Nmm}$$

El momento torsor en el punto C es igual a:

$$T_c = 48440 \text{ Nmm}$$

A continuación, en la figura 19-3 se muestra el análisis que se realizará para continuar con el diseño del eje

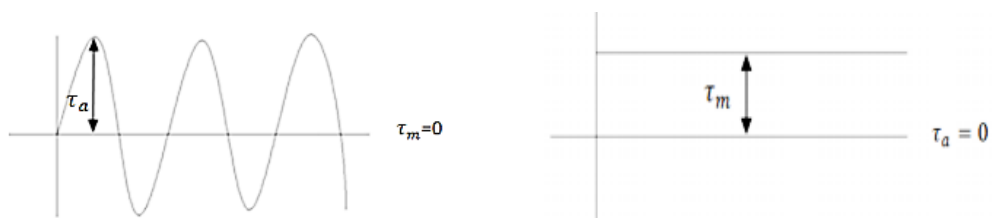


Figura 19-3. Diagramas para análisis a fatiga

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

De la figura anterior se determina los siguientes valores:

$$M_a = M_c = 61299,98 \text{ Nmm}$$

$$M_m = 0$$

De la figura 17-3 también se obtiene los siguientes valores:

$$T_a = 0$$

$$T_m = T_c = 48440 \text{ Nmm}$$

Para este análisis el límite de fatiga se calcula con la siguiente fórmula:

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S_e' \quad (25)$$

Donde:

S_e : Límite de fatiga [MPa]

K_a : Factor de Superficie

K_b : Factor de Tamaño

K_c : Factor de modificación de carga

K_d : Factor de Temperatura

K_e : Factor de Confiabilidad

K_f : Factor de efectos Varios

S_e' : Limite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria

Para un material AISI/SAE 1020 sus propiedades mecánicas son:

$$S_{ut} = 470 \text{ MPa}$$

$$S_y = 390 \text{ MPa}$$

Factor de Superficie $k_a = 0,9$ Maquinado o laminado en frio ver Anexo E

Factor de Tamaño $k_b = 0,906$ ver Anexo F

Factor de modificación de carga $k_c = 1$ debido que está sometido a flexión.

Factor de Temperatura $k_d = 1$ a condiciones normales ver Anexo G

Factor de Confiabilidad $k_e = 0,897$ ver Anexo H

El factor de efectos Varios k_f se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$k_f = q(k_t - 1) + 1 \quad (26)$$

Donde:

K_f : Factor de efectos varios

q : Sensibilidad a la muestra

K_t : Factor de concentración de esfuerzos

La sensibilidad a la muesca $q = 0,85$ valor aproximado de radio de muesca de 0.08 in ver Anexo I. El factor $K_t = 1.61$ como se muestra en el Anexo J.

Reemplazando los valores se obtiene que el factor de esfuerzos varios es igual a:

$$k_f = 0,85(1,61 - 1) + 1$$

$$k_f = 1,52$$

Para S_e' a flexión se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$S_e' = 0,5 * S_{ut} \quad (27)$$

Donde:

S_e' : Limite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria [MPa]

S_{ut} : Resistencia última a la tensión [MPa]

Reemplazando los valores tenemos que es igual a:

$$S_e' = 0,5 * 470 = 235 \text{ MPa}$$

Con los resultados anteriores calculados reemplazamos en la fórmula (25) y tenemos:

$$S_e = 0,9 * 0,906 * 1 * 1 * 0,897 * 1,52 * 235$$

$$S_e = 261,26 \text{ MPa}$$

Finalmente, para el diámetro reemplazamos en la fórmula (20) los valores y tenemos:

$$d_c = \left\{ \frac{16 n}{\pi} \left[4 * \left(\frac{1,52 * (61299,99) \text{Nmm}}{261,26 \text{ N/mm}^2} \right)^2 + 3 * \left(\frac{1,35 * (48440) \text{Nmm}}{390 \text{ N/mm}^2} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

$$d_c = 18,87 \text{ mm} = 19 \text{ mm}$$

Para las demás secciones se toma una relación $D/d = 1.6$ debido a que la mayor carga aplicada se encuentra en el punto C los demás puntos resultan con diámetros muy pequeños y para evitar un cambio de sección brusca se utiliza dicha relación.

3.2.8 Verificación de la resistencia del eje

Para verificar la resistencia del eje se realiza el análisis en el software SolidWorks, en el cual se obtendrá el coeficiente de seguridad por lo que es necesario cargar las fuerzas que están actuando sobre el eje. En la tabla 18-3 se muestra los parámetros a considerar para el modelado.

Tabla 18-3: Parámetros para el modelado del eje

Sección	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Material	Cargas	Tipo de apoyo	Tipo de mallado	Calidad de malla
AB	35	12	AISI 1020	$W_A = 1,524 \text{ N}$ $F_A = 1748,73 \text{ N}$ $T_A = 18,44 \text{ Nm}$	-	Malla sólida	Fina
BD	470	19	AISI 1020	$F_C = 29,4 \text{ N}$	Geometría fija	Malla sólida	Fina
DE	35	12	AISI 1020	$W_E = 1,524 \text{ N}$ $F_E = 1748,73 \text{ N}$ $T_E = 18,44 \text{ Nm}$	-	Malla sólida	Fina

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Inicialmente se define el material del eje que se va a utilizar, en este caso es un acero AISI 1020. En la figura 20-3 se indica la asignación del material.

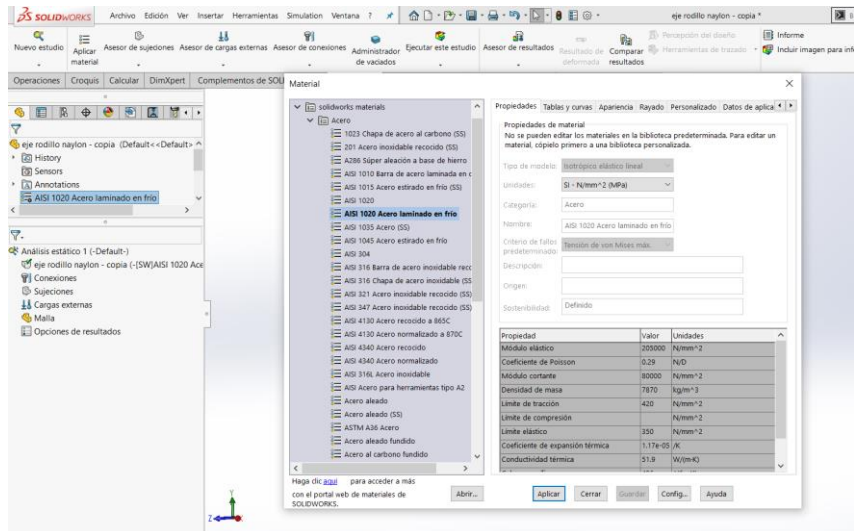


Figura 20-3. Asignación del material del eje

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Se realiza la asignación de los soportes fijos del eje, como se puede observar en la figura 21-3.

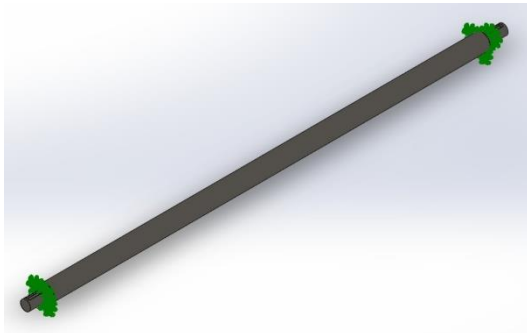


Figura 21-3. Asignación de los soportes en el eje

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Los valores de las cargas que se muestran en la tabla 18-3 se asignan y posterior se aplica una densidad de malla fina. En la figura 22-3 se indica el resultado de las cargas con el mallado.

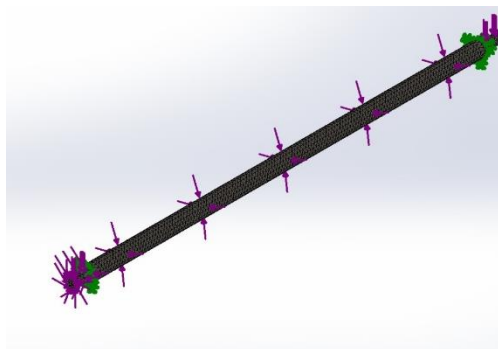


Figura 22-3. Mallado del eje

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

En la figura 23-3 se muestra el resultado del coeficiente de seguridad.

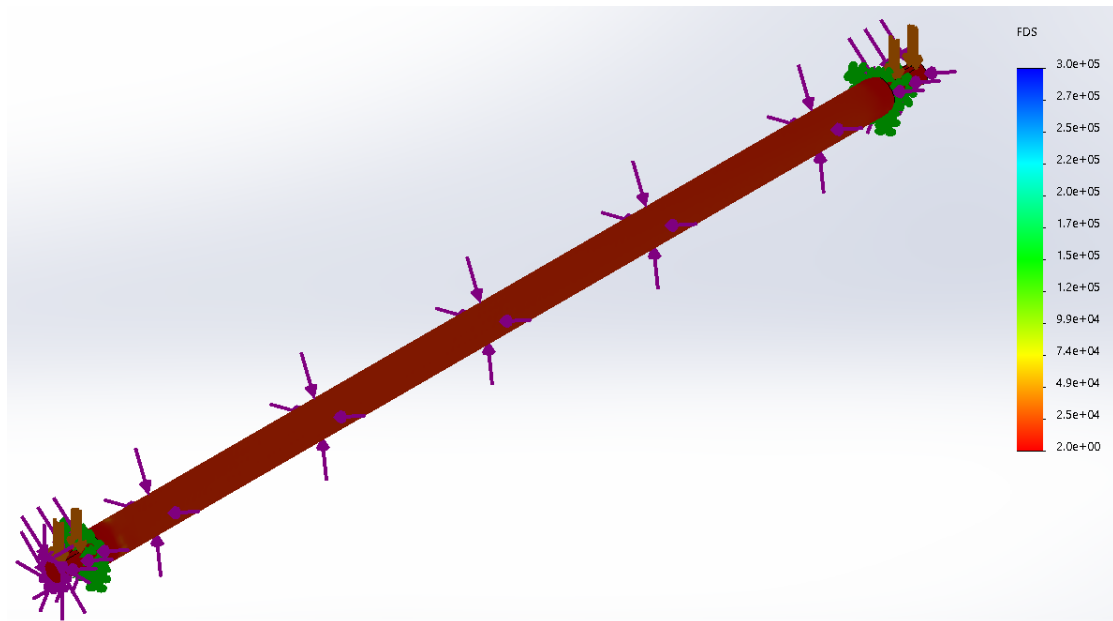


Figura 23-3. Verificación de la resistencia del eje

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Según los resultados obtenidos en el software los cuales se muestran en la figura 23-3 el coeficiente de seguridad mínimo es 2 por lo que se verifica la resistencia del eje que fue diseñado con el factor de seguridad cuyo valor se asumió de 2. Tomando en cuenta que por precaución se asumió el peso de la piña de manera distribuida en el eje, pero se espera que al momento de ser transportada tenga contacto con al menos 3 ejes, se puede concluir que el dimensionamiento y la selección del material son los adecuados para una futura construcción.

3.2.9 *Diseño de la estructura principal*

Se realiza el diseño de la estructura principal en el software SAP2000 para lo cual es necesario ciertas especificaciones que se muestran en la tabla 19-3. Los parámetros a considerar se muestran en la tabla 20-3 y en la figura 24-3 se indica las dimensiones.

Tabla 19-3: Especificaciones del bastidor

Especificaciones	Material	Dimensiones
Tubo estructural cuadrado	ASTM A-36	40x40x4
Perfil estructural C	ASTM A-36	125x50x3

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Tabla 20-3: Parámetros para el diseño de la estructura

Descripción	Detalle
Patrones de carga	Carga viva y carga muerta
Combinaciones de carga	Combo 1= 1.4 D
	Combo 2 = 1.2 D + 1.6 L
Código de diseño	AISC 360-10
	NEC-SE-CG
Método	LRFD
Tipo de estructura	OMF
Tipo de apoyos	Fijos
Puntos de apoyos	A, B, C, D

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

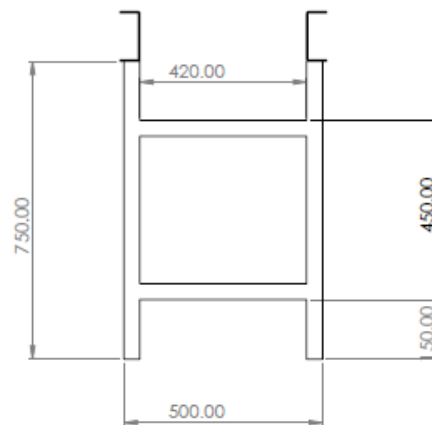
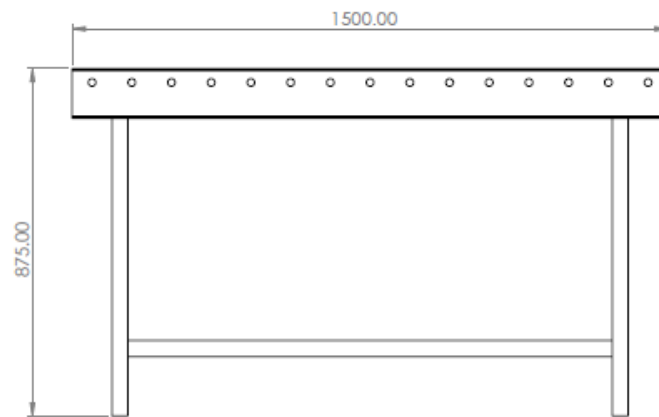


Figura 24-3. Dimensiones generales del bastidor

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

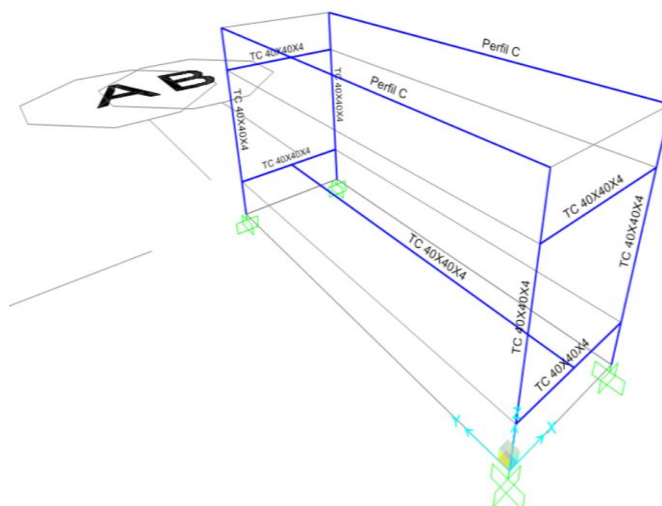


Figura 25-3. Asignación del perfil y material a la estructura

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

En la figura 26-3 se muestra la asignación de la carga muerta 1 que corresponde al peso de la estructura del prototipo de máquina clasificadora y es 80 Kg, esta carga se divide para dos y para la longitud lo cual nos da un valor de $2,72 \times 10^{-3} \text{N/mm}$

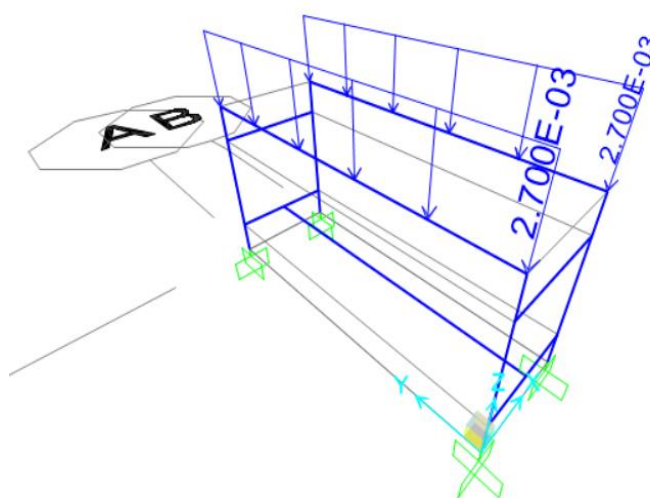


Figura 26-3. Asignación de la primera carga muerta

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

En la figura 27-3 se asigna en el software SAP2000 la carga muerta 2 en la estructura que corresponde al peso de los componentes que conforman el sistema de transporte que es 29,4 N, este valor se multiplica por 15 rodillos y se divide para dos y para la longitud lo cual nos da un valor de 0.145 N/mm

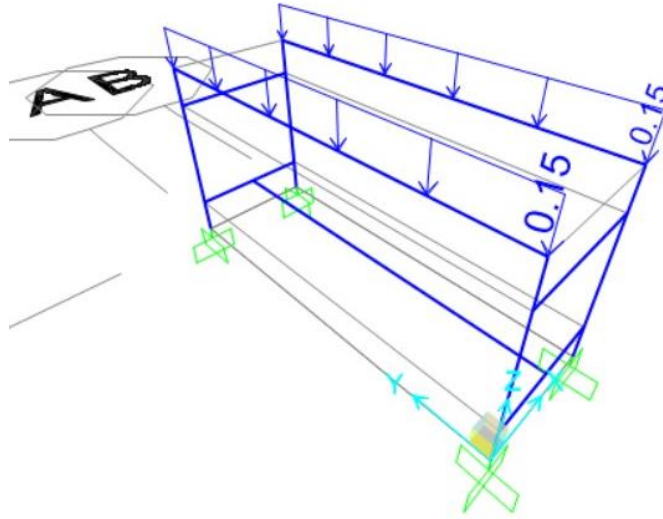


Figura 27-3. Asignación de la segunda carga muerta

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

En la figura 28-3 se muestra la asignación de la carga viva en la estructura que corresponde a la piña que va a hacer transportada cuyo valor es de 2.5 Kg dividido para dos y para la longitud.

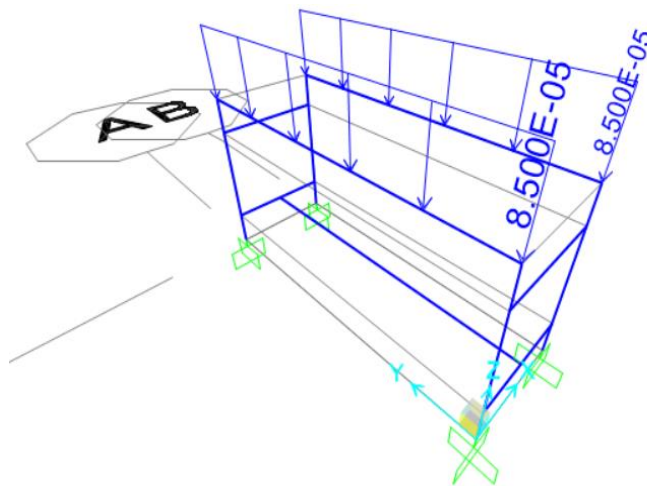


Figura 28-3. Asignación de la carga viva

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.2.9.1 Análisis de resultados

En la figura 29-3 indica la razón demanda/capacidad del bastidor y se puede observar los resultados mediante el software SAP2000 en el cual ningún valor sobrepasa la unidad, por lo que el diseño y los materiales son los adecuados para la estructura. Con este resultado es seguro construir el prototipo de máquina.

