



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN PARA
CLASIFICACIÓN Y ORGANIZACIÓN DE PIEZAS PLÁSTICAS
BASADA EN UN ROBOT CARTESIANO Y VISIÓN ARTIFICIAL”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Propuesta Tecnológica

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO/A INDUSTRIAL

AUTORES:

JONATHAN ALEXANDER GAMBOA GUAMÁN

DAYANA ESTEFANÍA MEJÍA ZULETA

Riobamba - Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN PARA
CLASIFICACIÓN Y ORGANIZACIÓN DE PIEZAS PLÁSTICAS
BASADA EN UN ROBOT CARTESIANO Y VISIÓN ARTIFICIAL”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Propuesta Tecnológica

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO/A INDUSTRIAL

AUTORES: JONATHAN ALEXANDER GAMBOA GUAMÁN

DAYANA ESTEFANÍA MEJÍA ZULETA

DIRECTOR: Ing. EDUARDO FRANCISCO GARCÍA CABEZAS Mgs.

Riobamba - Ecuador

2023

©2023, Gamboa Guamán Jonathan Alexander; & Mejía Zuleta Dayana Estefanía

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

Nosotros, Gamboa Guamán Jonathan Alexander y Mejía Zuleta Dayana Estefanía declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 19 de julio del 2023



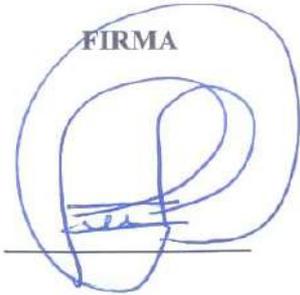
Gamboa Guamán Jonathan Alexander
180495541-5



Mejía Zuleta Dayana Estefanía
172395047-1

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular, Tipo: Propuesta Tecnológica, **“IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN PARA CLASIFICACIÓN Y ORGANIZACIÓN DE PIEZAS PLÁSTICAS BASADA EN UN ROBOT CARTESIANO Y VISIÓN ARTIFICIAL”**, realizado por los señores: **JONATHAN ALEXANDER GAMBOA GUAMÁN** y **DAYANA ESTEFANÍA MEJÍA ZULETA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud que el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Marco Homero Almendariz Puente PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-07-19
Ing. Eduardo Francisco García Cabezas DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-07-19
Ing. Julio César Moyano Alulema, Mg. ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-07-19

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo dedico a mi familia y amigos quienes son el pilar fundamental en mi vida académica, en especial con mi más profundo amor y cariño a mis abuelitos Julia y Segundo quienes confiaron en mis capacidades, A mis padres, por motivarme a seguir hacia adelante. También a mi hermana, por brindarme su apoyo moral en esas noches de desvelo. Y, finalmente, a los que no creyeron en mí, con su actitud lograron que tomará más impulso.

.

Jonathan

Este trabajo de titulación se lo dedico a mis padres, hermanos y hermanas quienes han sido un pilar a lo largo de mis estudios, me han inspirado a ser cada día una mejor persona y a nunca desfallecer ante cualquier adversidad. A mis amigos dentro y fuera de Riobamba que han sido mi apoyo incondicional y con quienes he podido confiar y considerarlos parte de mi familia.

Dana

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecer a Dios y a mis abuelitos Julia y Segundo quienes fueron los que día a día me motivó a seguir adelante. A mis padres y hermana Kelly que con su cariño me han impulsado siempre a perseguir mis metas y nunca abandonarlas frente a las adversidades, a todos mis compañeros los cuales muchos de ellos se han convertido en mis amigos, cómplices y hermanos y a mi compañera de tesis. Finalmente, a los docentes de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por todo el conocimiento que me aportaron a mi vida personal y profesional.

Jonathan

Quiero agradecer a Dios, ha sido un guía en toda mi vida y a quien siempre he pedido fortaleza y templanza para continuar y culminar mis estudios, a mis padres Diego y Pili quienes siempre han confiado en mí y me han dado el mejor apoyo que he necesitado en mi vida y en mis estudios. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y a los docentes de la carrera de Ingeniería Industrial quienes han formado a personas y han aportado con todo el conocimiento necesario para lo académico, sino también para lo profesional y la vida. Mis hermanas y sobrinas a pesar de ser muchos siempre he estado al pendiente de todos y ellos de mí, dando siempre comprensión y amor. Y no por menos, quiero agradecer a mis mascotas Copa, Sera, Bruno, Muñeca y Romeo que fueron mi apoyo en mis estudios me acompañaron largas horas por las noches y en pandemia fueron mi pilar para no rendirme.

Dana

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN	xvi
SUMMARY	xvii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Justificación del proyecto	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	4
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	4

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes de investigación	6
2.2. Referencias teóricas	8
2.2.1. <i>Sistemas de visión artificial</i>	8
2.2.1.1. <i>Componentes de un sistema de visión artificial</i>	9
2.2.1.2. <i>Parámetros de visión artificial</i>	11
2.2.2. <i>Software para el desarrollo de un sistema de visión artificial</i>	14
2.2.2.1. <i>Entorno de desarrollo de programación</i>	14
2.2.3. <i>Robótica industrial</i>	15
2.2.3.1. <i>Robots Industriales</i>	16
2.2.4. <i>Tarjetas de desarrollo</i>	19
2.2.5. <i>Actuadores eléctricos</i>	23
2.2.5.1. <i>Motores a pasos</i>	23
2.2.5.2. <i>Actuador lineal</i>	24
2.2.6. <i>Sensores</i>	24