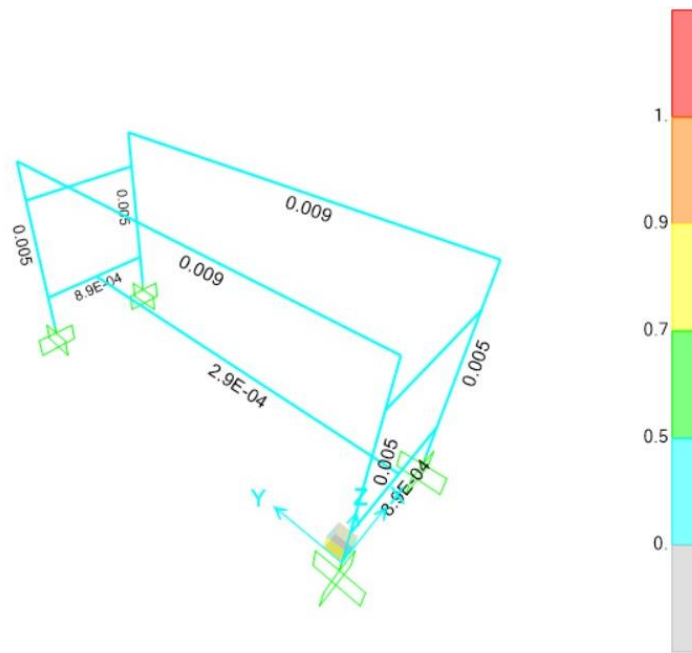


Figura 29-3. Resultados mediante software SAP2000

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.2.10 Selección de rodamientos

Los rodamientos deben cumplir con requisitos como: duración, fiabilidad, servicio y rentabilidad. Para la selección determinaremos las reacciones en los apoyos con la fórmula que se muestra a continuación.

$$F_r = \sqrt{(F_y)^2 + (F_z)^2} \quad (28)$$

Donde:

F_r : Fuerza radial [N]

F_y : Fuerza en el eje y [N]

F_z : Fuerza en el eje z [N]

Esta reacción representa la fuerza radial aplicada en el punto B que es la misma para el punto D y es igual a:

$$F_r = \sqrt{(16,224)^2 + (1748,73)^2}$$

$$F_r = 1748,8 \text{ N} = 1,7488 \text{ KN}$$

3.2.10.1 Chequeo a carga dinámica

Para el chequeo a carga dinámica se calcula la capacidad a carga dinámica del rodamiento con la siguiente fórmula:

$$C' = \frac{f_h}{f_n} * P \quad (29)$$

Donde:

f_h : Factor de vida [adimensional]

f_n : Factor de velocidad [adimensional]

P: Carga dinámica equivalente [KN]

El factor de vida se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$f_h = \left(\frac{L_{10}}{500} \right)^{1/3} \quad (30)$$

Donde:

f_h : Factor de vida [adimensional]

L_{10} : Vida nominal [horas]

Para una vida nominal en horas de 8000 aproximadamente el factor de vida es igual a:

$$f_h = \left(\frac{8000}{500} \right)^{1/3} = 2,52$$

El factor de velocidad se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$f_n = \left(\frac{33,3}{n} \right)^{1/3} \quad (31)$$

Donde:

f_n : Factor de velocidad [adimensional]

n: Velocidad [rpm]

Para la velocidad de 100 rpm el factor de velocidad es igual a:

$$f_n = \left(\frac{33,3}{100}\right)^{1/3} = 0,69$$

La carga dinámica equivalente se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$P = XF_r + YF_a \quad (32)$$

Donde:

P: Carga dinámica equivalente [KN]

X: Factor de carga radial [adimensional]

F_r: Fuerza radial aplicada [KN]

Y: Factor de carga axial [adimensional]

F_a: Fuerza axial aplicada [KN]

Para nuestro caso la fuerza axial aplicada es igual a cero y el factor de carga radial es igual a uno por lo que reemplazando en la fórmula (32) tenemos:

$$P = 1,7488 \text{ KN}$$

La capacidad a carga dinámica del rodamiento es igual a:

$$C' = \frac{2,52}{0,69} * (1,7488 \text{ KN})$$

$$C' = 6,386 \text{ KN}$$

En la tabla 21-3 que se muestra a continuación del catálogo de rodamientos NTN se selecciona rodamientos de bolas teniendo como dato el diámetro de 12 mm.

Tabla 21-3: Propiedades de rodamientos NTN

d (mm)	D (mm)	B (mm)	Cr (KN)	Cor (KN)	Type
12	37	12	9,70	4,20	6301

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Para que el rodamiento resista las condiciones de operación debe cumplirse que:

$$C' \leq C_r \quad (33)$$

Al reemplazar los valores se puede ver que si cumple

$$6,386 \text{ KN} < 9,70 \text{ KN}$$

3.2.10.2 Chequeo a carga estática

Se calcula la capacidad a carga estática del rodamiento con la siguiente fórmula:

$$C_o' = f_s * P_o \quad (34)$$

Donde:

C_o' = Capacidad a carga estática [KN]

f_s : factor de carga [adimensional]

P_o : Carga estática equivalente [KN]

El factor de carga considerando un choque ligero está comprendido entre 1.2 – 1.5 de acuerdo al catálogo NTN por lo que tomaremos el valor de 1.2 para nuestros cálculos y reemplazando en la fórmula (34) tenemos:

$$C_o' = 1,2 * (1,7488 \text{ KN}) = 2,098 \text{ KN}$$

Para que el rodamiento resista las condiciones de operación debe cumplirse que:

$$C_o' \leq C_{or} \quad (35)$$

Al reemplazar en la fórmula (35) tenemos:

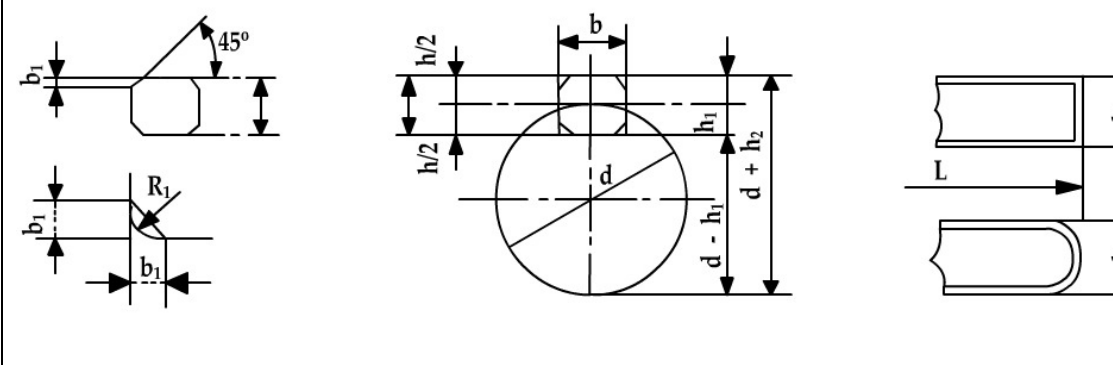
$$2,098 \text{ KN} < 4,2 \text{ KN}$$

Al realizar los respectivos chequeos determinamos que cumple con las condiciones de funcionamiento en el prototipo de máquina clasificadora de piñas por lo cual seleccionamos el modelo 6301 del catálogo NTN.

3.2.11 Cálculo de la chaveta

Para la fabricación de la chaveta utilizaremos un acero AISI/SAE 1045 cuyo $S_y = 530$ MPa. Para un diámetro de eje 12 mm se muestra a continuación en la tabla 22-3 las dimensiones recomendadas.

Tabla 22-3: Dimensiones de la chaveta



CHAVETA

Sección b x h	Ancho b		Altura h		Chañlón b_1		Longitud L	
	Nominal	Toler.h9	Nominal	Toler.h9y h11	Mínima	Máximo	De....	a....
4 x 4	4	0	4	0	0.16	0.25	8	45
5 x 5	5	-0.030	5	-0.030	0.25	0.40	10	56
6 x 6	6		6		0.25	0.40	14	70

Fuente: Larburu, 1990

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

En la tabla 23-3 se muestra a continuación las dimensiones recomendadas para el chavetero.

Tabla 23-3: Dimensiones del chavetero

CHAVETERO

Diámetro del eje d		Sección de la chaveta b x h	No mi nal	Ancho b, tolerancia					Profundidad				Chañlón R_1		
				Clase de ajuste del enchavetado					Eje h_1		Cubo h_2		Min	Máx.	
Má s de	hasta			Libre	Normal	Ajusta do	No mi nal	Tole	No mi nal	Tole					
				Eje h9	Cubo D10	Eje N9	Cubo Js 9	Eje y cubo P9							
10	12	4 x 4	4					-0.012	2.5		1.8		0.08	0.16	
12	17	5 x 5	5	+0.03	+0.078	0	0.01	-0.042	3	+0.1	2.3	+0.1	0.16	0.25	
17	22	6 x 6	6	0	+0.030	-0.03	5		3.5	0	2.8	0	0.16	0.25	

Fuente: Larburu, 1990

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Para el diámetro de 12 mm tenemos un valor de ancho de 5 mm y altura de 5 mm, para estas medidas la longitud esta entre 10 a 56 mm en nuestro caso usaremos una longitud de 15mm.

3.2.11.1 Análisis a corte

Para el análisis a corte usamos la siguiente fórmula:

$$\tau = \frac{2T}{dbL} \quad (36)$$

Donde:

τ : Esfuerzo cortante [MPa]

T: Torque [Nmm]

d: Diámetro del eje [mm]

b: Ancho [mm]

L: Longitud [mm]

Reemplazando los valores en la fórmula (36) tenemos:

$$\tau = \frac{2 * (48440 \text{ Nmm})}{12\text{mm} * 5\text{mm} * 15\text{mm}}$$
$$\tau = 107,64 \text{ MPa}$$

El coeficiente de seguridad se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$n = \frac{S_{Sy}}{\tau} \quad (37)$$

Donde:

n: Coeficiente de seguridad [adimensional]

S_{Sy} : Resistencia a la fluencia de torsión [MPa]

τ : Esfuerzo cortante [MPa]

La resistencia a la fluencia a cortante se considera la mitad de la resistencia a la fluencia y al reemplazar los valores en la fórmula (37) tenemos:

$$n = \frac{0,5 * 530 \text{ MPa}}{107,64 \text{ MPa}}$$
$$n = 2,5$$

3.2.11.2 Análisis a aplastamiento

El esfuerzo a compresión se calcula con la siguiente fórmula:

$$\sigma_c = \frac{4T}{dLh} \quad (38)$$

Donde:

σ_c : Esfuerzo a compresión [MPa]

T: Torque [Nmm]

d: Diámetro del eje [mm]

h: Altura [mm]

L: Longitud [mm]

El esfuerzo a compresión es igual a:

$$\sigma_c = \frac{4 * 48440}{12\text{mm} * 15\text{mm} * 5\text{mm}}$$
$$\sigma_c = 215,28 \text{ MPa}$$

Para el análisis a compresión el coeficiente de seguridad se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$n = \frac{S_y}{\sigma_c} \quad (39)$$

Donde:

n: Coeficiente de seguridad [adimensional]

S_y : Resistencia a la fluencia [MPa]

σ_c : Esfuerzo a compresión [MPa]

Al reemplazar los valores se obtiene que el coeficiente de seguridad es igual a:

$$n = \frac{530 \text{ MPa}}{215,28 \text{ MPa}}$$

$$n = 2,5$$

El coeficiente de seguridad obtenido para la chaveta nos indica que no va a fallar a corte ni a compresión. En la tabla 24-3 se indica las dimensiones de la chaveta.

Tabla 24-3: Dimensiones de la chaveta calculada

Descripción	d (mm)	B	H	h ₁	h ₂
Eje	12	5	5	3	2,3

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.3 Sistema neumático

La clasificación de la fruta lo realizaremos mediante cilindros neumáticos que empujara la piña de acuerdo con sus características hacia la tolva correspondiente.

3.3.1 Selección del cilindro neumático

Para la selección de un cilindro es necesario conocer la fuerza que tiene que vencer que en nuestro caso es el peso de la piña para lo cual usaremos como masa 3kg, además de saber que la presión de trabajo son 7 Bar. Cabe indicar que se utilizara dos cilindros uno para clasificar la fruta de acuerdo al color y el otro se usara para separar la piña que no cumpla con la forma.

Usando la fórmula (18) y reemplazando el valor de la gravedad, obtenemos que el peso es igual a:

$$W = 3 \text{ Kg} * 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$W = 29.4 \text{ N}$$

El peso representa la fuerza que se necesita en el cilindro para empujar la piña y teniendo en cuenta el dato de presión calculamos el área que necesitamos para cada cilindro.

$$A = \frac{F}{P} \quad (40)$$

Donde:

A: Área del cilindro [m²]

F: Fuerza a ejercer por el cilindro [N]

P: Presión disponible [Pa]

El área del cilindro es igual a:

$$A = \frac{29,4 \text{ N}}{700000 \text{ N/m}^2}$$

$$A = 4,2 \times 10^{-5} \text{ m}^2 = 0,000042 \text{ m}^2$$

Con el área calculada y mediante una aproximación del vástago y cilindro de 1/3 del diámetro se determina el diámetro necesario para el cilindro, en la siguiente fórmula el área está en base a los diámetros.

$$A = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \quad (41)$$

Donde:

A: Área del cilindro [m²]

D: Diámetro del cilindro [m]

d: Diámetro del vástago [m]

Reemplazando el diámetro del vástago con la relación antes indicada se tiene:

$$A = \frac{\pi}{4} \left(D^2 - \left(\frac{D^2}{9} \right) \right)$$

$$A = \frac{2\pi}{9} D^2$$

Despejando el diámetro tenemos que es igual a:


$$D = \sqrt{\frac{9 * (0,000042) \text{ m}^2}{2\pi}}$$

$$D = 0,0077 \text{ m} = 8 \text{ mm}$$

El diámetro calculado es de 8 mm, pero por motivos de la carrera que debe realizar se selecciona un cilindro de mayor diámetro para evitar el pandeo. La carrera del cilindro que se requiere es la distancia hacia la tolva. Con una carrera de 300 mm y disponibilidad en el mercado se selecciona un cilindro del catálogo VPC PNEUMATIC.

El modelo seleccionado es MAL-CA-25x300-S cuyas especificaciones se muestran a continuación:

Tabla 25-3: Especificaciones del cilindro de doble acción

	Model :	MAL-CA-25x300-S
	Brand Name :	VPC PNEUMATIC
Specifications		
Bore (mm)	25	
Acting type	Double action	
Working medium	Clean air (40 µm Filtration)	
Mounting type	SDB: Trunnion bracket mounting	
Working pressure range	0.1 ~ 0.9 MPa	
Gursnteed pressure	1.5 MPa	
Working temperature	-5 ~ 70 °C	
Speed range	30 ~ 800 mm/s	
Port size	G1/8	

Fuente: (VPC PNEUMATIC, 2017)

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Para determinar que el cilindro seleccionado puede soportar la fuerza a la cual será sometido se calcula la fuerza a la cual pandea. Mediante la teoría de Euler se verificará el diámetro del vástago del cilindro de doble efecto.

$$F = \frac{K}{C_s} \quad (42)$$

Donde:

F: Fuerza [N]

K: Carga de pandeo [N]

Cs: Factor de seguridad [adimensional]

La carga de pandeo se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$k = \frac{\pi^2 * E * I}{Lp^2} \quad (43)$$

Donde:

K: Carga de pandeo [N]

E: Modulo de elasticidad $\left[\frac{N}{mm^2} \right]$

I: Inercia $[mm^4]$

Lp: Longitud libre de pandeo [mm]

Para la inercia se usa la siguiente fórmula:

$$I = \frac{\pi^2}{64} d^4 \quad (44)$$

Donde:

I: Inercia $[mm^4]$

d: Diámetro del vástago [mm]

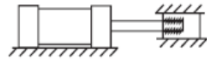
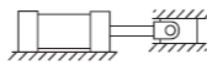

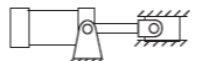
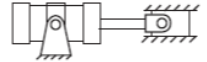
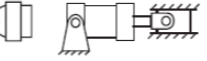
Del catálogo tenemos que el valor del diámetro del vástago es 10 mm, reemplazando los valores tenemos que la inercia es igual a:

$$I = \frac{\pi^2}{64} (10 \text{ mm})^4$$

$$I = 1542.12 \text{ mm}^4$$

Para la longitud del pandeo seleccionamos el caso de montaje que corresponde mediante la tabla 26-3 que se muestra a continuación.

Tabla 26-3: Casos con el factor para la longitud de pandeo

Recommended mounting Styles for Maximun Stoke and Thurst Loads	Rod End Connetion	Case	Stroke Factor
<p>Grupos 1 or 3</p> <p>Long stroke cylinders for thurst loads should be mounted using a heavy-duty mounting style at one end, firmly fixed and aligned to take the principal forcé. Additional mounting should be specified at the opposite end, which should be used for alignment and support. An intermediate support may also be desirable for long stroke cylinders mounted horizontally. See page 11 under “Tie Rod Supports – Rigidity of Envelope” for a guide. Machine mounting pads can be adjustable for support mountings to achieve proper alignment.</p>	Fixed and Rigidly Guided	<p>I</p> 	0.50
	Pivoted and Rigidly Guided	<p>II</p> 	0.70
	Supported but not Rigidly Guided	<p>III</p> 	2.00
<p>Group 2</p> <p>Style D – Trunnion on Head</p>	Pivoted and Rigidly Guided	<p>IV</p> 	1.00
Style DD – Intermediate Trunnion	Pivoted and Rigidly Guided	<p>V</p> 	1.50
<p>Style DB – Trunnion on Cap or</p> <p>Style BB – Clevis on Cap</p>	Pivoted and Rigidly Guided	<p>VI</p> 	2.00

Fuente: (Parker Hannifin Corporation, 2006)

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Para nuestro montaje corresponde al caso tres por lo que la longitud de pandeo es:

$$L_p = 2 * L \quad (45)$$

Donde:

L_p : Longitud libre de pandeo [mm]

L : longitud del vástago [mm]

$$L_p = 2 * 300 \text{ mm}$$

$$L_p = 600 \text{ mm}$$

Reemplazando en la fórmula (43) los valores calculados y con el módulo de elasticidad de $2,1 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ tenemos:

$$k = \frac{\pi^2 * \left(2,1 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right) * 1542,12 \text{ mm}^4}{(600 \text{ mm})^2}$$

$$k = 8878,4 \text{ N}$$

Con el valor de carga de pandeo calculamos la fuerza. El factor de seguridad se encuentra en los valores de 3.5 a 5 en nuestro caso seremos conservadores y usaremos un valor de 5 con lo que reemplazando en la fórmula (42) tenemos:

$$F = \frac{8878,4 \text{ N}}{5}$$

$$F = 1775,68 \text{ N}$$


El modelo de cilindro de doble acción seleccionado puede soportar una fuerza de 1775.68 N con esto determinamos que no existirá pandeo para la fuerza que se requiere en nuestro proceso. Como ya se dijo anteriormente se usarán dos cilindros de las mismas características para realizar la clasificación de las piñas.

3.3.2 Selección de electroválvulas

Para controlar la puesta en marcha, paro y dirección del fluido enviado por el compresor a los cilindros neumáticos se seleccionará dos electroválvulas 5/2 una para cada cilindro.

Del catálogo VPC PNEUMATIC se selecciona el modelo 4V 110 – 06 AC 110V la cual es una electroválvula monoestable en la tabla 27-3 se muestra sus características.

Tabla 27-3: Especificaciones técnicas de la electroválvula

	<p>Model : 4V 110 – 06 AC 110V</p> <p>Brand Name : VPC PNEUMATIC</p>
<p>Specifications</p>	
<p>Acting type</p>	<p>Internal guide</p>
<p>Working medium</p>	<p>Clean air (40 µm Filtration)</p>
<p>Join size</p>	<p>Import= 1/8 Export= 1/8 Exhaust= 1/8</p>
<p>Sectional area</p>	<p>12 mm² (CV=0.67)</p>
<p>Working pressure</p>	<p>0.15 ~ 0.9 MPa</p>
<p>Max. pressure</p>	<p>1.2 MPa</p>
<p>Working temperature</p>	<p>-5 ~ 60 °C</p>
<p>Voltage range</p>	<p>-15% ~ -10%</p>
<p>Heat resistant grade</p>	<p>B</p>
<p>Protective class</p>	<p>IP65(DIN40050)</p>
<p>Coil type</p>	<p>Din type, Flying leads</p>
<p>Max. acting frequency</p>	<p>5 Times/S</p>

Fuente: (VPC PNEUMATIC, 2017)


Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.3.3 *Tuberías neumáticas, racores y acoples*

3.3.3.1 *Tubería neumática*

La tubería es necesaria para conectar los diferentes elementos neumáticos y transportar el aire desde el compresor en la tabla se muestra las especificaciones de la tubería seleccionada.

Tabla 28-3: Especificaciones técnicas de la tubería neumática





	<p>Model : PU- 0604- C</p> <p>Brand Name : VPC PNEUMATIC</p>
<p>Specifications</p>	
<p>Min. working pressure at 20°C</p>	<p>10 (Bar)</p>
<p>Min. burst pressure at 20°C</p>	<p>30 (Bar)</p>
<p>Min. bend radius at 20°C</p>	<p>15 mm</p>
<p>Net weight (Kg/ Roll)</p>	<p>3.9</p>
<p>Material</p>	<p>Polyester Polyurethane</p>
<p>Tube color</p>	<p>C (Clear)</p>
<p>Hardness</p>	<p>95 A ~ 98 A</p>
<p>Fluid</p>	<p>Air, Water</p>
<p>Environment and fluid temperature</p>	<p>-20 °C ~ 80 °C</p>

Fuente: (VPC PNEUMATIC, 2017)

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.3.3.2 Racores y acoples

Tabla 29-3: Especificaciones técnicas de los elementos de unión neumáticos

	<p>Model : VPC 06-04</p> <p>Brand Name : VPC PNEUMATIC</p>
	<p>Model : VPY 06</p> <p>Brand Name : VPC PNEUMATIC</p>
	<p>Model : VSC 06-04</p> <p>Brand Name : VPC PNEUMATIC</p>
	<p>Model : SU-6 1/8'' 16</p> <p>Brand Name : VPC PNEUMATIC</p>

Fuente: (VPC PNEUMATIC, 2017)

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.3.4 Unidad de mantenimiento neumático

La unidad de mantenimiento neumático es la encargada de mantener el aire limpio sin impurezas en el sistema, de esta manera se evita que los elementos se dañen, se deterioren y no funcionen correctamente. La unidad está constituida por un filtro de aire, un regulador de presión y un lubricador de aire. Del catálogo VPC PNEUMATIC se selecciona el modelo AC 20 10 -01 cuyas especificaciones se muestran en la tabla a continuación.



Figura 30-3. Unidad de mantenimiento neumática

Fuente: (VPC PNEUMATIC, 2017)

Tabla 30-3: Especificaciones técnicas de la unidad de mantenimiento neumática

Model	AC 20 10 - 01
Brand name	VPC PNEUMATIC
Guaranteed pressure resistance	1.5 MPa
Max. working pressure	1.0 MPa
Working temperature	5 ~ 60 °C
Filter precision	25 µm (5 µm is optional)
Recommended oil	Turbine No1 Oil ISOVG32
Bowl material	Polycarbonate
Pressure adjusting range	0.05 ~ 0.7 MPa
Valve type	With overflow

Fuente: (VPC PNEUMATIC, 2017)

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.3.5 Esquema del circuito neumático

Con los elementos seleccionados se realiza el esquema del circuito neumático el cual se compone de dos cilindros de doble efectos, dos electroválvulas monoestables de pilotaje eléctrico para el accionamiento de los cilindros, 4 silenciadores para disminuir el ruido en el proceso, la unidad de mantenimiento y el compresor. En la figura 31-3 se muestra la disposición de cada elemento.

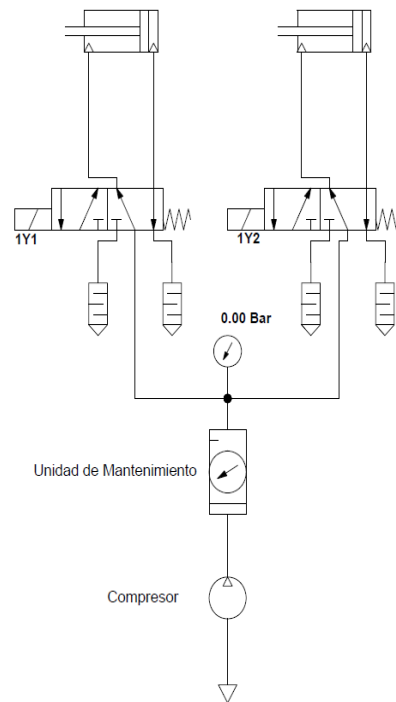


Figura 31-3. Esquema del circuito neumático

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020


3.4 Selección de elementos eléctricos y electrónicos

3.4.1 Elementos eléctricos

3.4.1.1 Protección eléctrica

Para proteger el motor contra sobrecargas y cortocircuitos se selecciona un guardamotor modelo EGV2-M08. En la tabla 31-3 se muestra las especificaciones técnicas del modelo que se utilizó.

Tabla 31-3: Especificaciones del guardamotor

	Modelo : EGV2-M08 Marca : EBASEE	
Especificaciones		
Normativa	IEC947-2 IEC947-4-1	
Corriente nominal	2.5 ~ 4 Amp	
Voltaje nominal	690 V	
Frecuencia nominal	50/60 Hz	
Grado de protección	IP20	
Temperatura ambiente	-5 ~ +40 °C	


Fuente: EBASEE. 2012

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.4.1.2 Fusible cilíndrico y base para fusible cilíndrico

Para proteger el circuito eléctrico en caso de que la corriente comience a aumentar se utilizará un fusible con su respectiva base. En la tabla 32-3 se indica las especificaciones técnicas de los elementos seleccionados.

Tabla 32-3: Especificaciones del fusible y base.

	Modelo : Base del fusible RT 18-32A Marca : Camsco	Modelo : Fusible RT14-20- 6A Marca : Camsco
Especificaciones		
Voltaje nominal	500 V	500 V
Corriente nominal	32 A	6 A
Tipo de fusible	RT 14-20	


Fuente: Camsco Electric. 2019

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.4.1.3 Contactor

Para habilitar o cortar el paso de corriente hacia el motor se usará un contactor de la marca Ebasee las especificaciones se muestran en la tabla 33-3.

Tabla 33-3: Especificaciones del contactor

	Modelo : LC1-D AC Marca : EBASEE
Especificaciones	
Normativa	IEC60947-4
Corriente nominal	9 Amp
Voltaje nominal	220/240 V
Frecuencia nominal	50/60 Hz
Grado de protección	IP20
Temperatura ambiente	-5 ~ +40 °C

Fuente: EBASEE. 2012

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.4.1.4 Relé

Para el accionamiento del contactor trifásico y las electroválvulas se utiliza módulos de relé de 5V, debido a que ese voltaje tenemos en la fuente de la Raspberry y vienen acondicionados para usarlos directamente.



Figura 32-3. Relé de 5V

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.4.1.5 Paro de emergencia

Como medida de seguridad se utiliza un pulsador como paro de emergencia con el fin de evitar accidentes al personal, daños en los componentes de la máquina o instalaciones, el cual se activará con una sola maniobra ejercida por una sola persona que apagará el sistema en caso de alguna falla.

Tabla 34-3: Especificaciones del pulsador

	Modelo : LMB – BS5 Marca : Camsco
Especificaciones	
Normativa	IEC-/EN60947-5-1
Diámetro	40 mm
Forma del cabezal	Redondo
Configuración de contacto	1 N/C


Fuente: Camsco Electric. 2019

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.4.1.6 Luz piloto

Para indicar el paso de electricidad se usa luz piloto la cual nos indica de una forma visual que esta encendido algún equipo o la máquina está realizando algún proceso.

Tabla 35-3: Especificaciones de la luz piloto

	Modelo : AD16-22D/S Marca : Camsco
Especificaciones	
Diámetro	22 mm
Forma del cabezal	Redondo
Voltaje	110-120 V AC/DC

Fuente: Camsco Electric. 2019

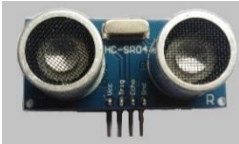
Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.4.2 Elementos electrónicos

3.4.2.1 Sensor ultrasónico

El sensor ultrasónico usa ondas ultrasónicas para realizar mediciones. Su funcionamiento es simple cuando el impulso de onda encuentra un objeto, es reflejado y es medido en distancia. Para nuestro proceso se usará un sensor ultrasónico HC-SR04

Tabla 36-3: Especificaciones del sensor ultrasónico

	Model: Ultrasonic HC-SR04
Voltaje	5 V
Corriente	15 m A
Frecuencia	40 Hz
Max, Rango	400 cm
Min. Rango	2 cm
Angulo de medición	15 °
Señal de entrada	10 μs


Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.4.2.2 Raspberry Pi 4

Para el control del prototipo de máquina clasificadora de piñas se utiliza una Raspberry Pi 4 modelo B, la cual se encargará del encendido y apagado del motor, ejecutará las lecturas de los sensores, activar y desactivar los cilindros neumáticos, así como también controlará la captura y procesamiento de las imágenes.

Tabla 37-3: Especificaciones de Raspberry Pi 4 Modelo B

	<p>Modelo : Raspberry Pi 4 Modelo B</p>
<p>Especificaciones</p>	
<p>Procesador</p>	<p>Broadcom BCM2711, quad-core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC @ 1.5GHz</p>
<p>Memoria</p>	<p>1 GB</p>
<p>Conectividad</p>	<p>2.4 GHz and 5GHz IEEE 802.11b/g/n/ac wireless LAN, Bluetooth 5.0, BLE Gigabit Ethernet 2 x USB 3.0 ports 2 x USB 2.0 ports</p>
<p>GPIO</p>	<p>Standard 40-pin GPIO header</p>
<p>Video y sonido</p>	<p>2 x micro HDMI ports (up to 4Kp60 supported) 2-lane MIPI DSI display port 2-lane MIPI CSI camera port 4-pole stereo audio and composite video port</p>
<p>Multimedia</p>	<p>H.265 (4Kp60 decode) H.264 (1080p60 decode, 1080p30 encode) OpenGL ES, 3.0 graphics</p>
<p>Soporte de tarjeta SD</p>	<p>Micro SD card slot for loading operating system and data storage</p>
<p>Potencia de entrada</p>	<p>5V DC via USB-C connector (minimum 3A) 5V DC via GPIO header (minimum 3A) Power over Ethernet (PoE)-enabled (requires separate PoE HAT)</p>
<p>Medio ambiente</p>	<p>Operating temperature 0 – 50°C</p>


Fuente: Raspberry Pi. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.4.2.3 Cámara Raspberry Pi

Para realizar la adquisición de imágenes necesarias que se utilizarán para cada etapa de la implementación de visión artificial, así como también para posteriormente el reconocimiento de la fruta mediante una imagen capturada y comparada de acuerdo con las características deseadas se usara una cámara Raspberry Pi de 5 megapíxeles.

Tabla 38-3: Especificaciones cámara Raspberry Pi

	Modelo : OV5647 A/B/B
	Marca : Raspberry Pi
Especificaciones	
Resolución fija	5 Megapíxeles
Modo de video	1080p30, 720p60 y 640x480p60/90
Tamaño	18 cm x 2.5 cm x 0.9 cm
Peso	5 gramos


Fuente: Raspberry Pi. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.4.2.4 Pantalla táctil 7" LCD

Para poder visualizar el proceso en tiempo real es necesario una pantalla que se conecte con la Raspberry Pi, para lo cual se usara una pantalla de 800 x 480 de resolución.

Tabla 39-3: Especificaciones pantalla táctil

	Modelo : 7 Inch Display Raspberry Pi
	Marca : OEM
Especificaciones	
Tamaño de la pantalla	7 pulgadas
Resolución estándar	800 x 480
Relación de contraste	500:1
Pantalla táctil	Capacitiva
Voltaje	5 V por entrada USB
Corriente	2.5 A por entrada USB

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.5 Control del prototipo de máquina clasificadora de piñas

El prototipo de máquina clasificadora de piñas está basado en un sistema automático de clasificación utilizando el reconocimiento del color y forma de la piña por medio de visión artificial. Para que el proceso se realice de manera automática será necesario inicializar la interfaz de usuario, la cual esperara la detección de la piña al inicio del transportador para encender el motor transportándola una determinada distancia en la cual va a hacer detectada nuevamente por otro sensor que detendrá el motor para la adquisición de la imagen que se requiere para ejecutar el algoritmo de visión artificial. De acuerdo con el reconocimiento se realizan las acciones que permitirán la clasificación. Para la clasificación es necesario separar la piña, si es madura y de forma correcta se enciende el motor y continua su trayectoria, en el caso de ser una piña no madura y de forma correcta se enciende el motor por un determinado tiempo hasta la ubicación del cilindro neumático que se activa para separarla del transportador por la tolva. Para la piña que sea de forma incorrecta inmediatamente se activara el cilindro neumático separándola por la otra tolva. A continuación, en la figura 33-3 se presenta el algoritmo del proceso de clasificación de piñas.

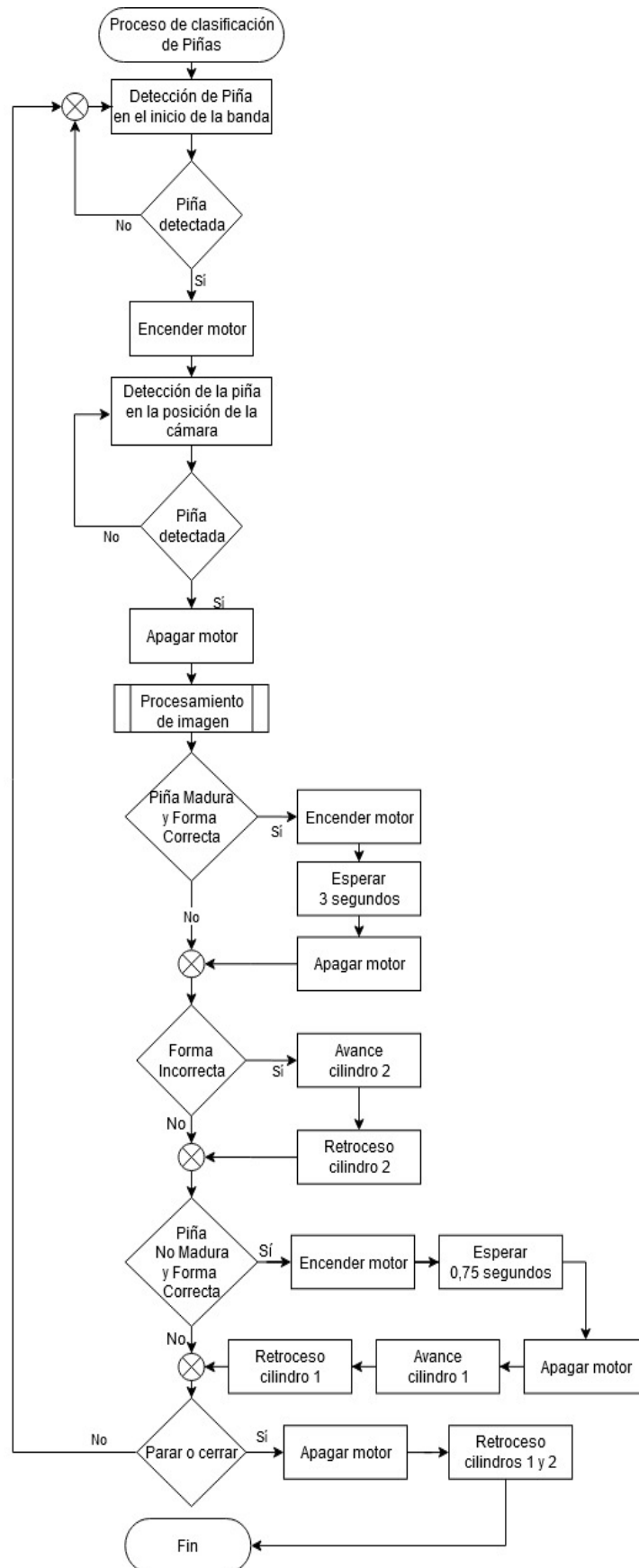


Figura 33-3. Algoritmo del proceso de clasificación de piñas.

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.5.1 *Etapa de control*

Para el control del prototipo se utilizará una Raspberry Pi 4B en la cual se cargará el código controlador realizado en Python. En la Raspberry Pi mediante entradas y salidas se va a obtener la adquisición de datos, se podrá controlar la activación del motor y actuadores, así como también la visualización mediante una interfaz gráfica. Python es un lenguaje de programación muy amigable, de código legible y puede ser usado en muchas plataformas. Dentro de los beneficios de usar este lenguaje de programación está el que se puede importar diferentes librerías que ayudan al desarrollo de un proyecto. Para el control de la cámara se utilizará Picamera y para el procesamiento las librerías de OpenCV. A continuación, se muestra las librerías que se necesitan implementar.

```
import cv2
import RPi.GPIO as GPIO
import time
import tkinter as tk
from tkinter import ttk
import threading
from PIL import Image
from PIL import ImageTk
from picamera import PiCamera
import picamera.array
import numpy as np
import sys
```

Figura 34-3. Librerías importadas

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.5.1.1 *Adquisición de señal de los sensores*

Para la adquisición de datos de los sensores se hace uso de electrónica externa. Las entradas de los pines de la Raspberry Pi se manejan con valores que se encuentran en el rango de 0v y 3,3v, el circuito diseñado permitirá el funcionamiento de los sensores a 5v y además el paso de la señal convirtiendo el voltaje a 3.3v que es un valor aceptado por las entradas de la Raspberry Pi. En la figura 35-3 se muestra el esquema correspondiente.

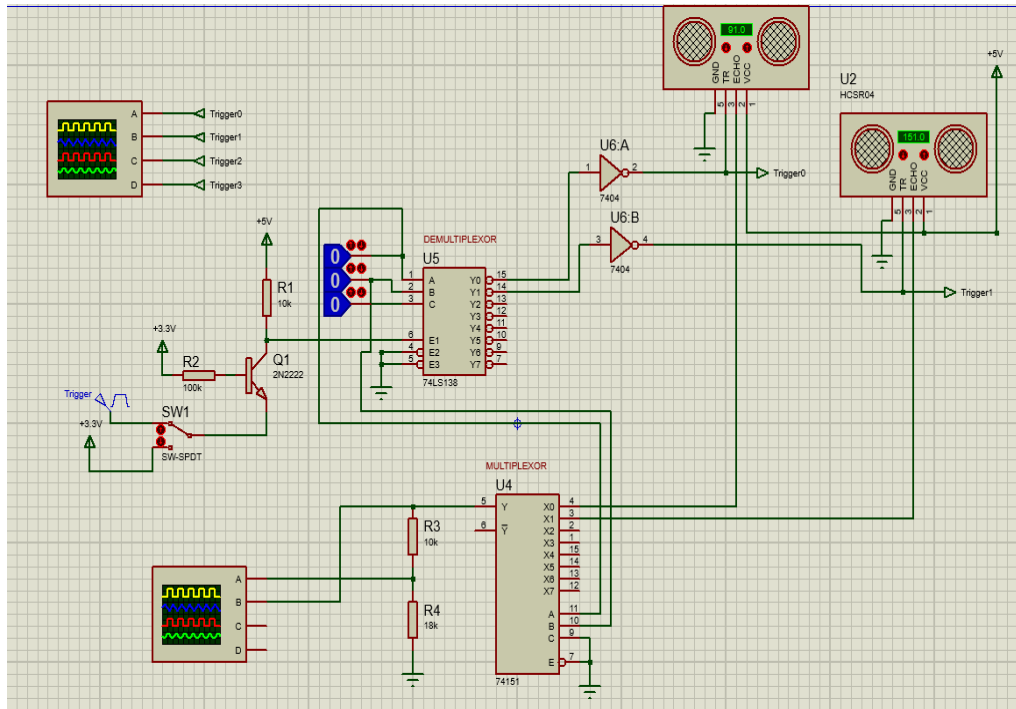


Figura 35-3. Esquema para la adquisición de señal de los sensores

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

En el esquema para la adquisición de señal de los sensores, se indica una conversión de voltaje a la señal emitida mediante el trigger de 3.3v a 5v, se hace uso de un demultiplexor y multiplexor para el manejo de los dos sensores mediante canales de selección. De la salida del multiplexor se acondiciona un divisor de voltaje a 3.3v que se convertirá en la señal de entrada hacia los GPIOs de la Raspberry Pi. En la figura 36-3 se muestra el esquema de conexión.