2.2.7.	<i>Elemento terminal</i>	25
2.2.7.1.	<i>Grippers</i>	26
2.2.7.2.	<i>Ventosa Venturi</i>	26

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	28
3.1.	Propuesta y diseño del prototipo	28
3.1.1.	<i>Requerimientos del prototipo</i>	28
3.1.2.	<i>Pasos para la implementación de la estación.</i>	29
3.1.3.	<i>Funcionamiento general del prototipo</i>	30
3.2.	Diseño estructura mecánica	32
3.2.1.	<i>Estructura principal</i>	32
3.2.1.1.	<i>Elementos que conforman el eje Y</i>	36
3.2.1.2.	<i>Elementos que conforman el eje X</i>	37
3.2.1.3.	<i>Elementos que conforman el eje Z</i>	38
3.2.2.	<i>Bandas transportadoras</i>	39
3.2.3.	<i>Selección del motor paso a paso</i>	40
3.2.4.	<i>Elementos adicionales</i>	43
3.2.4.1.	<i>Piezas 3D</i>	43
3.2.4.2.	<i>Cajas con compartimientos</i>	43
3.2.5.	<i>Diseño Final de prototipo</i>	44
3.3.	Validación del diseño estructural mecánico del prototipo	45
3.3.1.	<i>Eje roscado</i>	47
3.3.2.	<i>Ejes de soporte</i>	48
3.4.	Selección de hardware de la estación	49
3.4.1.	<i>Elemento para la captura de imágenes</i>	49
3.4.2.	<i>Tarjeta para el controlador y desarrollo de la estación</i>	51
3.4.3.	<i>Elemento para movimiento vertical del eje Z.</i>	58
3.4.4.	<i>Elementos complementarios de hardware adicionales</i>	60
3.5.	Diagrama de conexión del hardware	67
3.6.	Implementación del prototipo	73
3.7.	Software del prototipo	78
3.7.1.	<i>Base de datos</i>	79
3.7.2.	<i>Variables de configuración</i>	80
3.7.3.	<i>Ejecución de la base de datos</i>	80
3.7.4.	<i>Detección de forma y color</i>	81

3.7.4.1.	<i>Proceso para obtención de color</i>	82
3.7.4.2.	<i>Proceso para obtención de forma</i>	83
3.7.5.	<i>Control de almacenamiento e inventario de piezas plásticas</i>	85
3.7.6.	<i>Interfaz Gráfica HMI y de Control</i>	87
3.8.	Proceso de control y de ejecución del prototipo	88

CAPÍTULO IV

4.	PRUEBAS Y RESULTADOS	92
4.1.	Posicionamiento final de la estación de clasificación y organización.	92
4.2.	Interfaz gráfica y de usuario de la estación	93
4.3.	Coordenadas de los cubículos de almacenamiento	94
4.4.	Pruebas de tiempo de transporte de la estación	97
4.5.	Pruebas de iluminación, brillo y matiz en la caja de visión.	99
4.6.	Pruebas de iluminación, brillo y matiz para un ambiente exterior.	101

CAPÍTULO V

5.	EVALUACIÓN ECONÓMICA	104
5.1.	Análisis de costos en la estructura del robot	104
5.2.	Análisis de costos en equipos del prototipo	105
5.3.	Análisis de costos varios	105
5.4.	Análisis de costos totales	106
5.5.	Comparación de precios entre el prototipo estación con equipos comerciales ...	106

	CONCLUSIONES	108
--	---------------------------	-----

	RECOMENDACIONES	110
--	------------------------------	-----

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:	Tipos de iluminación.	10
Tabla 2-2:	Clasificación robots por su estructura.	17
Tabla 2-3:	Modelos de Raspberry Pi en el mercado.	19
Tabla 2-4:	Sensores Externos.....	25
Tabla 2-5:	Elementos terminales.....	26
Tabla 3-1:	Materiales para la implementación del robot.	33
Tabla 3-2:	Análisis de fuerza perfil de aluminio.	33
Tabla 3-3:	Análisis de fuerza de un perfil de madera.	34
Tabla 3-4:	Torque necesario para la selección del motor.....	41
Tabla 3-5:	Características de motor paso a paso Nema 17.	42
Tabla 3-6:	Propiedades del Eje Roscado.....	47
Tabla 3-7:	Resultado del Análisis de Deformaciones en el Eje Roscado.....	47
Tabla 3-8:	Propiedades de los Ejes de Soporte.....	48
Tabla 3-9:	Resultado del Análisis de Deformaciones Ejes de Soporte.....	49
Tabla 3-10:	Comparación de cámaras.....	50
Tabla 3-11:	Características cámara web ARGOM Tech.	51
Tabla 3-12:	Comparación entre tarjetas de desarrollo.....	51
Tabla 3-13:	Características de la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3 Model B.....	52
Tabla 3-14:	Características de la placa Arduino Mega 2560 Rev 3.....	54
Tabla 3-15:	Características del módulo CNC Shield V3 Arduino Uno/Mega.	56
Tabla 3-16:	Características del módulo relé de dos canales Arduino.	56
Tabla 3-17:	Características del módulo relé de dos canales Arduino.	57
Tabla 3-18:	Resolución de paso del Driver A4988.....	58
Tabla 3-19:	Tipo de Actuadores Lineales.....	58
Tabla 3-20:	Características del actuador lineal.....	59
Tabla 3-21:	Características Puente H L298N.....	60
Tabla 3-22:	Características de la ventosa plana al vacío.	61
Tabla 3-23:	Características de la ventosa plana al vacío.	63
Tabla 3-24:	Características electroválvula V5221-08.....	64
Tabla 3-25:	Características del sensor de proximidad fotoeléctrico.	65
Tabla 3-26:	Características del final de carrera.	66
Tabla 3-27:	Primera sección – Terminales de conexión con Arduino mega elementos.	68
Tabla 3-28:	Segunda sección – Terminales de conexión con Arduino Mega y otros (A).	70
Tabla 3-29:	Segunda sección – Terminales de conexión con Arduino mega y otros (B).	70