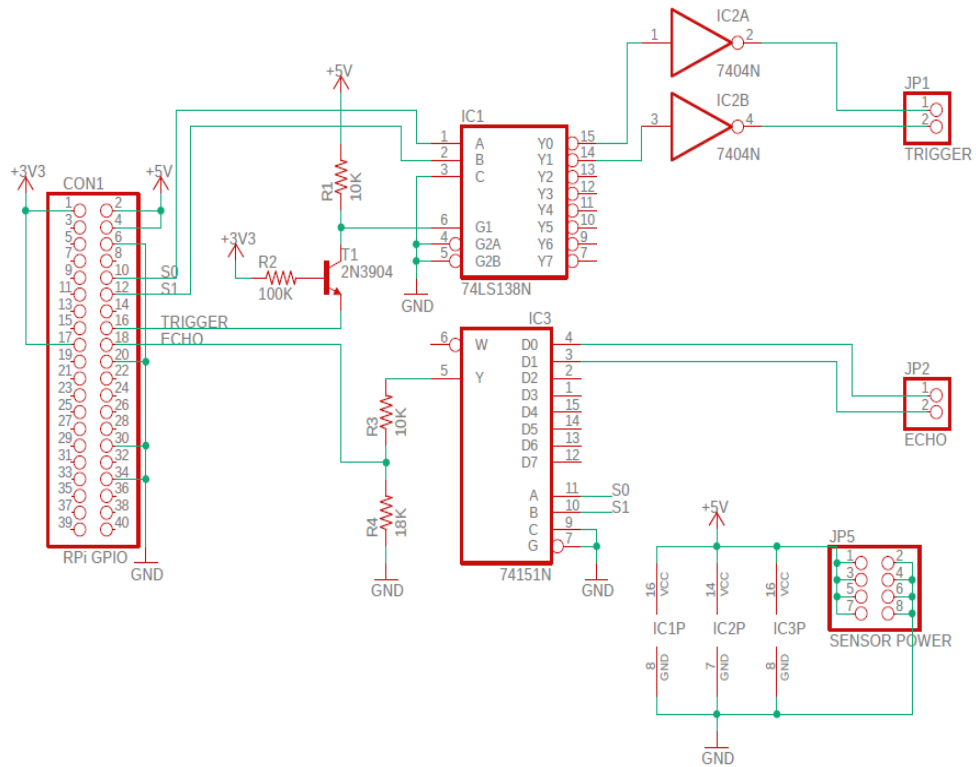


Figura 36-3. Esquema de conexión para la adquisición de señal de los sensores.

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.5.2 Esquema de los circuitos de potencia y control

El esquema de conexión mostrado en la figura 37-3 indica los elementos electrónicos que funcionan con la Raspberry Pi. Los módulos de relé se accionan según la señal de control de la Raspberry Pi que es el elemento controlador principal. Si la bobina del relé 1 se acciona cierra el contactor K1 lo que permite que el motor se encienda los mismo sucede cuando la señal de control de CIL1 se activa, en este caso se acciona la bobina del relé 2 que cierra el contactor K2 activando el solenoide de la electroválvula 1. La electroválvula 2 se activa con la señal de control CIL2 que acciona la bobina del relé 3 cerrando el contactor K3.

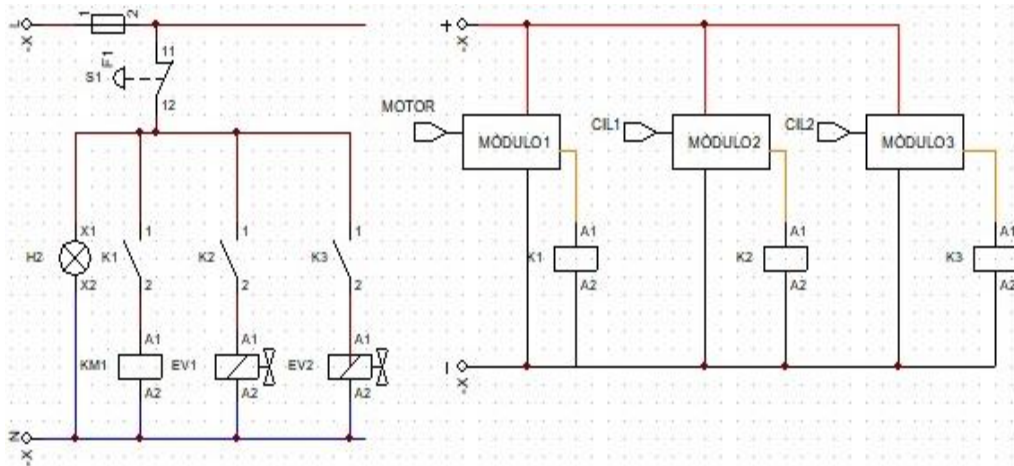


Figura 37-3. Esquema del circuito de control

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

El esquema del circuito de fuerza se muestra en la figura 38-3 en el cual se encuentran el contactor y guardamotor que permiten la puesta en marcha y paro del transportador de rodillos de acuerdo a la señal de control de la Raspberry Pi.

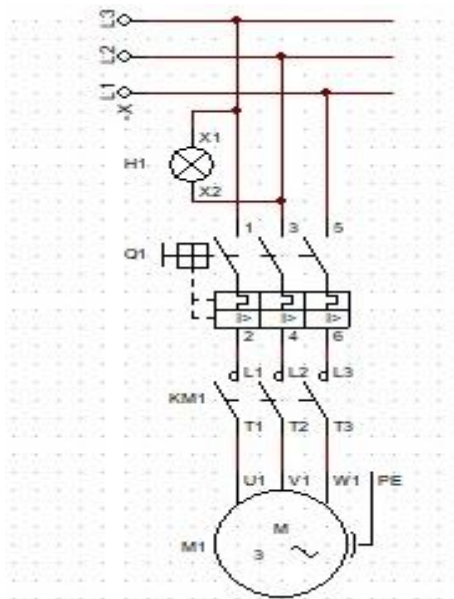


Figura 38-3. Esquema del circuito de fuerza.

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

El esquema de conexión del prototipo de máquina clasificadora de piñas que se muestra a continuación en la figura 39-3 se pueden observar las entradas y salidas que se designaron de acuerdo con el requerimiento en el proceso. Para nuestro caso es necesario una entrada y ocho salidas.

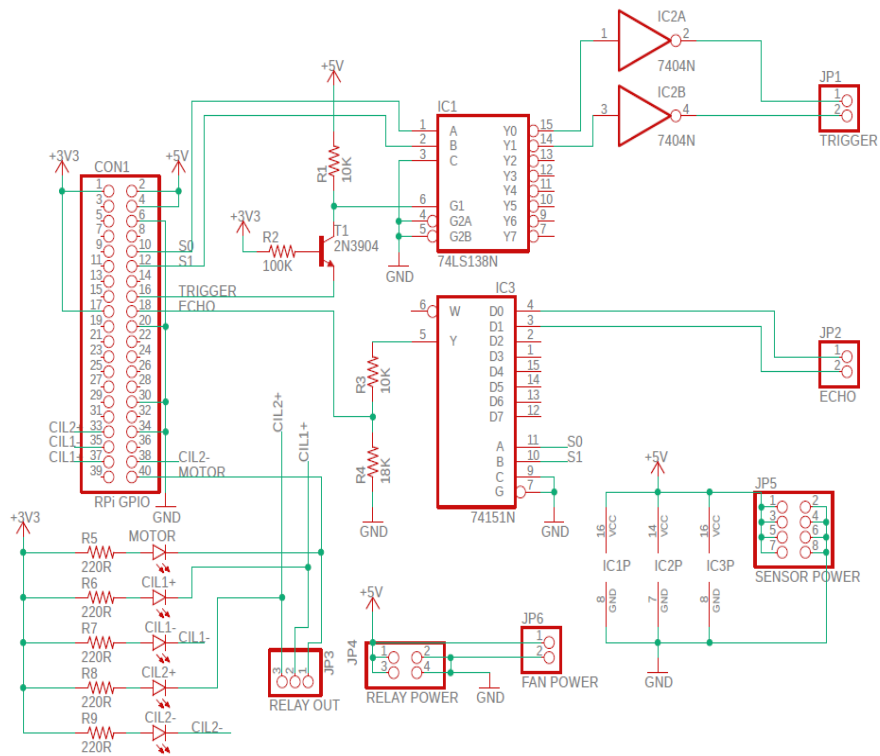


Figura 39-3. Esquema de conexión del sistema electrónico

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.5.3 Diseño de la placa PCB

En el diseño realizado de la placa electrónica del prototipo de máquina clasificadora de piñas, se diagraman las conexiones de los diferentes componentes de acuerdo con el esquema de conexión. En la figura 40-3 se muestra el diseño.

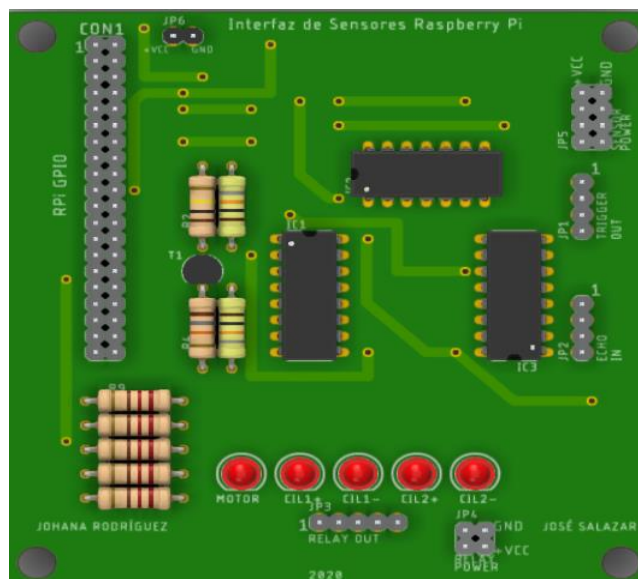


Figura 40-3. Diseño de la placa PCB

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.5.4 Desarrollo de la interfaz gráfica de usuario

Para el desarrollo de la interfaz gráfica de usuario se hace uso de la librería y módulo Tkinter de Python como se indicó en la figura 34-3, mediante la creación de una ventana diseñada con zonas de interés para el usuario entre las más importantes que permita controlar el proceso realizado e indique información de la clasificación realizada por el prototipo de máquina clasificadora de piñas. En la figura 41-3 se muestra la ventana principal con los marcos (frame) y botones necesarios para el funcionamiento del prototipo.

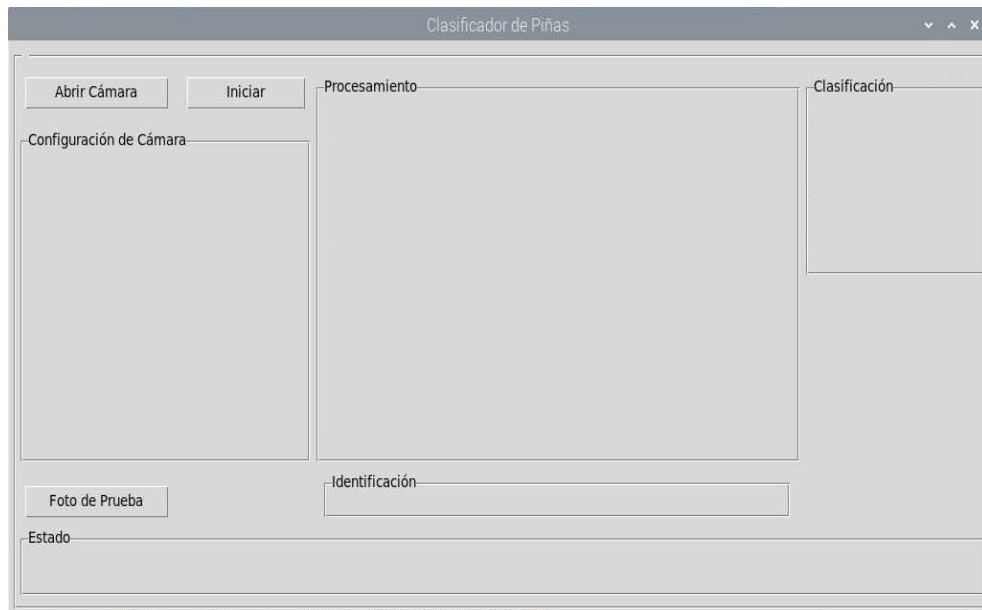


Figura 41-3. Ventana principal de la interfaz gráfica de usuario.

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.5.4.1 Configuración de la cámara en la interfaz gráfica de usuario

En la interfaz gráfica de usuario se designó un área para la configuración que muestra ciertas funciones que se pueden modificar en la cámara Raspberry Pi. Para el balance de blancos y modo de exposición se utilizará un menú de opciones desplegable y para las demás se determinó como se muestra en la figura 42-3.

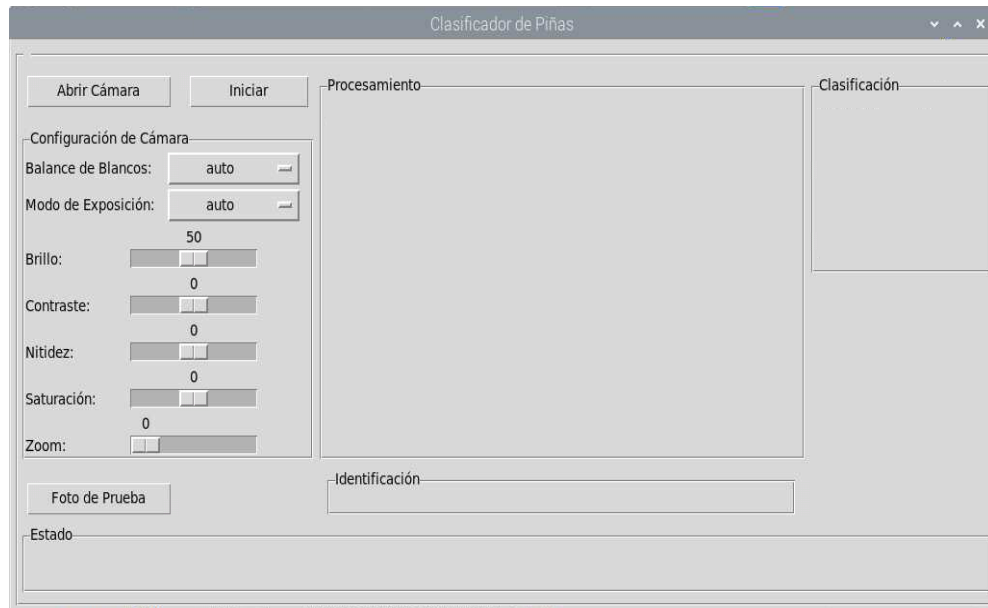


Figura 42-3. Configuración de la cámara en la interfaz gráfica de usuario

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.5.4.2 Visualización de la imagen en la interfaz gráfica de usuario

En la ventana principal se encuentra un área denominada procesamiento, en la cual se visualizará la imagen adquirida por la cámara y la imagen procesada. En la figura 43-3 se muestra la configuración en la ventana principal.

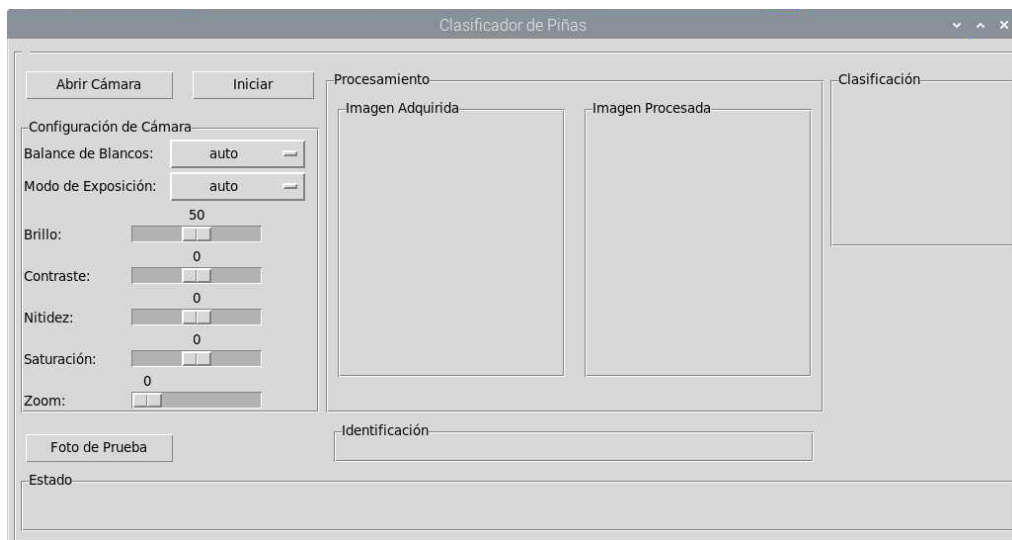


Figura 43-3. Visualización de la imagen en la interfaz gráfica de usuario

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.5.4.3 Visualización de la clasificación en la interfaz gráfica de usuario

En la ventana principal se determina una sección denominada clasificación en la cual se asigna contadores para indicar el número de piñas que corresponde a cada tipo, en este caso para maduras, no maduras, deforme y no deforme. En la figura 44-3 se muestra el resultado de la interfaz gráfica de usuario.

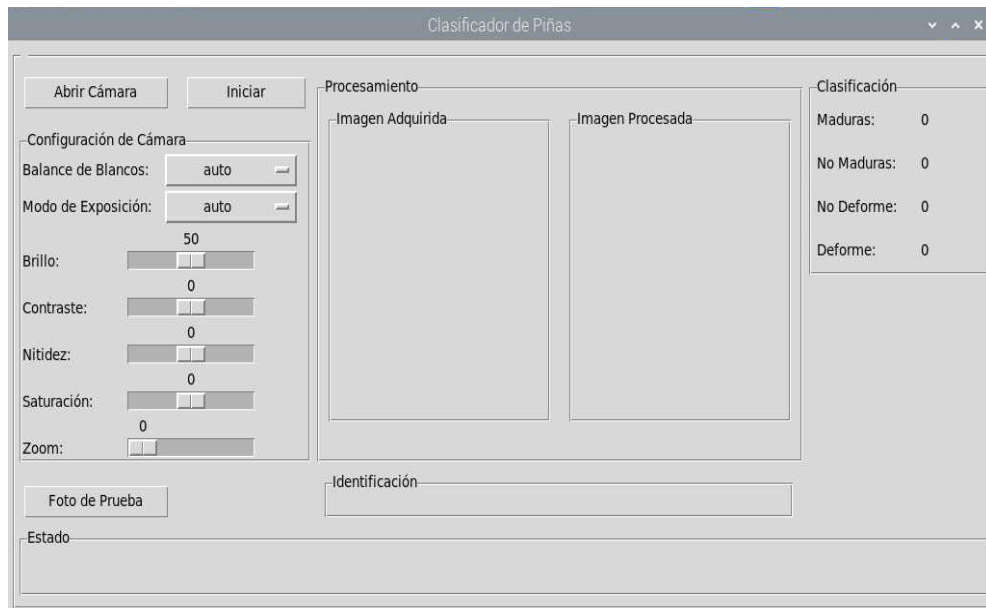


Figura 44-3. Interfaz gráfica de usuario

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.5.4.4 Control del prototipo mediante la interfaz gráfica de usuario

La interfaz gráfica de usuario es desarrollada con el objetivo de que cumpla a cabalidad su papel de intermediario con el usuario por esta razón en la figura 45-3 se muestra su función de acuerdo con lo dispuesto en la ventana principal.

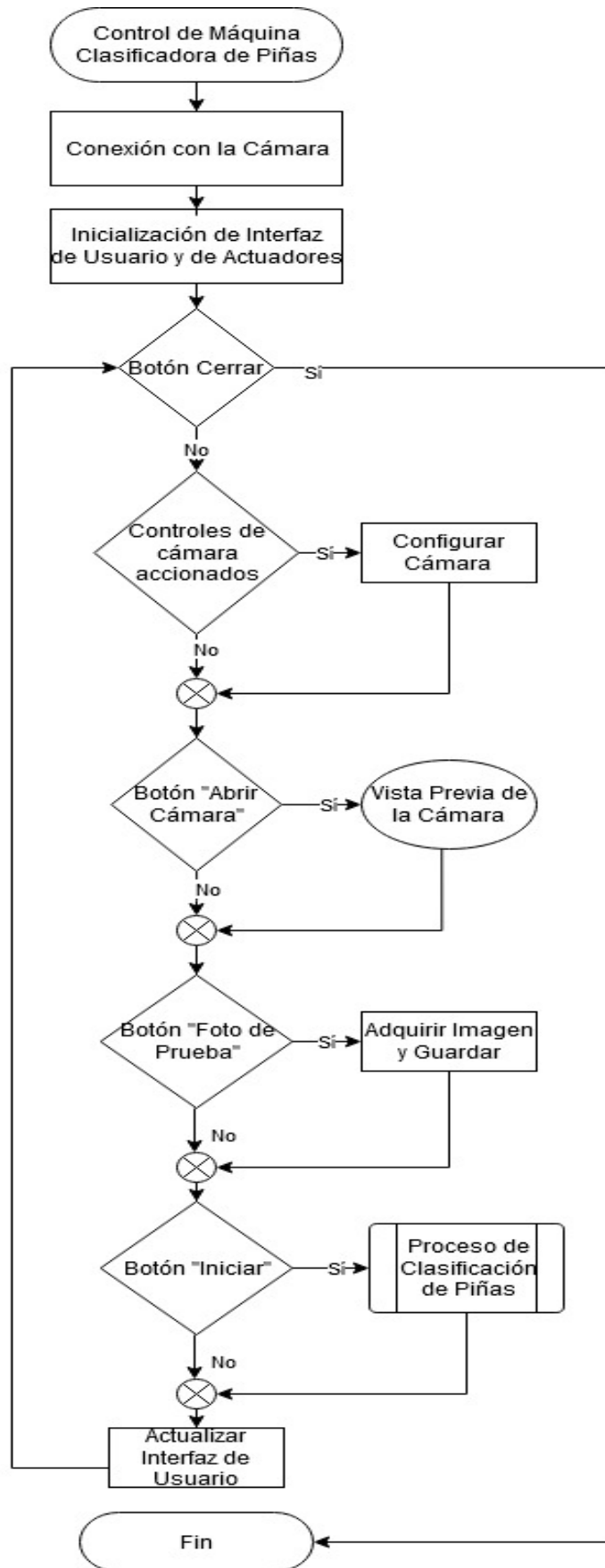


Figura 45-3. Control del prototipo mediante la interfaz gráfica de usuario

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.5.5 Desarrollo del algoritmo de visión artificial

El algoritmo de visión artificial se desarrolla mediante la metodología mostrada en la figura 46-3 en la cual se muestra el diagrama de las etapas más importantes utilizadas para el desarrollo y la función de cada una de ellas para lograr el reconocimiento de la piña mediante el color y forma.

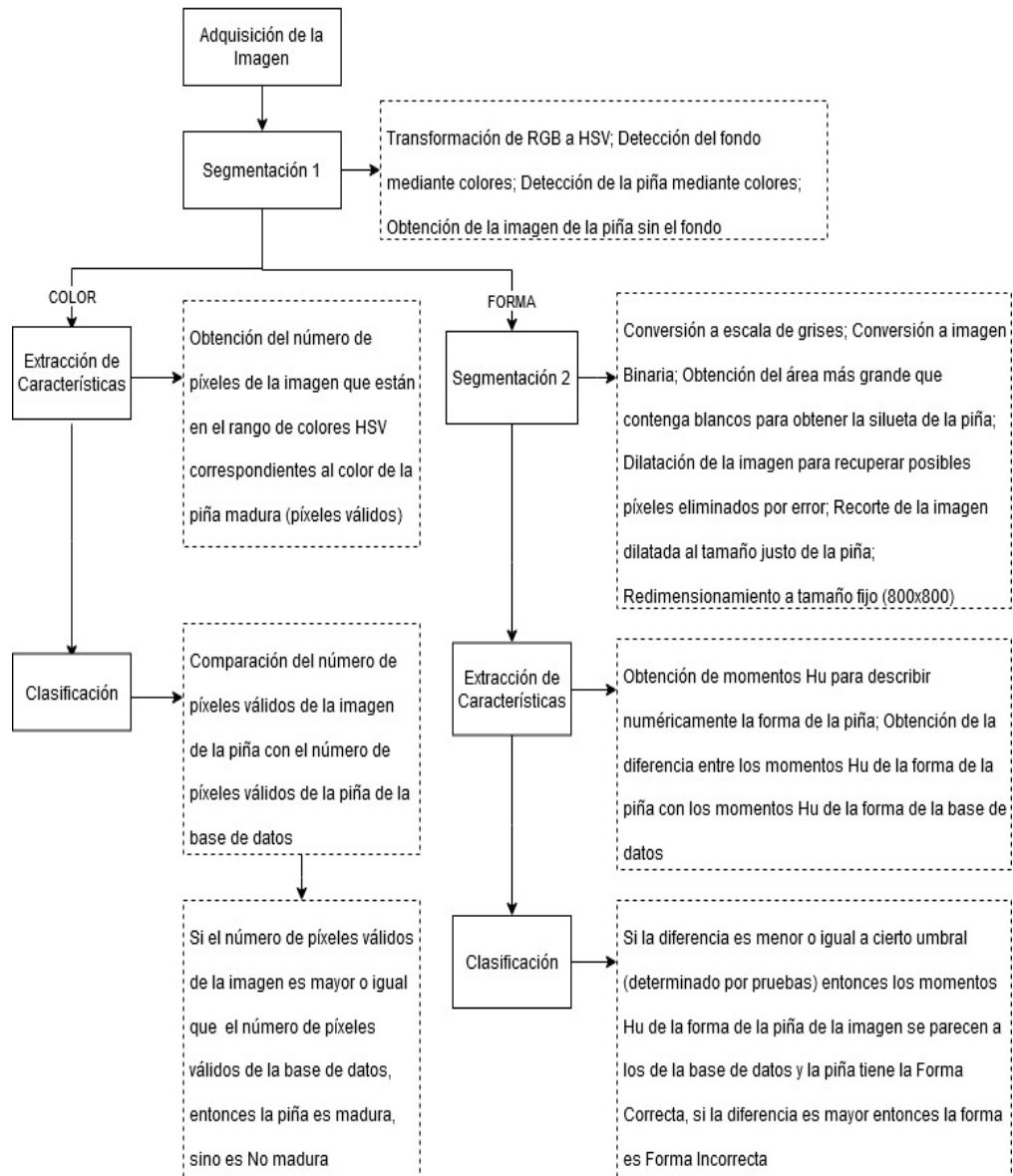


Figura 46-3. Diagrama para el desarrollo del algoritmo de visión artificial.

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.5.5.1 Adquisición de la imagen

Para la adquisición de la imagen se usará la cámara Raspberry Pi de 5 megapíxeles que por su tamaño facilita la implementación e instalación, además que por sus características y

especificaciones las imágenes son de calidad lo cual permite la obtención de una buena base de datos y en el proceso un buen análisis de las características. La adquisición de la imagen es importante ya que de esta depende el posterior reconocimiento de acuerdo con los parámetros requeridos para la piña.



Figura 47-3. Adquisición de la imagen de la piña.

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.5.5.2 Captura de la imagen

El algoritmo se desarrollará en Python por lo que para la captura de la imagen primero se utiliza la variable cámara para gestionar la comunicación con la librería Picamera. En la figura 48-3 se muestra la función denominada tomar foto en donde se indica el proceso para la captura de la imagen de la piña.

```
def tomarFoto():
    global inicio
    captura = picamera.array.PiRGBArray(camara)
    camara.capture(captura, format = "bgr")
    imagen = captura.array
    mostrarEstado("Imagen Adquirida")
    print("\nImagen Adquirida\n")
    return imagen
```

Figura 48-3. Función tomar foto.

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.5.5.3 Segmentación de la imagen

En el proceso de segmentación la primera operación que se realiza es la transformación de la imagen del espacio de color RGB al espacio de color HSV como se muestra en la figura 49-3 en

la cual en la parte izquierda se observa la imagen adquirida de una piña madura. En el espacio de color HSV cada color trabaja con 3 componentes básicas que son: matiz, saturación y luminancia.

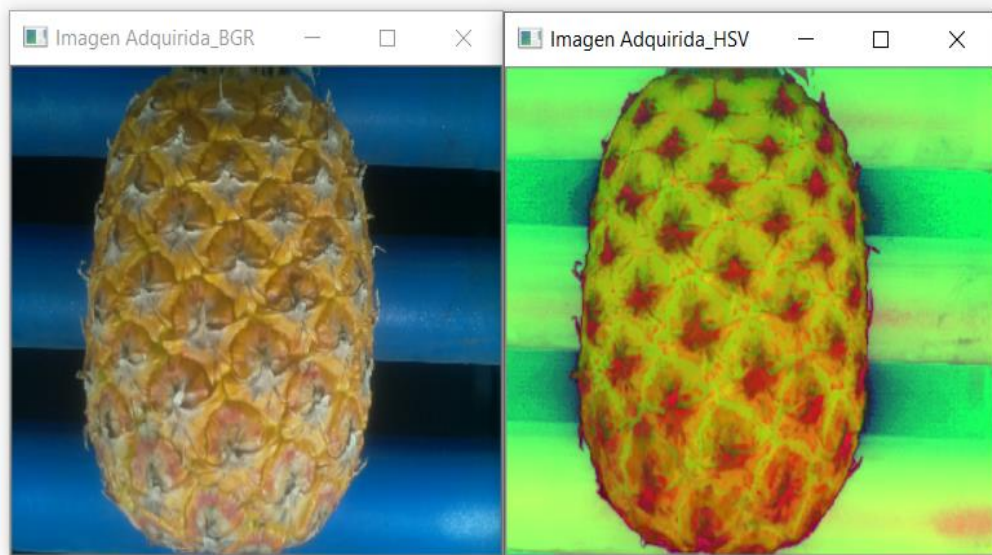


Figura 49-3. Transformación del espacio de color de la imagen adquirida

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Para continuar con el proceso se realiza la segmentación basada en umbralizado. La umbralización nos permite detectar el rango de colores pertenecientes al fondo como también el rango de colores pertenecientes a la piña, cada píxel se analiza determinando a quien corresponde dependiendo de si el valor del píxel es superior o inferior a un valor denominado umbral. Esto nos permite separar la imagen como se muestra en la figura 50-3 en la cual se observa la imagen binaria que corresponde al fondo.

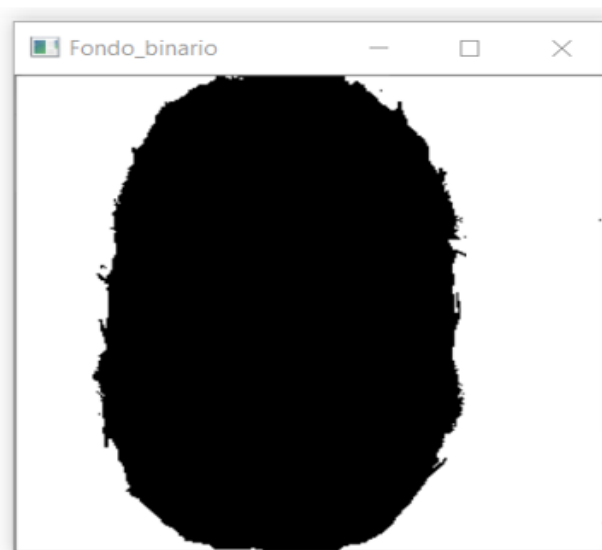


Figura 50-3. Separación del fondo y la piña.

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Del resultado anterior se transforma al espacio de color RGB para poder realizar ciertas operaciones como una sustracción entre la imagen adquirida y el fondo, además una adición como se muestra en la figura 51-3 en la cual podemos observar lo antes mencionado realizado en la segmentación.

```
img_HSV = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2HSV)
imFondo_Binaria = separarFondo(img_HSV)
imPina_Binaria = separarPina(img_HSV)
imFondo_BGR = cv2.bitwise_and(img, img, mask = imFondo_Binaria)
imPina_BGR = cv2.bitwise_and(img, img, mask = imPina_Binaria)
imPinaSegmentadaColor_BGR = cv2.subtract(img, imFondo_BGR)
imPinaSegmentadaColor_BGR = cv2.add(imPinaSegmentadaColor_BGR, imPina_BGR)
```

Figura 51-3. Comandos utilizados en la segmentación de la imagen

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

El resultado de lo realizado hasta este punto en Python se muestra en la figura 52-3 en donde se observa la imagen de la piña segmentada por color. Esta primera segmentación es útil para continuar con el proceso de extracción de características para lograr el reconocimiento de las piñas por su color y forma.



Figura 52-3. Imagen piña segmentada por color

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.5.5.4 Extracción de características para el reconocimiento por color

Para realizar la extracción de características es necesario transformar la imagen del proceso anterior al espacio de color HSV. En esta etapa se realiza la obtención del número de píxeles de la imagen que está en el rango de colores HSV correspondientes al color de la piña madura, a esto se le denominará una función píxeles válidos.

```
imColorHSV = cv2.cvtColor(imBGR, cv2.COLOR_BGR2HSV)
for i in range(len(umbralHSV_alto)):
    im.append(cv2.inRange(imColorHSV, umbralHSV_bajo[i], umbralHSV_alto[i]))
a = im[0]
for i in range(len(im)):
    a = cv2.add(a, im[i])
matrizPíxelesMadura=a
píxelesValidos = cv2.countNonZero(matrizPíxelesMadura)
print('\nPíxeles correspondientes a madura: {}'.format(píxelesValidos))
return píxelesValidos
```

Figura 53-3. Extracto de la función para obtener píxeles

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.5.5.5 Segmentación de la imagen por forma

Debido a que también se requiere el reconocimiento de la forma de la piña es necesario implementar una segunda segmentación para la cual la imagen obtenida en la primera segmentación se transforma a escala de grises y luego a una imagen binaria. Para lo cual se usa los siguientes comandos indicados a continuación y en la figura 54-3 se muestra las imágenes obtenidas.

```
imPina_Gris=cv2.cvtColor(imPinaSegmentadaColor_BGR, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
imPinaForma_Binaria = cv2.bitwise_not(cv2.bitwise_not(imPina_Gris))
```

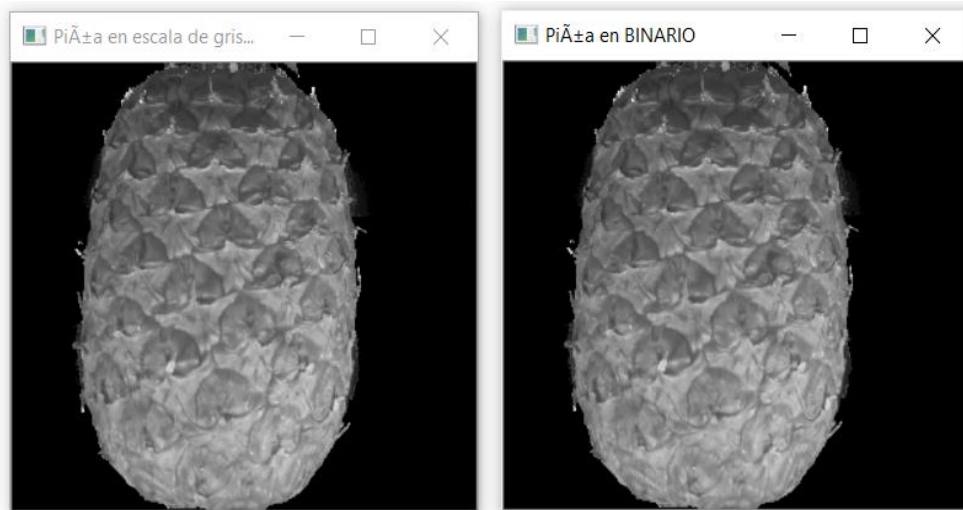


Figura 54-3. Imagen de la piña en escala de grises y binaria.

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Como la piña va a transportarse una distancia hasta lograr colocarse en el punto adecuado para la obtención de la imagen, va a interferir los rodillos que son el fondo con el cual es adquirida la imagen por esta razón es necesario eliminar ciertas manchas que puede resultar del fondo considerando que es de color azul y que al encontrarse en movimiento el color de la superficie del rodillo puede variar de una piña a otra al momento de capturar la foto. Para eliminar las posibles imperfecciones del fondo se obtiene el número de pixeles conectados, es decir obtenemos los componentes de la imagen que tienen conexión. Los que están asociados entre sí que tienen pixeles blancos muy cerca y que corresponderán a una sola imagen que sería la silueta de la piña. En nuestro caso se obtiene para toda la imagen y se necesita obtener el de mayor tamaño que será el que corresponda a la piña. En la figura 55-3 se muestra la imagen binaria del resultado.

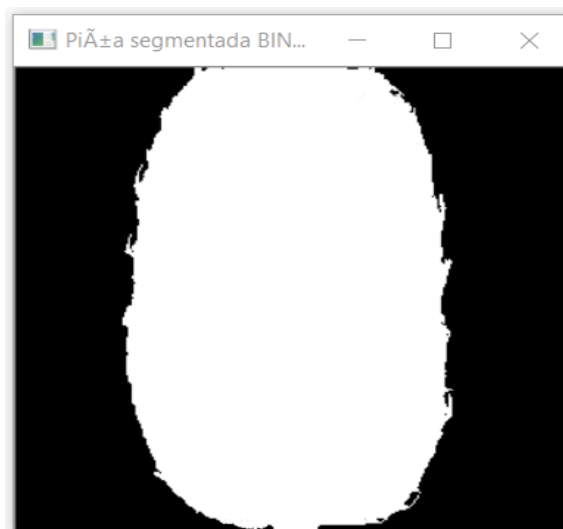


Figura 55-3. Piña segmentada imagen binaria

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Para continuar con la segmentación se utiliza la operación morfológica dilatación, mediante la cual se pretende rellenar el área de la piña en el caso de que quedaran ciertas imperfecciones, esto se podría presentar en el caso de piñas verdes. En Python dilatamos la imagen usando el elemento estructural predefinido en kernel que en nuestro caso es una elipse y se realiza dos iteraciones. Después de realizar la operación dilatación es necesario recortar la imagen que corresponda a la piña, la imagen tiene pixeles blancos y negros se necesita encontrar los pixeles blancos para lo cual se usa una función que encontrara los índices en la imagen que corresponda a pixeles que sean distintos de cero. Esto es útil para encontrar el recuadro que se necesita recortar ya que se obtiene el píxel con valor de coordenada x mínimo y correspondería al píxel más lejano hacia la izquierda, y así mismo con el máximo de la coordenada x para definir el punto más lejano hacia la derecha de la piña, con esto no se recorta la piña si no que se obtiene un recuadro que toque los bordes la piña. Lo mismo realizado en el eje x se aplica para el eje y. En la figura 56-3 se muestra el resultado de lo antes mencionado.



Figura 56-3. Recuadro de la piña recortada

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

El recorte anterior puede variar en tamaño de acuerdo con la piña que está siendo procesada, por lo que es necesario redimensionar la imagen obtenida del proceso anterior a un tamaño fijo que en este caso es de 800x800. En la figura 57-3 se muestra el resultado de este proceso.



Figura 57-3. Piña redimensionada

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.5.5.6 Extracción de características para el reconocimiento por forma

Para la extracción de características se usará Momentos Hu lo cual nos permite describir numéricamente una forma y mediante esto encontrar la distancia entre dos formas. Si esta distancia es pequeña, las formas tienen una apariencia similar y si la distancia es grande, las formas no tienen una apariencia similar. Por lo que en esta etapa se obtendrá la distancia entre los Momentos Hu de la forma de la piña con los Momentos Hu de la forma de la base de datos. OpenCV proporciona una función de utilidad para este proceso llamada `matchShapes` la cual toma dos imágenes binarias y encuentra la distancia entre ellas aplicando Momentos Hu.

```
#-----Extracción de Características por Forma-----  
#-----  
distancia = cv2.matchShapes(imgPinaRecortada_Binaria,  
                             baseDatosForma, cv2.CONTOURS_MATCH_I2, 0)
```

Figura 58-3. Extracción de características por forma.