Tabla 3-30:	Tercera Sección – Terminales de conexión con Arduino Mega y sensores.....	71
Tabla 3-31:	Comparación entre entornos de programación.....	78
Tabla 4-1:	Tiempos de recorrido al punto más cercano y lejano	98
Tabla 4-2:	Error porcentual de los tiempos obtenidos.....	98
Tabla 4-3:	Observaciones de las pruebas de iluminación.....	99
Tabla 4-4:	Cantidad de piezas observadas en un ambiente exterior.....	101
Tabla 5-1:	Costos en la estructura del robot.....	104
Tabla 5-2:	Costos en equipos del prototipo.....	105
Tabla 5-3:	Costos varios.....	106
Tabla 5-4:	Costos varios.....	106
Tabla 5-5:	Comparación de precios con artefactos similares al prototipo.....	107

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1:	Etapas del proceso de un sistema de Visión Artificial.	8
Ilustración 2-2:	Componentes de un Sistema de Visión Artificial.	9
Ilustración 2-3:	Mecanismo de una cámara.	10
Ilustración 2-4:	Respuestas de longitud de onda color al ojo humano.	12
Ilustración 2-5:	Planos color de las Matriz $M \times N \times 3$	12
Ilustración 2-6:	Planos color de las Matriz $M \times N \times 3$	13
Ilustración 2-7:	Distancia focal.	14
Ilustración 2-8:	Ángulo visual de la óptica.	14
Ilustración 2-9:	Transelevadores y AGV.	17
Ilustración 2-10:	Robot Cartesiano.	18
Ilustración 2-11:	Tarjeta Raspberry Pi 3 Modelo B	22
Ilustración 2-12:	Tarjeta OrangePi.	22
Ilustración 2-13:	Shield CNC para Arduino.	23
Ilustración 2-14:	Motor paso a paso y circuito equivalente.	24
Ilustración 2-15:	Obtención de un objeto con un gripper paralelo	26
Ilustración 2-16:	Ventosa al vacío.	27
Ilustración 3-1:	Diagrama de implementación del prototipo.	30
Ilustración 3-2:	Funcionamiento general del prototipo.	31
Ilustración 3-3:	Modelo estructural del prototipo.	36
Ilustración 3-4:	Tornillo sin fin en el eje Y.	36
Ilustración 3-5:	Elementos móviles con guías.	37
Ilustración 3-6:	Tornillo sin fin eje X.	37
Ilustración 3-7:	Elementos del eje X.	38
Ilustración 3-8:	Piezas para sujeción de actuador lineal y ventosa.	39
Ilustración 3-9:	Diseño de bandas transportadoras secundarias.	39
Ilustración 3-10:	Sistema de transmisión bandas transportadoras.	40
Ilustración 3-11:	Ejes móviles bandas transportadoras.	40
Ilustración 3-12:	Motor NEMA 17.	42
Ilustración 3-13:	Motor NEMA 17 marca CREALITY.	42
Ilustración 3-14:	Diseño de piezas plásticas.	43
Ilustración 3-15:	Diseño de cajas plásticas con compartimentos.	44
Ilustración 3-16:	Diseño final del prototipo.	45
Ilustración 3-17:	Distribución de fuerzas en el eje X.	46
Ilustración 3-18:	Parte de la tarjeta Raspberry Pi 3 Model B.	53