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.5.5.7 Clasificación por forma

Para realizar la clasificación por forma se utiliza un valor como umbral el cual se determinó mediante pruebas para compararlo con las distancias obtenidas al aplicar Momentos Hu. Si la distancia es menor o igual a este umbral los Momentos Hu de la forma de la piña de la imagen se

parecen a los de la base de datos y la piña tiene la forma correcta. Si la distancia es mayor entonces la forma es incorrecta.

```
#-----Clasificación por Forma-----  
#-----  
if distancia < umbralForma:  
    nFormaCorrecta = nFormaCorrecta + 1  
    numFormaCorrecta.config(text = nFormaCorrecta)  
    formaCorrecta = True  
else:  
    nFormaIncorrecta = nFormaIncorrecta + 1  
    numFormaIncorrecta.config(text = nFormaIncorrecta)  
    formaIncorrecta = True
```

Figura 59-3. Clasificación por forma

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.5.5.8 Clasificación por color

Para la clasificación por color se compara el número de píxeles válidos de la imagen de la piña con el número de píxeles válidos de la piña de la base de datos. Si el número de píxeles válidos de la imagen es mayor o igual que el número de píxeles válidos de la base de datos, entonces la piña es madura caso contrario es no madura.

```
#-----Clasificación por Color-----  
#-----  
if pixelesValidos >= umbralMadura_pixeles:  
    nMaduras = nMaduras + 1  
    numMaduras.config(text = nMaduras)  
    madura = True  
else:  
    nNoMaduras = nNoMaduras + 1  
    numNoMaduras.config(text = nNoMaduras)  
    noMadura = True
```

Figura 60-3. Clasificación por color

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.5.6 Acciones del mecanismo

Las acciones que ejecutara el mecanismo serán establecidas de modo que las que se puedan realizar en paralelo se ejecuten de esa manera logrando optimizar el tiempo del proceso. En la interfaz gráfica de usuario se visualizará las acciones que se estén ejecutando, para lo cual se designó un frame denominado estado. En la figura 61-3 se muestra algunos de los estados que pueden ser observados.



Figura 61-3. Estados mostrados de las acciones del mecanismo.

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.5.6.1 Acciones del mecanismo en función de la clasificación

Las acciones del mecanismo en función de la clasificación se ejecutan de acuerdo con los resultados del algoritmo de visión artificial, si la piña es madura y tiene la forma correcta en la interfaz gráfica de usuario se mostrará inmediatamente el mensaje correspondiente y el contador indicara en maduras igual a uno, el motor se acciona durante tres segundos permitiendo que la piña siga su trayectoria luego de este tiempo se detiene el motor esperando que una nueva piña sea detectada. En la figura 62-3 se muestra lo que se ejecutara en el caso de que sea una piña no madura y de forma correcta. Cuando la piña se haya clasificado como de forma incorrecta no importa su color, y al igual que en los casos anteriores se mostrará el mensaje del resultado del reconocimiento de la piña que en este caso sería piña con forma incorrecta se acciona el cilindro dos retirando la piña por la bandeja correspondiente, luego de esto se esperara que una nueva piña sea detectada para realizar el proceso.

```

if noMadura == True and formaCorrecta == True:
    labelIdentificacion.config(text = 'Piña No Madura y con Forma Correcta')
    moverMotor()
    time.sleep(tiempoEsperaHastaCilindrol)
    pararMotor()
    carreraCilindrol()
    time.sleep(tiempoCarreraCilindrol)
    regresoCilindrol()
    time.sleep(tiempoRegresoCilindrol)

```

Figura 62-3. Acciones que se ejecutarán en el caso de una piña no madura.

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.6 Construcción y Montaje

3.6.1 Método para la construcción

Para la construcción del prototipo de máquina clasificadora de piñas se utilizaron las siguientes máquinas las cuales se detallan en la tabla 40-3 correspondiente.

Tabla 40-3: Máquinas utilizadas

Máquinas
Torno
Fresadora
Soldadora de arco eléctrico
Compresor
Tronzadora
Taladro de banco
Dobladora hidráulica

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Para la construcción del prototipo de máquina clasificadora de piñas se utilizaron las siguientes herramientas que se detallan en la tabla 41-3 que se muestra a continuación.

Tabla 41-3: Herramientas utilizadas

Herramientas
Amoladora
Flexómetro
Disco de corte
Juego de llaves
Brocas
Escuadra
Calibrador
Cuchilla de torno

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.6.1.1 Elementos de construcción.

En la tabla 42-3 se muestran los sistemas y elementos que forman parte del prototipo de máquina clasificadora de piñas, además se detalla la cantidad y el material que se utiliza para la construcción.

Tabla 42-3: Elementos de construcción

Sistema	Elemento	Cantidad	Material
Estructural	Bastidor	1	Tubo estructural cuadrado A36 40x40x4 mm
	Soporte para las chumaceras	1	Perfil estructural U e=3mm
	Base de la estructura para la adquisición de imágenes	1	Tubo estructural cuadrado A-36 10x10x2 mm
Transmisión	Eje motriz	1	Barra de acero de transmisión AISI 1020 D= 1 in

Tabla 42-3: (continuación) Elementos de construcción

Sistema	Elemento	Cantidad	Material
	Ejes secundarios	14	Barra de acero de transmisión AISI 1020 D= 1 in
	Chumaceras de pared	29	Normalizada
	Motor eléctrico	1	WEG 0,75 Hp
	Cadena	1	Normalizada L= 3 m
	Catalina	30	11 dientes #50 1H
	Tubo PVC	15	Polietileno PN 25 D=45mm
	Bocín	30	Nylon D=45mm
Clasificación /Neumático	Base de los cilindros neumáticos.	2	Plancha de acero galvanizado e=3mm
	Pala de clasificación	2	Plancha de acero galvanizado e=3mm
	Cilindros neumáticos	2	Normalizado
Salida	Bandeja de salida del fruto	2	Plancha de acero galvanizado e=3mm


Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.6.1.2 Operaciones y tiempos de construcción para el sistema estructural

En la tabla 43-3 se detallan las operaciones y tiempos de construcción para el sistema estructural que se distribuye: en el bastidor, soporte de las chumaceras y base de la estructura para la adquisición de imágenes.

Tabla 43-3: Operaciones y tiempos de construcción del sistema estructural

Sistema estructural			
Elemento	N.º	Operación	Tiempo (min)
Bastidor	1	Toma de medidas	60
	2	Corte	60
	3	Pre soldado	60
	4	Escuadrado	30
	5	Soldado	60
	6	Pulido	120
	7	Pintado	30
Soporte de las chumaceras	8	Toma de medidas	60
	9	Corte	60
	10	Pre soldado	60
	11	Escuadrado	30
	12	Perforado	120
	13	Soldado	45
	14	Pulido	30
	15	Pintado	30
Base de la estructura para la adquisición de imágenes	16	Toma de medidas	60
	17	Corte	60
	18	Pre soldado	60
	19	Escuadrado	30
	20	Soldado	60
	21	Pulido	120
	22	Pintado	30

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.6.1.3 Operaciones y tiempos de construcción para el sistema de transmisión.

Para la construcción del sistema de transmisión se detalla en la tabla 44-3 las operaciones y tiempos requeridos para cada elemento que lo constituye. Elementos como el eje motriz, ejes secundarios y la utilización de tubo PVC apto para el transporte de alimentos.

Tabla 44-3: Operaciones y tiempos de construcción del sistema de transmisión

Elemento		N.º	Operación	Tiempo (min)
Eje motriz		23	Toma de medidas	30
		24	Corte	15
Ejes secundarios		25	Torneado	25
		24	Toma de medidas	60
		27	Corte	60
Tubo PVC		28	Torneado	420
		29	Toma de medidas	120
		30	Corte	120
Bocín		31	Toma de medidas	60
		32	Corte	120
		33	Torneado	280
		34	Perforado	300




Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.6.1.4 Operaciones y tiempos de construcción para el sistema de clasificación

Para la construcción del sistema de clasificación se detallan en la tabla las operaciones y tiempos requeridos. Cada elemento será acoplado al sistema estructural principal, tomando en cuenta que la clasificación se ejecutará por medio de la activación de cilindros neumáticos.

Tabla 45-3: Operaciones y tiempos de construcción del sistema de clasificación

Sistema de clasificación			
Elemento	N.º	Operación	Tiempo (min)
Base de los cilindros neumáticos	35	Toma de medidas	60
	36	Corte	30
	37	Pre soldado	20
	38	Escuadrado	10
	39	Soldado	20
	40	Pulido	15
	41	Pintado	10
Pala de clasificación	42	Toma de medidas	60
	43	Corte	45
	44	Pre soldado	15
	45	Escuadrado	30
	46	Soldado	10
	47	Pulido	20
	48	Pintado	10


Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.6.1.5 Operaciones y tiempos de construcción para el sistema de salida.

La salida de la piña clasificada se realizará mediante bandejas, por lo que para la construcción se requieren operaciones y el tiempo que cada una de ellas toma en realizarse, lo cual se detallan en la tabla 46-3 que se muestra a continuación

Tabla 46-3: Operaciones y tiempos de construcción del sistema de salida

Sistema de salida			
Elemento	N.º	Operación	Tiempo (min)
Bandeja de salida	49	Toma de medidas	60
	50	Corte	30
	51	Pre soldado	10
	52	Escuadrado	10
	53	Doblado	30
	54	Soldado	30
	55	Pulido	45
	56	Pintado	20

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.6.1.6 Operaciones y tiempos de construcción para el sistema neumático y de control.

El sistema neumático y de control está constituido por algunos elementos que requieren ciertas operaciones específicas y con sus tiempos respectivos. En la tabla 47-3 se indica de manera general los elementos que se desarrollan en esta etapa.

Tabla 47-3: Operaciones y tiempos de construcción del sistema neumático y de control

Sistema de clasificación neumático y sistema de control			
Elemento	N.º	Operación	Tiempo (min)
Cilindro neumático	49	Armado	20
Tubería de aire	50	Armado	10
Acoples	51	Armado	30
Circuitos de potencia y control	52	Armado y Programación	14400

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.6.2 Montaje de la máquina clasificadora de piñas.

El montaje de cada uno de los sistemas del prototipo se detalla en la tabla 48-3 con su respectiva operación y el tiempo que toma cada una de ella para realizar el ensamble final del prototipo de máquina clasificadora de piñas.

Tabla 48-3: Montaje de la máquina

Sistema	Operación	Símbolo	Tiempo (min)
Estructural	Montaje de la base	M1	60
	Montaje de soporte de chumaceras	M2	120
	Montaje Base de la estructura para la adquisición de imágenes	M3	60
	Ajuste de pernos	M4	45
Transmisión	Montaje del motorreductor	M5	60
	Montaje del eje motriz	M6	60
	Montaje de los ejes secundarios	M7	450
	Montaje Chumaceras de pared	M8	450
	Montaje de tubo PVC	M9	450
	Montaje de tapón nylon	M10	450
	Montaje de la catalina	M11	900
	Montaje de la cadena	M12	450
	Ajustes de prisioneros	M13	450
Clasificación	Montaje de la base de los cilindros neumáticos	M14	60
	Montaje de la pala de clasificación.	M15	45
	Montaje del sistema neumático	M16	60
Salida	Montaje de las bandejas de salida	M17	30
	Ajuste de pernos de las bandejas	M18	15
Control	Montaje del tablero	M19	30
	Montaje de dispositivos de control	M20	120
	Programación	M21	180
	Sistema de iluminación	M22	60
Total			4605

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.6.2.1 Diagrama de flujo del montaje

En el diagrama de flujo que se indica a continuación en la figura 63-3 se puede observar de manera detallada el montaje del prototipo.

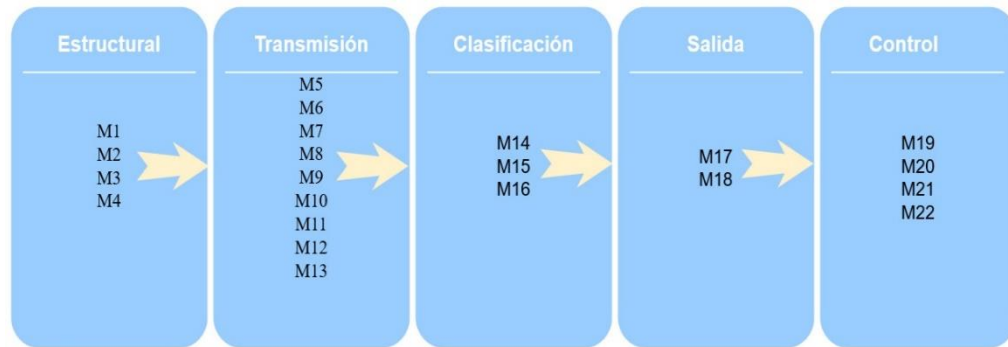


Figura 63-3. Diagrama de flujo del montaje del prototipo.

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.6.3 Tiempo total de construcción y montaje

En la tabla 49-3 se muestra el tiempo total utilizado en la construcción y montaje del prototipo de máquina clasificadora de piña hasta su ensamblaje final.

Tabla 49-3: Tiempo de construcción y montaje

Proceso	Tiempo (min)	Tiempo (h)	Tiempo (días)
Etapas de construcción	17935	299	37
Etapas de montaje	4605	76	10
Total	22540	375	47

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020


Como se puede observar el tiempo total empleado para que la máquina esté en funcionamiento es de 374 horas al transformarlo a una jornada laboral de 8 horas nos da como resultado 46 días de diseño construcción y automatización.

3.7 Manual de operación y mantenimiento para el prototipo de máquina clasificadora de piñas.

3.7.1 Manual de operación de la máquina

El manual de operación de máquina permite que el operador se instruya de una manera correcta sobre el funcionamiento del equipo y además tenga las debidas precauciones cuando la máquina se encuentre funcionando. En la tabla 50-3 se indica el manual de operaciones para el prototipo de máquina clasificadora de piñas.

Tabla 50-3: Manual de operaciones

Máquina clasificadora de piñas			
Características generales		Características generales	
Alto	1,20 m	Motor	Trifásico 0,75 hp
Ancho	0,5 m	Voltaje	220
Largo	1,50 m	Cilindro neumático	0,1 – 0,9 Mpa
Peso	120 Kg	Compresor	0,8 Mpa
Estructura	Tubo estructural cuadrado A36	Clasificación	Automática
Sistema de transporte	Acero de transmisión/ Polietileno	Capacidad aprox. de producción	200 piñas/h

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.7.2 Instrucciones de funcionamiento

Antes de encender el prototipo de máquina clasificadora de piñas se debe tener en cuenta ciertas condiciones, como las que se indican a continuación:

- Verificar que la máquina se encuentre en una superficie estable
- Inspeccionar que los sensores y la cámara se encuentren en su posición correcta.
- Revisar que no se encuentre objetos sobre el transportador.

Una vez finalizada la revisión se debe seguir los siguientes pasos que se detallan en la tabla 51-3 para dar inicio al funcionamiento.

Tabla 51-3: Instrucciones de funcionamiento





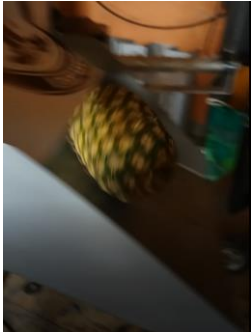
Funcionamiento	Ilustración
Conectar la máquina a la toma de 220 V	
Conectar la Raspberry Pi a la toma de 110 V	
Conectar el compresor a la toma de 110 V	

Tabla 51-3: (continuación) Instrucciones de funcionamiento

Funcionamiento	Ilustración
Encender la Raspberry que permite el control de la máquina	
Encender el compresor hasta la carga requerida	
Inicializar la interfaz de usuario	
Seleccionar la opción iniciar para el inicio del proceso	
Ubicar la piña al inicio de la banda para que sea detectada por el sensor lo cual permite que el motor se encienda y la traslade hasta la posición adecuada para adquirir las fotos.	

Tabla 51-3: (continuación) Instrucciones de funcionamiento

Esperar un tiempo determinado hasta que sea clasificada y retirada por el cilindro neumático de acuerdo con sus características.	
Finaliza el proceso	

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.7.3 *Manual de mantenimiento de la máquina*

Todo equipo o máquina que se encuentre en constante movimiento tiende a sufrir desgaste de los elementos que la constituyen y su funcionamiento tiende a verse afectado, para evitar esto es necesario tener un plan de mantenimiento con el cual permitirá tener un buen funcionamiento y prevenir daños y la para prolongada de la máquina. En la tabla 52-3 se detalla el plan de mantenimiento preventivo del prototipo de máquina clasificadora de piñas.

Tabla 52-3: Mantenimiento preventivo de la máquina

Plan de mantenimiento preventivo de la máquina clasificadora de piñas					
Elemento	Actividad	Realizó	Período	Frecuencia	Observaciones
Estructura	Limpieza	Operario	10 min	Diario	Limpiar la estructura para eliminar el polvo
Sistema de transporte	Limpieza	Operario	10 min	Diario	Limpiar el polvo de los rodillos
Compresor	Revisión	Operario	15 min	Anual	Revisar el filtro
Motor	Revisión	Eléctrico	30 min	Anual	Limpiar el polvo, revisar cables
Chumaceras	Lubricar y ajustar	Operario	10 min	Mensual	Lubricar con grasa adecuada

Tabla 52-3: (continuación) Mantenimiento preventivo de la máquina

Cadenas	Lubricación	Operario	15 min	Mensual	Lubricar con aceite adecuado
Cilindro neumático	Limpieza	Operario	5 min	Semanal	Limpieza del vástago
Tubería neumática	Revisión	Operario	5 min	Diario	Revisar que no exista fugas en la tubería
Electrónica	Revisión	Operario	5 min	Diario	Revisar la programación
Circuito eléctrico	Revisión	Eléctrico	10 min	Quimestral	Revisar terminales de entrada y salida

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.8 Análisis de costos

Para el análisis de costos se describe el valor necesario para la construcción del prototipo de máquina clasificadora de piña incluyendo el costo de mano de obra.

3.8.1 Costo directo

El costo directo se asocia a la compra de materia prima para la construcción, adquisición de equipos para la automatización y también el costo de mano de obra. En la tabla 53-3 se detalla la cantidad y precio de los materiales utilizados para la construcción del prototipo de máquina clasificadora de piñas. En la tabla 54-3 se detalla los materiales eléctricos y electrónico, en las siguientes tablas se detallan el costo de materiales neumáticos, mano de obra y el costo de las piñas adquiridas para realizar las pruebas correspondientes.

Tabla 53-3: Costos materiales mecánicos

Ítem	Materiales	Cantidad	Valor unitario	Valor total
1	Tubo estructural cuadrado A36 40x40x4 mm	2	30	60
2	Perfil estructural U e=3mm	1	40	40
3	Tubo estructural cuadrado A36 10x10x2 mm	2	20	40
4	Plancha de acero galvanizado e=3mm	1	30	30

Tabla 53-3: (continuación) Costos materiales mecánicos

5	Acero de transmisión AISI 1020 D= 1 in	3	10	30
6	Cadena	2	50	100
7	Piñón	30	10	300
8	Chumaceras	30	7	210
9	Tubo polietileno PN25	2	160	160
10	Barra de nylon	2	70	140
11	Pernos	20	1	20
SUBTOTAL 1				1130

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Tabla 54-3: Costos materiales eléctricos y electrónicos

Ítem	Materiales	Cantidad	Valor unitario	Valor total
1	Motorreductor	1	450	450
2	Caja de paso BEAUCOUP 30x30x10	1	14,50	14,50
3	Luz piloto verde 120-220 V	1	1,35	1,35
4	Luz piloto azul 220 V	1	1,50	1,50
5	Pulsador tipo hongo	1	2,05	2,05
6	Base de fusible 6A 500V	1	2	2
7	Cable flexible 12 AWG rojo	3	1,25	3,75
8	Cable flexible 12 AWG blanco	3	1,25	3,75
9	Cable flexible 12 AWG negro	3	1,25	3,75
10	Cable flexible 14 AWG blanco	3	0,85	2,55
11	Cable flexible 14 AWG negro	3	0,85	2,55
12	Cable de timbre negro	8	0,25	2
13	Cable de timbre amarillo	8	0,25	2
14	Enchufe trifásico	2	3,50	7
15	Enchufe 110 V	2	2	4
16	Contactador EBASEE 9A	1	15	15
17	Guardamotor EBASEE 2,5 – 4 A	1	30	30
18	Cable hembra- hembra	20	0,25	5
19	Espadines macho	3	0,75	2,25
20	Espadines hembra	1	0,54	0,54

Tabla 54-3: (continuación) Costos materiales eléctricos y electrónicos

21	Resistencias	10	0,05	0,50
22	Placa PCB	1	15	15
23	Sócalos integrados	2	0,50	1
24	Leds rojos	5	0,10	0,50
25	Alambre de estaño	1	8	8
26	Terminales tipo U	8	0,35	2,80
27	Sensor ultrasónico HCSR04	2	2,50	5
28	Soporte de sensores	2	1	2
29	React Dimer	1	8,50	8.50
30	Foco led	2	3,50	7
31	Raspberry Pi 4 B	1	80	80
32	Módulo de cámara para Raspberry	1	15	15
33	Case de aluminio para Raspberry	1	18	18
34	Adaptador HDMI a micro HDMI	1	4	4
35	Cargador para Raspberry	1	20	20
36	Pantalla táctil 7" 800 x 480	1	105	105
37	Módulo de relé 4 canales	1	8	8
38	Caja de seguridad de Raspberry	1	5	5
SUBTOTAL 2				852,34

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Tabla 55-3: Costos materiales neumáticos

Ítem	Materiales	Cantidad	Valor unitario	Valor total
1	Cilindro neumático doble acción G1/8, 10 Bar	2	70	140
2	Electroválvula 5/2, 10 Bar	2	45	90
3	Silenciador de bronce G1/8	4	3	12
4	Racor rápido 90°, 6 mm, G1/8	6	1,50	9
5	Racor rápido tipo Y, 6 mm, G1/8	1	2.50	5
6	Regulador de velocidad 6 mm, G1/8	4	3,50	14
7	Manguera neumática 6x4 mm PU	5	2,50	12,50
8	Cable concéntrico para electroválvulas	4	2,25	9

Tabla 55-3: (continuación) Costos materiales neumáticos

9	Unidad de mantenimiento VPC 1,5 MPa	1	55	55
10	Acoples de bronce G1/4 a G1/8	4	3,50	14
SUBTOTAL 3				360,50

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Tabla 56-3: Costos mano de obra

Ítem	Descripción	Días	USD/día	Valor total
1	Mecánico	28	25	700
SUBTOTAL 4				700

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Tabla 57-3: Costos de piñas para pruebas

Ítem	Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
1	Piñas	60	1	60
SUBTOTAL 5				60

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Tabla 58-3: Costo de equipos y herramientas

Ítem	Descripción	Hora	USD/hora	Valor total
1	Torno	16	1,25	20
2	Fresadora	4	2	8
3	Soldadora de arco eléctrico	4	4	16
4	Compresor	30	1	30
5	Tronzadora	4	1,25	5
6	Taladro de banco	2	1,50	3
7	Dobladora hidráulica	2	5	10
8	Amoladora	4	1	4
9	Disco de corte	4	1	4
SUBTOTAL 6				100

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Tabla 59-3: Costos de transporte

Ítem	Descripción	Valor unitario	Valor Total
1	Transporte	200	200
SUBTOTAL 7			200

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Para encontrar el costo directo total se realiza la sumatoria de los costos anteriormente descritos. En la tabla 60-3 se muestra el total obtenido que corresponde a costo directo.

Tabla 60-3: Costo directo total

Descripción	Costo
Subtotal 1	1130
Subtotal 2	852,34
Subtotal 3	360,50
Subtotal 4	700
Subtotal 5	60
Subtotal 6	100
Subtotal 7	200
TOTAL	3402,84

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.8.2 Costos indirectos

El costo indirecto se lo relaciona con el transporte hasta el taller de construcción y algún imprevisto. En la tabla 61-3 se muestra los valores que representan los costos indirectos para el prototipo de máquina clasificadora de piñas.

Tabla 61-3: Costos indirectos

Ítem	Descripción	Valor unitario	Valor Total
1	Imprevistos	300	300
2	Utilidad	0	0
TOTAL			300

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

3.8.3 Costo total

El costo total es el resultado de la suma del costo directo y el costo indirecto. En la tabla 62-3 se indica el valor total necesario para la construcción y automatización.

Tabla 62-3: Costo total

Detalle	Valor (USD)
Costos directos	3402,84
Costos indirectos	300
TOTAL	3702,84

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

El costo total del prototipo de máquina clasificadora de piña es de 3702,84 dólares americanos.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1 Pruebas de funcionamiento

Luego del montaje e instalación se realiza las pruebas y evaluación del prototipo, con el objetivo de identificar y determinar si hay fallas de funcionamiento que afecten su eficiencia y realizar las correcciones necesarias. Para la evaluación del prototipo se comprobó el funcionamiento de acuerdo con la programación de los sensores, del encendido y apagado del motor, accionamiento de los cilindros, visualización de la interfaz gráfica de usuario, funcionamiento de la cámara y el control de la iluminación en la estructura diseñada para la adquisición de las imágenes todo controlado desde la Raspberry Pi.

4.2 Discusión de resultados

Para verificar su efectividad en la clasificación se realizaron pruebas con piñas maduras, no maduras y de forma incorrecta. Mediante estas pruebas obtener el tiempo de clasificación y efectividad del reconocimiento del algoritmo de visión artificial, así como también de las acciones del mecanismo. Se realizará una comparación del tiempo que toma la clasificación de forma manual con la del prototipo. En la tabla 1-4 se indica las muestras de piñas que se realizaron en cinco días.

Tabla 1-4: Muestras de cinco días

PIÑAS	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
	12	12	12	12	12

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

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

La clasificación manual es realizada por personas que mediante la observación separan las piñas de acuerdo con las características requeridas. Dos personas con conocimiento de la aceptación de las piñas para su venta realizaron la clasificación de 12 piñas cada uno en cada día. En este proceso

se toma en cuenta el color y la forma de la fruta, adicional el tiempo que toma la clasificación manual.



Figura 1-4. Muestra de piñas para la clasificación manual

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Las personas realizan la clasificación manual de acuerdo con los parámetros para que una piña sea madura, no madura o que no tenga la forma correcta.

Tabla 2-4: Resultado de la clasificación manual

Piñas	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
Piña madura	5	6	7	6	6
Piña no madura	7	6	5	6	6
Piña deforme	0	0	0	0	0
TOTAL	12	12	12	12	12

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020



Figura 2-4. Resultada de la clasificación de una muestra

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Las mismas muestras fueron evaluadas en el prototipo de máquina clasificadora de piñas. El resultado se muestra en la tabla 3-4.

Tabla 3-4: Resultado de la clasificación con el prototipo

Piñas	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
Piña madura	5	6	6	6	6
Piña no madura	6	6	5	6	6
Piña deforme	1	0	1	0	0
TOTAL	12	12	12	12	12

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

4.2.2 Efectividad del algoritmo implementado de visión artificial

Con los resultados anteriores de la clasificación manual y la clasificación con el prototipo, se realizó el análisis de efectividad del algoritmo de visión para la detección del color y forma implementado en el prototipo.

Tabla 4-4: Efectividad del algoritmo implementado

Efectividad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Media
Piña madura	100 %	100 %	85.71 %	100 %	100 %	97.14 %
Piña no madura	85.71 %	100 %	100 %	100 %	100 %	97.14 %
Piña no deforme	91.66 %	100 %	91.66 %	100 %	100 %	96.66 %
Promedio						96.99 %

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

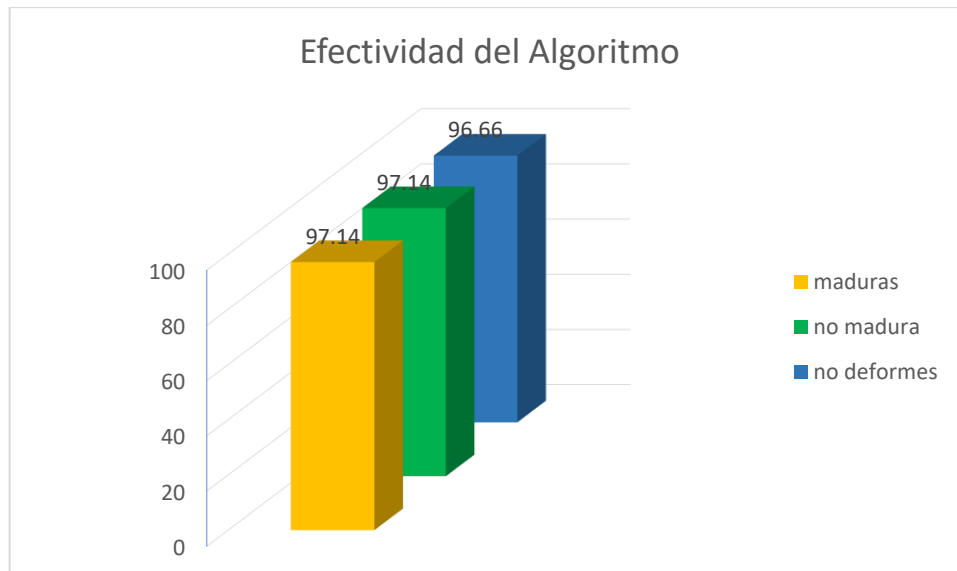


Gráfico 1-4. Efectividad del algoritmo

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

De acuerdo con los resultados obtenidos el prototipo de máquina clasificadora de piñas tiene una efectividad promedio del 96.99 %. El sistema de iluminación es controlado y se mantiene constante durante el funcionamiento del prototipo, pero el sistema de transporte puede afectar a la evaluación del algoritmo por forma, debido a que al no capturar completamente la imagen de la silueta de la piña puede arrojar un resultado como piña deforme, como se evidencio que sucede en muy pocos casos.

4.2.3 Resultados del proceso en el prototipo

El proceso total que realiza el prototipo es el resultado de implementar el algoritmo de visión artificial, la interfaz gráfica de usuario, el sistema eléctrico y el sistema neumático. A continuación, se muestra el resultado de la clasificación con el prototipo de máquina clasificadora de piñas para algunas de las muestras.

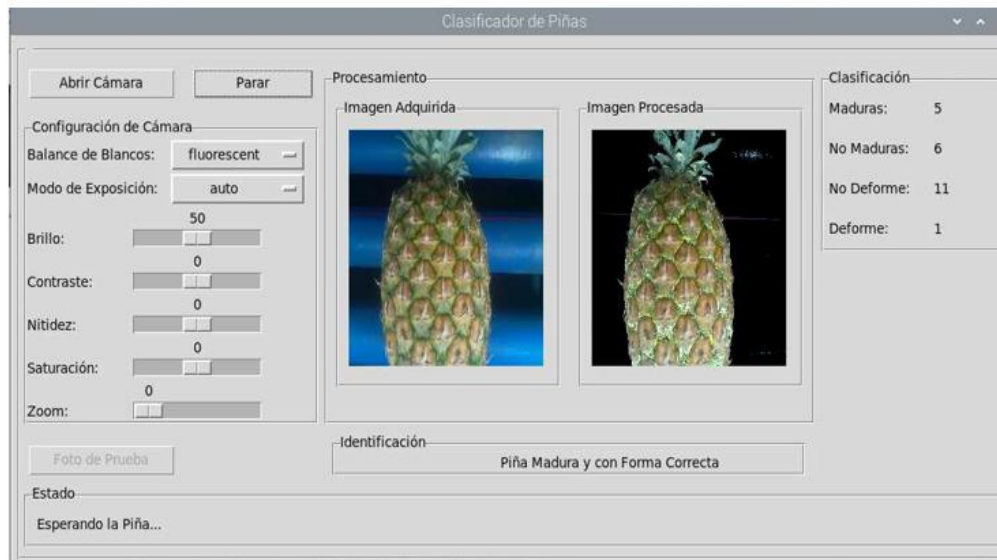


Figura 3-4. Resultado de la clasificación con el prototipo para la muestra 1.

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

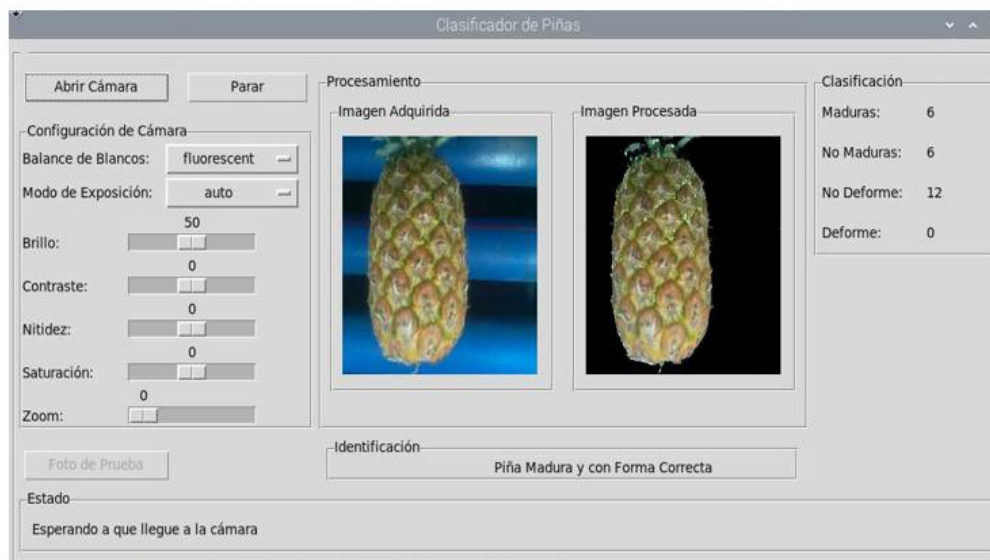


Figura 4-4. Resultado de la clasificación con el prototipo para la muestra 2.

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

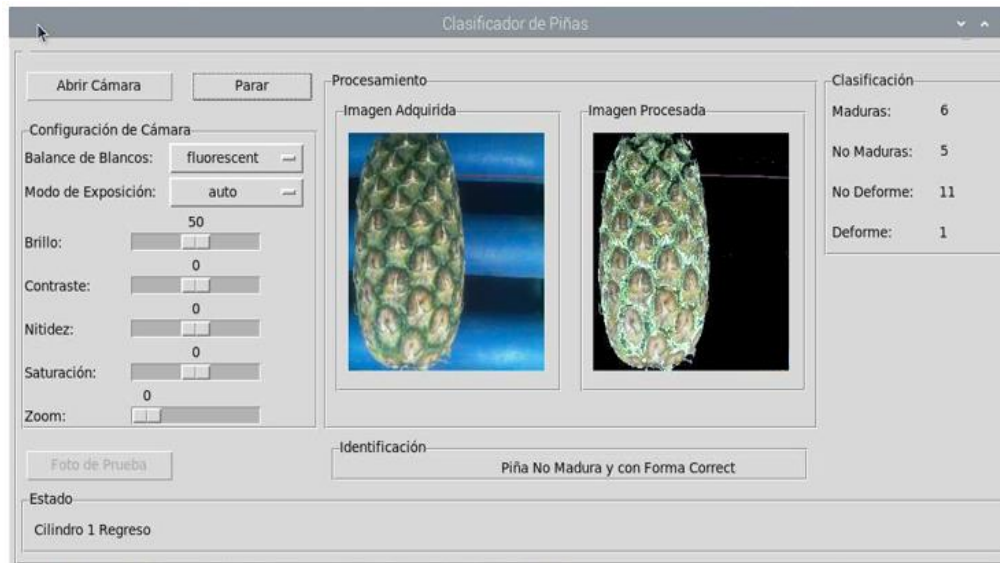


Figura 5-4. Resultado de la clasificación con el prototipo para la muestra 3.

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

4.2.4 Comparación del tiempo empleado en la clasificación manual y la del prototipo.

Para obtener el tiempo de clasificación en cada muestra se tomó el tiempo de forma manual mediante un cronometro. En la tabla 5-4 se muestra el registro del tiempo de la clasificación manual y la realizada con el prototipo.

Tabla 5-4: Tiempo empleado en cada clasificación

Tiempo (min)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Promedio
Manual	4:00	4:07	4:05	4:02	4:03	4:03
Prototipo	3:43	3:50	3:47	3:51	3:50	3:48

Fuente: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020



Gráfico 2-4. Tiempo empleado en cada clasificación

Realizado por: Rodríguez, J.; Salazar, J. 2020

En el gráfico 2-4 se muestra el resultado del tiempo empleado durante la clasificación tanto manual como en el prototipo. Con los resultados del tiempo promedio en cada clasificación se calcula el porcentaje de diferencia entre los mismos con lo que se obtiene un 13.65% de ahorro en el tiempo.

5. CONCLUSIONES

- Verificar mediante software los elementos diseñados para la construcción del prototipo de máquina clasificadora de piñas determinó que las dimensiones y materiales eran los adecuados.
- Capturar la imagen dentro de una recámara oscura con control de la iluminación permitió detectar correctamente las características de interés.
- Implementar el algoritmo de selección de piñas por medio de visión por computadora permitió el procesamiento de la imagen, logrando clasificarla y que el mecanismo ejecute las acciones de acuerdo con los resultados del algoritmo.
- Ejecutar procesos en paralelo disminuyó el tiempo de respuesta del algoritmo esto se logró por medio del uso de bibliotecas de Python, simplificando de esta manera las operaciones que en otros lenguajes son más complejos de implementar.
- Implementar el control en la Raspberry Pi facilitó manipular las entradas y salidas para realizar acciones de control del motor, del sistema neumático, la cámara, los sensores para la detección de la piña y la visualización mediante una pantalla táctil.
- Realizar las pruebas en el prototipo permitió establecer los umbrales en donde se obtuvo una buena clasificación por color para piñas con pixeles válidos mayores o iguales a 90000 px como maduras y menores a este valor como no maduras, el umbral por forma se estableció a valores menores a 0.3 con lo cual la piña tiene la forma correcta.
- Utilizar el porcentaje de aciertos en cada muestra de las pruebas realizadas con el prototipo determinó la efectividad del algoritmo implementado en un 96.99 %. Las pruebas también demostraron que en la clasificación por color existen menos parámetros a controlar que en la clasificación por forma.
- Comparar el tiempo de la clasificación manual con la clasificación del prototipo determinó una reducción del tiempo empleado del 13.65 %. Esto es porque al evaluar no solo por color, sino que también por forma aumenta el tiempo de la clasificación.

6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda para mejorar la eficiencia en cuanto a tiempo reemplazar la Raspberry Pi por dispositivos de control más rápidos para mejorar la velocidad en el procesamiento del algoritmo.
- Se recomienda tomar en cuenta el voltaje disponible en los GPIO de la Raspberry Pi para evitar daños en la misma.
- Utilizar sensores de tipo industrial para un mejor control.
- Se recomienda leer las instrucciones de funcionamiento y mantenimiento preventivo del prototipo para el correcto desempeño de éste.
- Modificar el sistema de transporte por medio de cintas o bandas sobre los rodillos para adaptar el prototipo para otra fruta o cualquier producto.
- Disminuir el ancho del transportador para tener un mejor control del desplazamiento de la piña.

GLOSARIO

Biestable: Las electroválvulas de doble solenoide se conocen como biestables, permiten que la válvula vaya de una posición a la otra mediante una señal eléctrica de impulso a la bobina opuesta (Creus, 2007, p.59).

Distancia focal: La distancia focal es la medida en mm relativa a la distancia entre la lente y el elemento sensor, esta distancia focal puede ser fija o variable (Nogué y Antiga, 2012: p.16).

Electroválvula: La electroválvula es una válvula neumática accionada por un electroimán llamado solenoide (Creus, 2007, p.59).

Escala de grises: el valor de cada píxel es representado como un valor único que tiene solo la información de intensidad, formando una imagen exclusivamente a partir de diferentes tonos de gris (García et al., 2015: pp.100-110).

HSV: Se representan el tono H el cual da una medida de la composición espectral de un color, la saturación S que proporciona la luz pura de la longitud de onda dominante, determinan la cantidad de blanco que contiene un color, y V que da el brillo (García et al., 2015: pp.100-110).

Monoestable: Las electroválvulas de un solo solenoide tienen el retorno del émbolo por muelle y se conocen como monoestables (Creus, 2007, p.59).

Ópticas: Las ópticas son aquellas que permiten transmitir la luz del sensor de la cámara de forma controlada para obtener una imagen enfocada del objeto (Nogué y Antiga, 2012: p.16).

QFD: Es un método globalizador cuyo objetivo principal es asegurar que se tiene en cuenta la voz del usuario o cliente, a la vez que constituye una ayuda para la planificación de la calidad (Riba, 2002, p.176).