Ilustración 3-19: Partes Arduino Mega 2560 Rev3.....	54
Ilustración 3-20: Partes del módulo Shield CNC	55
Ilustración 3-21: Controlador de motor TS6600	57
Ilustración 3-22: Conexión del controlador A4988.....	57
Ilustración 3-23: Controlador de motor A4988.....	58
Ilustración 3-24: Puente H L298N.....	60
Ilustración 3-25: Esquema Puente H L298N.....	61
Ilustración 3-26: Diseño técnico de la ventosa.....	62
Ilustración 3-27: Diseño del generador de vacío neumático.....	63
Ilustración 3-28: Diagrama de conexión electroválvula 5/2 V5221-08.....	64
Ilustración 3-29: Electroválvula 5/2 V5221-08.....	65
Ilustración 3-30: Sensores de proximidad	65
Ilustración 3-31: Diagrama del sensor de detección fotoeléctrico	66
Ilustración 3-32: Diagrama de conexión del final de carrera.....	67
Ilustración 3-33: Final de carrera de rodillo	67
Ilustración 3-34: Primera Sección – Diagrama de conexión del hardware del prototipo.....	68
Ilustración 3-35: Segunda Sección – Diagrama de conexión del hardware del prototipo.....	69
Ilustración 3-36: Tercera Sección – Diagrama de conexión del hardware del prototipo.	71
Ilustración 3-37: Cuarta Sección – Diagrama de conexión del hardware del prototipo.....	72
Ilustración 3-38: Estructura principal de perfiles de aluminio.....	73
Ilustración 3-39: Montaje del eje Y.....	74
Ilustración 3-40: Montaje del eje X	74
Ilustración 3-41: Montaje del eje Z.....	75
Ilustración 3-42: Soporte de cámara web para la sección identificación.	75
Ilustración 3-43: Guías de madera para las bandas de organización	76
Ilustración 3-44: Ambiente de visión para la banda principal	76
Ilustración 3-45: Implementación de soportes infrarrojos y guías para bandas	77
Ilustración 3-46: Tablero de control de la estación	77
Ilustración 3-47: Formas y colores de piezas plásticas.....	81
Ilustración 3-48: Piezas plásticas que son almacenadas y piezas que no son almacenadas	82
Ilustración 3-49: Diagrama de flujo para la detección de color de las piezas.	82
Ilustración 3-50: Diagrama de flujo para la detección de formar de las piezas.	84
Ilustración 3-51: Imagen de corazón para comparación de forma de pieza	84
Ilustración 3-52: Diagrama de flujo para control de almacenamiento e inventario de piezas..	85
Ilustración 3-53: Representación de las divisiones de los cubículos	86
Ilustración 3-54: Sumas de los puntos en el plano para los cubículos	86
Ilustración 3-55: Representación de las áreas de color captadas para inventario.....	87

Ilustración 3-56:	Bosquejo de la Interfaz Gráfica de Usuario y Control HMI.....	88
Ilustración 3-57:	Diagrama de flujo del proceso de control y ejecución de la estación	89
Ilustración 3-58:	Posición inicial del robot.	90
Ilustración 3-59:	Variables para las coordenadas de los cubículos.....	91
Ilustración 4-1:	Vistas de la estación de organización y clasificación.....	92
Ilustración 4-2:	Interfaz gráfica y de usuario de la estación.	93
Ilustración 4-3:	Trayectoria del eje axial.....	95
Ilustración 4-4:	Pasos recorridos para cada coordenada.....	96
Ilustración 4-5:	Coordenadas para la Primera Caja	96
Ilustración 4-6:	Pasos para cada coordenada de la Primera Caja.....	96
Ilustración 4-7:	Coordenadas para la Segunda Caja.	97
Ilustración 4-8:	Pasos para cada coordenada de la Segunda Caja.....	97
Ilustración 4-9:	Coordenadas para la Tercera Caja.....	97
Ilustración 4-10:	Pasos para cada coordenada de la Tercera Caja.	97
Ilustración 4-11:	Porcentaje de detección de forma y color.	100
Ilustración 4-12:	Resultados de detección de color y forma (piezas a almacenar).....	100
Ilustración 4-13:	Resultados de detección de color y forma (piezas a desechar).....	101
Ilustración 4-14:	Porcentaje de identificación de espacios	102
Ilustración 4-15:	Detección de color en un ambiente exterior	103

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: MANUAL DE USUARIO

ANEXO B: PLANOS DEL PROTOTIPO

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo implementar una estación para clasificación y organización de piezas plásticas basada en un robot cartesiano y visión artificial. Utilizando una metodología tecnológica iniciando con el diseño estructural y pruebas de esfuerzos del robot cartesiano con el software SolidWorks donde se validó el diseño de los elementos con un coeficiente de seguridad mayor a 1. Seguido por la selección de los elementos del hardware como tarjeta de desarrollo se empleó una Raspberry Pi 3 Model B, Arduino Mega, motores paso a paso Nema 17, dos tipos de controladores, un actuador lineal para el eje axial del robot y sensores. Se elaboró un algoritmo de visión artificial en Python para la detección de forma y color e identificación de espacios vacíos y llenos, donde se utilizaron librerías con las que fue posible la digitalización de la imagen, umbralización, filtros y operaciones de matrices. La interfaz gráfica sirve de comunicación máquina – usuario donde se visualiza en tiempo real, generando también una base de datos que sirve como registro de los packs que han sido llenados. Donde se obtuvo como resultado que se determinó que la estación presenta un resultado del 100% tanto en el reconocimiento de espacios en los packs y la detección de forma y color de piezas con un número determinado de luxes y con respecto a los tiempos de recorrido se verifica con un error porcentual cercano a 0 que no existen retrasos en la movilidad entre puntos. Por lo tanto, se concluye que la estación implementada es óptima para el trabajo de clasificación y organización de piezas plásticas con el cual se podrían emplear pruebas de visión artificial y de almacenamiento. Y se recomienda la implementación de la estación en procesos de logística de almacenamiento como un medio mecánico.

Palabras clave: <ESTACIÓN PARA CLASIFICACIÓN >, <PIEZAS PLÁSTICAS>, <ROBOT CARTESIANO>, <VISIÓN ARTIFICIAL>, <LOGÍSTICA>, <DISEÑO ESTRUCTURAL>.

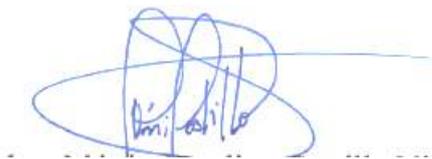
1580-DBRA-UPT-2023



SUMMARY

The objective of this research was to implement a workstation for the classification and organization of plastic parts based on a Cartesian robot and artificial vision. With the help of a technological methodology starting with the structural design and stress testing of the Cartesian robot with SolidWorks software, where the design of the elements was approved with a safety coefficient greater than 1. Followed by the selection of the hardware elements as a development board, a Raspberry Pi 3 Model B, Arduino Mega, Nema 17 stepper motors, two types of controllers, a linear actuator for the axial axis of the robot and sensors were used. A machine vision algorithm was designed in Python for shape and color detection and identification of empty and full spaces, where libraries were used to digitize the image, thresholding, filters and matrix operations. The graphic interface serves as a machine-user communication where it is visualized in real time, also generating a database that allows the registration of the packs that have been filled. Where it was determined that the station presents a 100% result both in the recognition of spaces in the packs and the detection of shape and color of parts with a certain number of lux and it is verified with a percentage error close to 0 that there are no delays in the mobility between locations. Therefore, it is concluded that the implemented workstation is suitable for the classification and organization of plastic parts with which artificial vision and storage tests could be employed. The implementation of the workstation in warehousing logistics processes as a mechanical means is recommended.

Keywords: <SORTING STATION> <PLASTIC PARTS> <CARTESIAN ROBOT>
<ARTIFICIAL VISION> <LOGISTICS> <STRUCTURAL DESIGN>

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Mónica Paulina Castillo Niama', written over a faint grid background.

Mgs. Mónica Paulina Castillo Niama.

C.I. 060311780-5

INTRODUCCIÓN

En el Ecuador, el trabajo humano es el principal creador de valor a la productividad y este factor es el que determina el nivel de producción e ingresos que genera economía, debido a esto se ha generado un retraso en la productividad laboral del país. Por esta razón, el Gobierno en conjunto con Carteras de Estado, para apoyar a la Industria 4.0 (Carrera, 2020) buscan impulsar el sector productivo para procesos de carácter logístico y comunicación reduciendo costos de mantenimiento y una mejora de la calidad de los procesos y de la estructura productiva logrando una mayor velocidad en el desarrollo de productos con “valor agregado”.

En la actualidad el uso de robots en la industria es muy común por lo que representa un avance en los procesos de la Cadena de Suministros, estas máquinas son automatizadas e inteligentes que junto con la implementación de Inteligencia Artificial (IA) se abre las puertas hacia una nueva Revolución Industrial 5.0, estos nuevos softwares con los que se logra un eficiente modelo de producción humano-máquina demuestran un desarrollo industrial y económico, reduciendo costos en la ejecución de los procesos, accidentes laborales y se reducen errores.

Para el presente documento se presenta una propuesta de una estación automatizada que puede ser utilizada dentro de la Logística de Almacenamiento como un manipulador funcional como medio mecánico y en conjunto con la tecnología de visión artificial, se puede lograr una mejora en los procesos de almacenamiento de clasificación y organización. Empleando este tipo de máquinas es posible reemplazar el trabajo humano, ya que puede ejecutar acciones para cubrir con las necesidades en cualquier tipo de proceso y abriría las puertas para industria 4.0.

Este proyecto se estructura en cinco capítulos donde se detalla en su primer capítulo los antecedentes del uso de este tipo de máquinas, planteamiento del problema, justificación y objetivos con los que se llevará a cabo esta implementación. En el segundo capítulo se presenta los antecedentes teóricos de trabajos similares y un estudio del arte como marco teórico sobre los sistemas de visión artificial y robótica industrial. En el tercer capítulo, se presenta un marco metodológico con los requerimientos para la estación en los que se detalla su diseño, validación de la estructura, selección del hardware, software y los algoritmos para visión artificial y las conexiones. El cuarto capítulo, se detallan las pruebas realizadas y los resultados obtenidos en la detección de forma y color de piezas plásticas, tiempos de transporte, identificación de espacios en los packs y pruebas de brillo, iluminación y matiz. En el capítulo cinco, se detalla un análisis de costos y una comparación con máquinas parecidas en el mercado. Para culminar con este escrito se dan conclusiones y recomendaciones del trabajo elaborado.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

Dentro de este capítulo se repasan los antecedentes para los que es conveniente la implementación de una estación de organización y clasificación, que ofrece a la industria en la actualidad. También como se justifica y se plantean objetivos para su implementación.

1.1. Antecedentes

En el desarrollo a lo largo de la historia de la tecnología se pueden identificar épocas que dieron un giro a la industria, desde la implementación de la máquina a vapor y fuentes de energía al carbón hasta lo que hoy constituye la llamada “Automatización Industrial” correspondiente al surgimiento de la inteligencia artificial implementada a los diferentes procesos en las empresas.

La Automatización Industrial o Industria 5.0 que conlleva elementos claves como la robotización, la Inteligencia Artificial, la virtualización entre otras, proporciona un nuevo modelo de organización y control, vinculado al proceso de clasificación de un producto de la mano de las tecnologías de la información generando soluciones inteligentes en los sistemas a gestionarse, las técnicas de logística de almacenamiento en la cadena de suministro influyen directamente en el tiempo de envío, costos de almacenamiento y la organización del stock.

En la actualidad el manejo de grandes mercancías en el área de planificación vuelve impredecible la automatización en el sector industrial, por tal motivo, los robots organizadores juegan un importante papel en el traslado y transporte de mercancías pesadas, minimizando el trabajo que recae en los operarios haciéndolo más sencillo y menos arriesgado. Juntamente con módulos que interactúan mediante señales establecidas por el ordenador y registran el proceso de clasificación en el mismo.