Raspberry Pi: La Raspberry Pi es una computadora de placa única del tamaño de una tarjeta de crédito a pesar de su pequeño tamaño es un dispositivo muy capaz cuenta con su propio sistema operativo denominado Raspbian (Monk, 2016).

RGB: Es un modelo en el cual una imagen consta de tres planos o canales de imagen independientes: rojo, verde y azul (y puede o no, un cuarto canal para la transparencia, denominado canal alfa) (García et al., 2015: pp.100-110).

Segmentación: La segmentación es un proceso que consiste en dividir una imagen digital en regiones homogéneas con respecto a una o más características que pueden ser el brillo o el color. En este proceso se obtiene otra imagen en la que cada píxel tiene asignada una etiqueta distintiva del objeto al que pertenece (Serrano et al., 2018: p.99).

Sensor: Un sensor es un dispositivo que, a partir de la energía del medio donde se mide, da una señal de salida que es en función de la variable medida (Pallás, 2003, p.3).

Sistema embebido: Este sistema podría definirse como un sistema basado en un procesador diseñado para realizar algunas funciones dedicadas, que puede ser en tiempo real. Los sistemas integrados en su mayoría se construyen alrededor de unidades de microcontroladores o procesadores de señal digital (Forrai, 2013, pp.1-2).

Visión artificial: La visión artificial tiene como finalidad la extracción de información del mundo físico. Un sistema de Visión Artificial actúa sobre una representación de una realidad que le proporciona información sobre brillo, colores, formas (Serrano et al., 2018: p.16).

BIBLIOGRAFÍA

ALEGRE, E; et al. *Conceptos y Métodos en Visión por computador* [en línea]. España: Grupo de Visión del Comité Español de Automática (CEA), 2016. [Consulta: 11 diciembre 2019]. Disponible en: <https://intranet.ceautomatica.es/sites/default/files/upload/8/files/ConceptosyMetodosenVxC.pdf>

AVELINO, W; et al. Análisis del proceso de producción de la piña para aumentar la exportación del Ecuador hacia el mercado Español, aplicando las normas de calidad (ISO 14001 y EUROGAP) a partir del año 2009 [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica Del Litoral, Facultad de Ciencias Humanísticas y Económicas, Guayaquil, Ecuador. 2009. pp. 1-164. [Consulta: 12 abril 2020]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/5535/1/D-38831.pdf>

BAUTISTA ZURITA, Rodrigo Cristóbal. Diseño e implementación de un sistema de visión artificial para análisis de datos NDVI en imágenes espectrales de cultivos de brócoli obtenidos mediante una aeronave pilotada remotamente [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Escuela Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2018. pp. 1-71. [Consulta: 15 diciembre 2019]. Disponible en: <http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/8034/1/20T00959.PDF>

BLASCO, J; et al. “Citrus sorting by identification of the most common defects using multispectral computer vision”. *Journal of Food Engineering* [en línea], 2007, (España) 83(3), pp. 384-393. [Consulta: 11 diciembre 2019]. ISSN 02608774. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S026087740700194X>

BRAT, P; et al. “Physicochemical characterization of a new pineapple hybrid (FLHORAN41 Cv.)”. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* [en línea], 2004, (Francia) 52(20), pp. 6170-6177. [consulta: 06 enero 2020]. ISSN 00218561. Disponible en: <https://sci-hub.tw/10.1021/jf0492621>

BROSNAN, T.; & SUN, D. “Improving quality inspection of food products by computer vision - A review”. *Journal of Food Engineering* [en línea], 2004, (Irlanda) 61(1), pp. 3-16. [Consulta: 11 diciembre 2019]. ISSN 02608774. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877403001833>

CAMSCO. *Base de fusible* [en línea]. Taiwán-China: Camsco, 2019. [Consulta: 04 marzo 2020]. Disponible en: <https://www.camsco.com.tw/spa/fuse-link-base/fuse-base.html>

CAMSCO. *Control Unit E Series* [en línea]. Taiwán-China: Camsco, 2019. [Consulta: 04 marzo 2020]. Disponible en: https://www.camsco.com.tw/upload_files/e-download/Camsco-E-Catalog.pdf

CAMSCO. *Fusible* [en línea]. Taiwán-China: Camsco, 2019. [Consulta: 04 marzo 2020]. Disponible en: https://www.camsco.com.tw/upload_files/e-download/Camsco-E-Catalog.pdf

CARRANCO QUIÑONEZ, Carlos Alberto. Diseño y aplicación de un sistema de control para la conducción de un vehículo eléctrico por el robot bípedo humanoide NAO usando técnicas de visión artificial [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Escuela Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2018. pp. 1-87. [Consulta: 15 diciembre 2019]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/8698/1/20T01054.pdf>

CHEN, P.; & SUN, Z. “A review of non-destructive methods for quality evaluation and sorting of agricultural products”. *Journal of Agricultural Engineering Research* [en línea], 1991, (United State of America) 49(1), pp. 85-98. [Consulta: 11 diciembre 2019]. ISSN 00218634. Disponible en: [https://sci-hub.tw/10.1016/0021-8634\(91\)80030-I](https://sci-hub.tw/10.1016/0021-8634(91)80030-I)

CHIGUANO RODRÍGUEZ, Edwin Fabian, & MORENO DIAZ, Nathaly Veronica. Diseño e implementación de un sistema traductor de lenguaje de señas de manos a un lenguaje de texto mediante visión artificial en un ambiente controlado [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Quito, Ecuador. 2011. pp. 1-100. [Consulta: 15 diciembre 2019]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/3915/1/CD-3682.pdf>

CICOLANI, J. *Beginning Robotics with Raspberry Pi and Arduino: Using Python and OpenCV* [en línea]. Texas-USA: Apress, 2018. [Consulta: 14 abril 2020]. Disponible en: <https://sci-hub.tw/10.1007/978-1-4842-3462-4>

CONSTANTE PRÓCEL, Patricia Nataly, & GORDÓN GARCÉS, Andrés Marcelo. Diseño e implementación de un sistema de visión artificial para clasificación de al menos tres tipos de frutas [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, Quito, Ecuador. 2015. pp. 1-81. [Consulta: 06 de noviembre 2019]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11368/1/CD-6457.pdf>

CORONA, L; et al. *Sensores y Actuadores* [en línea]. México D.F-México: Grupo Editorial Patria, 2014. [Consulta: 14 abril 2020]. Disponible en: <https://books.google.es/books?id=wMm3BgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es>

CREUS, Antonio. *Neumática e Hidráulica* [en línea]. España: Marcombo, 2007. [Consulta: 13 abril 2020]. Disponible en: https://www.academia.edu/37145190/Neum%C3%A1tica_e_Hidr%C3%A1ulica_Antonio_Creus_Sol%C3%A9_LIBROSVIRTUAL

CROSS, Nigel. *Métodos de Diseño: Estrategias para el Diseño de Productos*. 2ª ed. México-México: LYMUSA WILEY, 2002, p.43.

DOPAZO, Antonio; et al. “Manejo del cultivo de la piña (*Ananas comosus* (L .) Merr .) cv . Española Roja, en Cuba”. *Revista CitriFrut*, vol. 26, n° 2 (2009), (Cuba) pp. 71-75.

EBASEE. *AC Contactor* [en línea]. Gutang Road-Shanghai: Ebasee, 2012. [Consulta: 04 marzo 2020]. Disponible en: <http://www.ebasee.com/upLoad/product/181204/201812040957463305.pdf>

EBASEE. *Motor Protector Circuit Breaker* [en línea]. Gutang Road-Shanghai: Ebasee, 2012. [Consulta: 04 marzo 2020]. Disponible en: http://www.ebasee.com/en/product_61_202.html

FORRAI, A. *Embedded Control System Design: A Model Based Approach* [en línea]. Veenendaal-The Netherlands: Springer Science & Business Media, 2013. [Consulta: 14 abril 2020]. Disponible en: <https://books.google.es/books?id=POFgpLpUXBIC&printsec=frontcover&hl=es>

GARCÍA, G; et al. *Learning image processing with OpenCV* [en línea]. Birmingham-UK: Packt Publishing Ltd, 2015. [Consulta: 14 abril 2020]. Disponible en: https://books.google.es/books?id=Y_irBwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es

GARCÍA, Y; et al. “Determinación de las propiedades de calidad de la piña (*Ananas Comosus*) variedad Cayena Lisa almacenada a temperatura ambiente”. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* [en línea], 2011, (Cuba) 20(1), pp. 62-65. [Consulta: 10 diciembre 2019]. ISSN 1010-2760. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93218850011>.

GARCÍA, Y; et al. “Estudio de la variación del Índice de color durante la conservación de la piña variedad Cayena Lisa a temperatura ambiente”. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* [en línea], 2011, (Cuba) 20(4), pp. 12-16. [Consulta: 06 enero 2020]. ISSN 2071-0054. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071-00542011000400002&script=sci_arttext&tlng=en

GUIDO, M; et al. *La piña* [en línea]. Managua-Nicaragua: IICA, 1983. [consulta: 15 diciembre 2019]. Disponible en: <https://books.google.es/books?id=Iu8qAAAAAYAAJ&printsec=frontcover&hl=es>

HERNÁNDEZ, A. *Bandas Transportadoras* [en línea]. Colombia: Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), 1969. [Consulta: 12 abril 2020]. Disponible en: https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/4032/1/construccion_bandas_transportadoras.PDF

HYTROL CONVEYOR COMPANY, INC. *Manual básico de entrenamiento Número 1* [en línea]. Toluca-México: Hytrol Conveyor de México S. De R.L. De C.V, 2020. [Consulta: 12 abril 2020]. Disponible en: https://docplayer.es/5832929-Boletin-numero-609-manual-basico-de-entrenamiento.html?fbclid=IwAR3OCtYJIDrZQX9Q-YlfiB_Ev4muSxSjN3g5OsA9P3Ax-tVkJATfpu_MZHI.

INCOTEC, S.A. *Manual Técnico Transportadores Plásticos Modulares* [en línea]. Mendoza-Argentina: INCOTEC S.A, 2014. [Consulta: 12 abril 2020]. Disponible en: <http://incotecs.com/manual-tecnico.pdf>

JIMÉNEZ, A; et al. “Enseñanza del Procesamiento de Imágenes en Ingeniería usando Python”. *VAEP-RITA* [en línea], 2015, (Colombia) 3(4), pp. 179-186. [Consulta: 06 diciembre 2019]. ISSN 2255-5706. Disponible en: <http://rita.det.uvigo.es/VAEPRITA/201512/uploads/VAEP-RITA.2015.V3.N4.A2.pdf>

KADER, A. *Postharvest technology of horticultural crops* [en línea]. 3ª ed. California-USA: University of California Agriculture and Natural Resources, 2002. [Consulta: 06 enero 2020]. Disponible en: <https://books.google.es/books?id=O1zhx2OWftQC&printsec=frontcover&hl=es>

KLEYNEN, O; et al. “Development of a multi-spectral vision system for the detection of defects on apples”. *Journal of Food Engineering* [en línea], 2005, (Belgica) 69(1), pp. 41-49. [Consulta: 11 diciembre 2019]. ISSN 02608774. Disponible en: <https://sci-hub.tw/10.1016/j.jfoodeng.2004.07.008>

LARBURU, N. *Máquinas Prontuario: Técnicas máquinas herramientas*. 2ª ed. Madrid-España: Paraninfo, 1990, p.518

LLANGA, A; et al. “Visión artificial en la detección de la pupila del ojo humano para el control motriz de una silla de ruedas”. *Revista de Investigación Talentos* [en línea], 2018, (Ecuador) 2018(1), pp. 679-685. [Consulta: 15 diciembre 2019]. ISSN 2631-2476. Disponible en: <https://talentos.ueb.edu.ec/index.php/talentos/article/view/125/202>

MAJUMDAR, S.R. *Sistemas Neumáticos: Principios y Mantenimiento*. McGraw Hill, 1998, pp. 89-93.

MARQUES, O. *Practical image and video processing using MATLAB* [en línea]. New Jersey-USA: John Wiley & Sons, 2011. [Consulta: 13 abril 2020]. Disponible en: https://www.academia.edu/35502297/PRACTICAL_IMAGE_AND_VIDEO_PROCESSING_USING_MATLAB

METALMAX S.R.L. *Cadenas y transportadores* [en línea]. Santa Fe- Argentina: Metalmax, 2015. [Consulta: 03 noviembre 2019]. Disponible en: http://metalmax.com.ar/metalmax/_include/img/Metalmax.pdf

MIRAVETE, A; & LARRODÉ, E. *Transportadores y elevadores* [en línea]. Barcelona-España: Reverté, S.A, 1996. [Consulta: 12 abril 2020]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=dSCnjfbKg4C&printsec=frontcover&hl=es&source=gb_s_ge_summary_r&cad=0

MONK, S. *Raspberry Pi cookbook: Software and hardware problems and solutions* [en línea]. 2ª ed. United States of America: O'Reilly Media, Inc, 2016. [Consulta: 14 abril 2020]. Disponible en: <https://books.google.es/books?id=QMovDAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es>

MORTON, J. *Fruits of Warm Climates* [en línea]. Miami-USA: Creative Resource Systems, Inc, 1987. [Consulta: 11 diciembre 2019]. Disponible en: <https://hort.purdue.edu/newcrop/morton/pineapple.html>

NEGRETE PEÑA, Teddy Jhennse, & LLAGUNO VERA, Jorge Gregorio. Comparación de técnicas de visión artificial para determinar el grado de fermentación de varios tipos de granos de cacao en el proceso postcosecha en la región litoral del Ecuador [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestria) Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca, Ecuador. 2017. pp. 1-223. [Consulta: 15

diciembre 2019]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15007/1/UPS-CT007403.pdf>

NOGUÉ, A; & ANTIGA, J. *Aplicación práctica de la visión artificial en el control de procesos industriales* [en línea]. Girona-España: Gobierno de España (Ministerio de Educación), 2012. [Consulta: 14 abril 2020]. Disponible en: <http://visionartificial.fpcat.cat/wp-content/uploads/Conocimientos.pdf>

NTE INEN 1836-2. *Frutas frescas. Piña. Requisitos*

NTN. *Ball and roller bearings* [en línea] Japón: 2009. [consulta: 06 noviembre 2019]. Disponible en: http://www.ntnamericas.com/en/website/documents/brochures-and-literature/catalogs/ntn_2202-ixe.pdf

PALLÁS, R. *Sensores y Acondicionadores de Señal* [en línea]. 4ª ed. Barcelona-España: Marcombo, 2003. [Consulta: 14 abril 2020]. Disponible en: https://books.google.es/books?id=Eevyk28_fVkC&printsec=frontcover&hl=es

PARKER HANNIFIN CORPORATION. *Pneumatic Cylinders: Catalog AU03-0900P-3* [en línea]. Ohio-USA: Parker Hannifin Corporation, 2006. [Consulta: 03 marzo 2020]. Disponible en: <https://www.parker.com/literature/Industrial%20Cylinder/cylinder/cat/english/AU03-0900P-3-NA.pdf>

RASPBERRY PI. *Camera Module.* [en línea]. UK: raspberrypi.org, 2020. [Consulta: 04 junio 2020]. Disponible en: <https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/camera/>

RASPBERRY PI. *Raspberry Pi 4 Computer Model B.* [en línea]. UK: raspberrypi.org, 2020. [Consulta: 04 junio 2020]. Disponible en: <https://static.raspberrypi.org/files/product-briefs/200521+Raspberry+Pi+4+Product+Brief.pdf>

RIBA, Carles. *Diseño Concurrente* [en línea]. Barcelona-España: Ediciones UPC, 2002. [Consulta: 13 abril 2020]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.3/36754/9788498800746.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ROUHIAINEN, L. *Inteligencia artificial* [en línea]. Barcelona-España: Planeta S.A, 2018. [Consulta: 11 diciembre 2019]. Disponible en: https://planetadelibrosar0.cdnstatics.com/libros_contenido_extra/40/39307_Inteligencia_artificial.pdf

SABORIO, Daniel.; & CAMACHO, Oscar. “Descripción del manejo poscosecha y factores de rechazo de piña (var. Cayenna Lisa y clon Champaka) para exportación de la zona norte de Costa Rica”. *Agronomía Costarricense*, vol. 20, n° 1 (1996), (Costa Rica) pp. 67-73.

SASARI CHOQUENAIRA, Edwin. Cálculo y diseño de un tramo del sistema de transporte por faja con pendiente de 15 grados para trasladar pellets de 3/16" de diámetro analizado por Cema [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa, Facultad de Ingeniería de Producción y Servicios, Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Arequipa, Perú. 2018. pp. 1-127. [Consulta: 12 abril 2020]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/7748/MCsache.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

SERRANO NICOLÁS, A. *Neumáticos Práctica* [en línea]. Madrid-España: Paraninfo, 2009. [Consulta: 13 abril 2020]. Disponible en: <https://books.google.es/books?id=-IUVsZSC6GsC&printsec=frontcover&hl=es>

SERRANO, J. F; et al. *Visión por Computador* [en línea]. Madrid-España: Dykinson, 2004. [Consulta: 13 abril 2020]. Disponible en: <http://www.visionporcomputador.es/libroVision/VisionPorComputador.pdf>

SILVA, A.; & LIZCANO, S. “Evaluación del estado de maduración de la piña en su variedad perolera mediante técnicas de visión artificial”. *Iteckne* [en línea], 2012, (Colombia) 9(1), pp. 31-41. [Consulta: 06 noviembre 2019]. ISSN 1692-1798. Disponible en: https://www.academia.edu/download/49197606/Evaluacin_del_estado_de_maduracin_de_la_20160928-12081-1ezah9u.pdf

THROOP, J; et al. “Quality evaluation of apples based on surface defects: Development of an automated inspection system”. *Postharvest Biology and Technology* [en línea], 2005, (United States of America) 36(3), pp. 281-290. [Consulta: 11 diciembre 2019]. ISSN 09255214. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925521405000177>

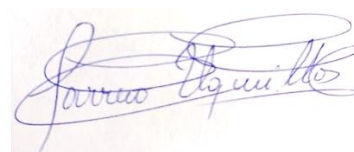
ULLOA GÓMEZ, Luis Antonio. Efecto de la variación en las temperaturas de acondicionamiento en la etapa poscosecha, sobre el desarrollo de color amarillo en frutos de piña (Ananas comosus L. Merr.) cv. Dorada Extra Dulce [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad De Costa Rica, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Escuela de Agronomía, Costa Rica. 2017. pp. 1-75. [Consulta: 06 enero 2020]. Disponible en: <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/4317/1/41386.pdf>

UNE-EN 1672-2:2006+A1:2009. *Maquinaria para procesado de alimentos. Conceptos básicos. Parte 2: Requisitos de higiene.*

VERDUGO, N.; & ANDRADE, V. “Productos tradicionales y no tradicionales del Ecuador: Posicionamiento y eficiencia en el mercado internacional para el período 2013-2017”. *X-Pedientes Económicos* [en línea], 2018, (Ecuador) 2(3), pp. 84-102. [Consulta: 11 diciembre 2019]. ISSN 2602-831X. Disponible en: http://ojs.supercias.gob.ec/index.php/X-pedientes_Economicos/article/view/43/16

VITERI TULCANAZA, Alexander Javier. Diseño e implementación de un sistema automático de detección y perforación de marcas en láminas de PVC utilizando técnicas de visión artificial para el instituto geográfico militar del Ecuador [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Quito, Ecuador. 2016. pp. 1-100. [Consulta: 15 diciembre 2019]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/16871/1/CD-7450.pdf>

VPC PNEUMATIC. *Products* [en línea]. Ningbo-China: 2017. [Consulta: 02 marzo 2020]. Disponible en: <http://www.vpc-pneumatic.com/download.html>

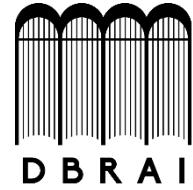


13-08-2020

0197-DBRAI-UPT-2020



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO



DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS
PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN

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

Fecha de entrega: 13 / 08 / 2020

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Johana Beatriz Rodríguez Bosquez José Israel Salazar Pazmiño
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Mecánica
Carrera: Ingeniería Mecánica
Título a optar: Ingeniero Mecánico
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. CPA. Jhonatan Rodrigo Parreño Uquillas. MBA
 
13-08-2020 0197-DBRAI-UPT-2020