El robot organizador cartesiano con un módulo de visión artificial integrado es capaz de mover piezas según trayectorias programables y variadas controlado por un computador, el presente prototipo cuenta con elementos nuevos y reciclados.

1.2. Planteamiento del problema

En los países desarrollados es muy común encontrar dentro de sus procesos de producción sistemas completamente autónomos a diferencia de países que llevan tiempo subdesarrollados y

con procesos tardíos, donde la mano de obra humana en la mayoría de los casos tiende a ser indispensable.

Actualmente la Industria Ecuatoriana utiliza operarios para determinadas estaciones en los procesos de producción, estando sujetos a paradas innecesarias que conllevan tiempo y gastos generales en el balance de las empresas. Ante esta situación y la constante aparición de cuellos de botella en el proceso en el cual se puede realizar una redistribución de personal para reducir el tiempo muerto, mejorar la calidad y minimizar los costos, el presente trabajo ofrece un prototipo enfocado en el área de clasificación y organización de los productos.

El robot cartesiano se utiliza en las tareas de la industria como el ensamble, soldadura, pintura y la colocación de objetos, maneja tres ejes X-Y-Z y se puede usar para desplazarse por puntos específicos o coordenadas cartesianas respecto a su base. Este modelo a escala pretende que los tres ejes sean completamente funcionales adicionando un elemento activo para la identificación de elementos y posteriormente otro para el registro de información.

Tomando en cuenta este robot puede reproducir una trayectoria irregular dependiendo de los actuadores y elementos empleados en la elaboración, se empezará desde el diseño, cálculos y posteriormente la construcción del prototipo con la finalidad de lograr su buen funcionamiento. Este proyecto a futuro puede llegar a consolidarse como una herramienta poderosa a nivel industrial en donde la mano de obra que reemplaza la máquina será ubicada en otro departamento que requiera ayuda, la máquina será de fácil manejo y deberá ser manipulada por operarios capacitados previamente. Esto se realiza con el fin de maximizar la producción y la calidad de los productos a nivel industrial.

1.3. Justificación del proyecto

La implementación de robots en la industria facilita la optimización de procesos y existen varios tipos que se adaptan a las actividades que se requieran ejecutar, son máquinas programables que realizan la tarea que se le han sido encomendadas previamente, son adaptables para todo tipo de técnicas como manipulación de piezas o componentes, movilización en varias trayectorias, entre otros. Estas máquinas articuladas pueden ser semi-automatizadas o automatizadas completamente.

En el Acuerdo Ministerial Nro. 21 001 del Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca se aplica una reforma para la Gestión de Desarrollo de Industrias Básicas que tiene como misión fomentar el desarrollo sostenible y sustentable de las industrias básicas;

elaborar, proponer e implementar políticas públicas enfocadas en la creación y fortalecimiento de los procesos productivos primarios de recursos naturales e industrialización de residuos; priorizando el fortalecimiento de encadenamientos productivos de los sectores siderúrgico, metalúrgico, químico, petroquímico y forestal; promoviendo la innovación y desarrollo de tecnologías eficientes y amigables con el ambiente (Ministerio de Producción, 2021).

Esta máquina automatizada será capaz de reemplazar algunas actividades que puede realizar un ser humano, pero con la diferencia de que las realice precisas, exactas y se pueden adaptar a la repetibilidad del proceso, porque un robot es capaz de efectuar las mismas tareas por largas horas sin descanso, lo que a un humano le tomaría horas en realizarlo incluyendo paros que resultan innecesarios y generan pérdida para la empresa.

El robot cartesiano sustituye las actividades de clasificación y selección de piezas plásticas con la ayuda de visión artificial, será capaz de identificar las piezas plásticas por colores al recibir una imagen digital obtenida de la vida real, la cual será pre procesada la cual renderiza y elimina factores que alteren a la ilustración, luego un procesador programable analizará e interpretará las imágenes para diferenciarlas por colores y formas a las piezas plásticas, dando órdenes al robot el mismo que las acomodará en espacios asignados para cada una.

La inversión de un robot cartesiano es alta, con proyección a futuro la minimización de tiempo en la clasificación compensa la inversión dado que también se reduce el tiempo de producción general generando ganancias a largo plazo.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Implementar una estación para clasificación y organización de piezas plásticas basada en un robot cartesiano y visión artificial.

1.4.2. Objetivos específicos

- Realizar un estudio del arte con la finalidad de caracterizar la estación.
- Implementar el robot cartesiano para la manipulación y ordenamiento de las piezas plásticas en los packs.
- Desarrollar una interfaz gráfica que permita la interacción, gestión y configuración de la estación.

- Codificar un algoritmo de visión artificial que permita la evaluación de la forma y color de una pieza plástica predefinida y la verificación del estado del pack para gestionar el ordenamiento.
- Realizar ensayos en la estación para verificar la funcionalidad y eficiencia de sus procesos.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se describe teóricamente a la estación, empezando por antecedentes donde se detalla a trabajos similares anteriormente aplicados y luego se define cada una de las partes que componen a los sistemas de Visión Artificial y al robot cartesiano.

2.1. Antecedentes de investigación

De acuerdo con el artículo presentado en la revista internacional *Journal of Physics*, el equipo de K. S. Tan *et. Al* (Farooqi et al., 2021) efectúan la combinación de los sistemas de visión artificial con un robot cartesiano para la selección y clasificación de objetos mediante el procesamiento de imágenes, para resolver los problemas planteados busca el reconocimiento de piezas geométricas, analiza su forma adquiriendo una imagen calibrada mediante una cámara, en la fase de pre procesamiento se aplica el método para la transformación del color del espacio HSI, utilizando el filtro Gaussiano, el método Otsu's para imágenes binarias y Canny para la detección de esquinas. Como software se implementa LABVIEW para una coincidencia geométrica de los bordes. El robot cartesiano escogido es un brazo de robot que responde al algoritmo de visión artificial en este proyecto se ha presentado un puntaje de 800 a 1000 puntos de coincidencia de reconocimiento de la forma de los objetos, una vez terminado el proceso de reconocimiento de la forma de imágenes el robot cartesiano ubica las piezas en su lugar, el robot utilizado para este proceso es UniMAP Walta con un sistema de imagen incluido.

Andhare y Rawat, en el artículo "*Pick and Place Industrial Robot Controller with Computer Vision*" (Andhare y Rawat, 2017) efectúan el proceso de selección de objetos mediante un brazo robótico cartesiano en 2D, ejes X, Y, con visión artificial, el robot cuenta de 6 grados de libertad para su movimiento, calcula la posición de los objetos y las coordenadas a las que se va a dirigir el robot, sistematizando los procesos del robot con visión artificial. Los autores proponen que la dirección sea planeada mediante el sistema de visión artificial y la comunicación entre el robot y la interfaz de visión artificial sea por medio de ethernet y conexiones físicas. También plantean un diseño de robot que cuenta con una cámara para visión, sensores, cálculo del algoritmo de orientación por medio de matrices de 2x2 y un controlador inverso cinemático. La cámara utilizada se encuentra montada sobre la mesa de trabajo, en esta posición identifica las coordenadas a las que se encuentran los objetos para convertirlas a coordenadas reales en X, Y, simultáneamente proyecta geoméricamente a las piezas y sus propiedades en 2D, envía

información por cableado al robot identificando la ubicación de las piezas y estas son llevadas hacia su empaque.

En el trabajo denominado “Celda robotizada con visión artificial para el empaquetado de cápsulas de café” (Navarro, 2022), propuesto por Navarro, F., tiene como objetivo principal el diseño e implementación de un robot SCARA manipulado por ventosa que ejecuta la aplicación pick and place de cápsulas de café para posteriormente empaquetarlas en conjunto con un sistema de visión artificial que identifica el tipo de las cápsulas y dos cabezales que tendrán la función de girar y colocar a estas cápsulas en su empaque. La solución para el diseño de este robot es la utilización de un perfil de aluminio CNC para su estructura, el movimiento está ejecutado por un motor NEMA 23 encargado del movimiento del brazo del robot y dos motores NEMA 17 que sujetan a los dos ejes restantes sujetos a la base planetaria, la ventosa que sujeta a los objetos va acoplada a una bomba de vacío. El hardware del robot está compuesto por una Arduino Mega 2560 y una Ramps 1.4 conectada a los módulos de los motores de pasos y a la válvula de aire. Para el sistema de visión artificial se emplea una cámara sujeta por un soporte que va unido a la base de la estructura, las imágenes que son adquiridas son procesadas por un algoritmo programa en Python para visión artificial el cual es ejecutado por un ordenador. Integrando los sistemas de visión artificial, movimiento del robot, procesamiento de imágenes, selección de cápsulas de café, entre otros, ha logrado que efectúen un trabajo coordinado para almacenar 8 cápsulas de café por colores en sus respectivas cajas con un tiempo de ciclo por encima de 6 minutos, lo cual el autor considera admisible para el trabajo ejecutado por el robot.

Vo Duy Cog, et al., presentan en su publicación a un sistema con dos brazos robóticos, cada uno con un microcontrolador conectado a un Arduino que recibe órdenes de un control master con tarjeta Raspberri Pi que mueve a los brazos independientemente basado en cálculos cinemáticos. Estos brazos pueden clasificar y ordenar objetos basándose en un sistema de visión artificial que capta imágenes en tiempo real de objetos de distintas formas y tamaños, para el proceso de clasificación, el algoritmo para la obtención y reconocimiento de imágenes incluye detección del contorno, supresión de borde, forma del umbral para la localización de objetos y la eliminación de sonidos. El robot sigue una trayectoria en coordenadas 3D, el brazo realiza movimientos acelerados y desacelerados en forma trapezoidal para que se puedan reducir las vibraciones y no sean bruscos los movimientos. Los resultados obtenidos por los autores indican un error de detección de los objetos de 3,47 mm, el robot se mueve en un tiempo de 2,2 a 2,4 segundos para ordenar un objeto, también recomiendan que para mejorar la rapidez de movimiento de los brazos robot se puede utilizar un servomotor por un motor paso a paso y el aumento de los grados de libertad para una facilidad de movimiento (Duy Cong et al., 2022).

2.2. Referencias teóricas

Dentro de la bibliografía se trata temas sobre los sistemas de visión artificial, sus componentes y parámetros para su funcionamiento. También se define a un robot industrial y a un robot cartesiano que es el tipo de máquina implementada para la organización y clasificación. Por otro lado, se detalla a las herramientas como tarjetas de desarrollo, actuadores y sensores que son partes de un robot.

2.2.1. *Sistemas de visión artificial*

La Visión Artificial (VA), perteneciente al campo de la Inteligencia Artificial (IA), es utilizada para obtener información mediante el procesamiento y análisis de imágenes digitales o videos tomadas desde mundo real (IBM, 2022).

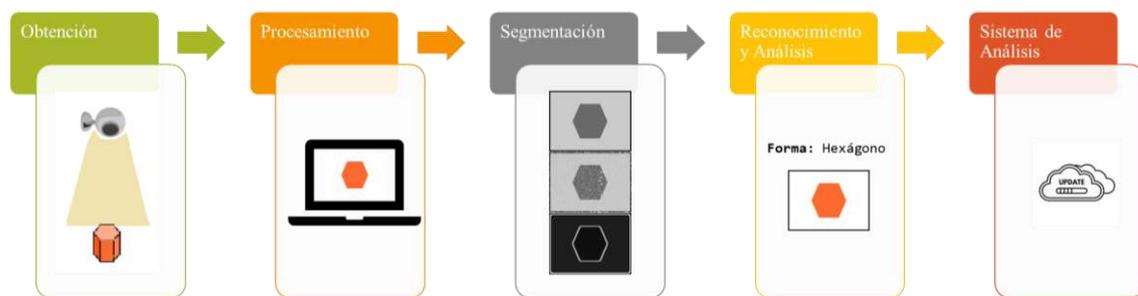


Ilustración 2-1: Etapas del proceso de un sistema de Visión Artificial

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Un Sistema de Visión Artificial para la obtención de información desde imágenes tomadas del mundo real se debe cumplir varias etapas Ilustración 2-1. La primera etapa es la obtención de la imagen en donde el elemento es captada por un sensor de imagen para poder digitalizarla, se procede a la etapa de procesamiento en el que se modifica digitalmente a la imagen para obtener las características del objeto, en la etapa de segmentación se separan las características de la pieza, tales como: color, textura o intensidad para posteriormente, luego en la etapa de reconocimiento y análisis se selecciona y clasifican las características tomadas, eliminando y balanceando dependiendo de su aplicación y analizándola se le asigna un significado a los objetos. Finalmente, se trabaja con la información obtenida dependiendo de su aplicación.

En los últimos años ha cumplido con varias funciones tales como en la industria aplicada a robots en la Industria 4.0 para la ejecución de varios procesos aplicada en tareas como: medición y

calibración, detección de fallas, reconocimiento, identificación análisis de localización, entre otros.

2.2.1.1. Componentes de un sistema de visión artificial

Los sistemas de visión artificial constan de Ilustración 2-2 sensores dentro de cámaras digitales para captar imágenes con la finalidad de que un hardware y software procesen, analicen, midan y tomen decisiones para que sean llevadas a cabo diferentes actividades (COGNEX, 2022).

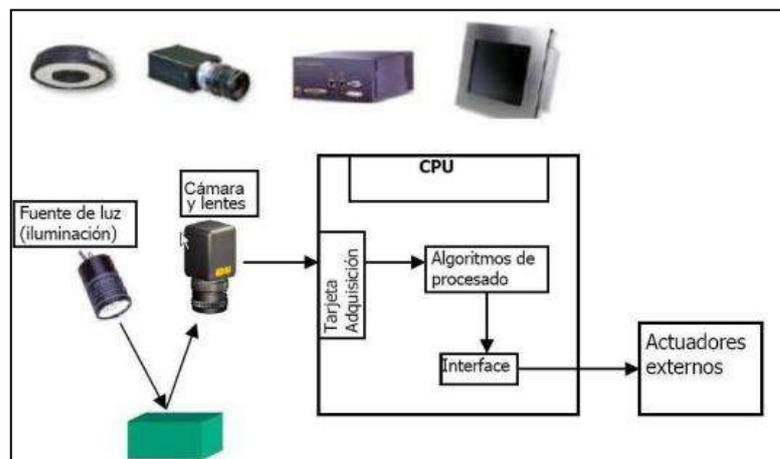


Ilustración 2-2: Componentes de un Sistema de Visión Artificial.

Fuente: (Informática y Sistemas, 2016)

Un sistema de Visión Artificial está compuesto por varios elementos tales como la iluminación, se debe tener una fuente de luz adecuada para que se mantenga a un nivel adecuado y que la cámara siendo otro componente, el que captura a la imagen para luego ser procesada por un CPU, el cual está formado por una tarjeta de adquisición y el algoritmo con el cual es posible procesar la información de la imagen tomada y que pueda ser visualizado el proceso en una interface, para luego dar esta información recolectada a actuadores externos.

Cámara: Es un sensor de imágenes que capta imágenes del mundo exterior para posteriormente digitalizarlas. Comprende de dos elementos, el primer elemento es un dispositivo físico que es sensible a las bandas de los espectros de energía electromagnética y produce señales de salida y el segundo es el digitalizador que convierte la señal obtenida a la salida del dispositivo digital cuantificándolo en un conjunto discreto con localizaciones en el plano de imagen. De esta forma se obtiene una imagen digital y en procesada por un computador, la imagen es representada en una matriz de 2D de números de la cual se puede obtener información para luego ser analizada (Peña Merino, 2017).

Las señales eléctricas digitales son captadas en forma de visión o video para ser enviadas a una tarjeta de adquisición de imágenes para digitalizarla y transferirla a un procesador, pueden ser enviadas por medio de una *firewire* o USB y de conexiones tipo Ethernet. (Vargas Baeza, 2010).

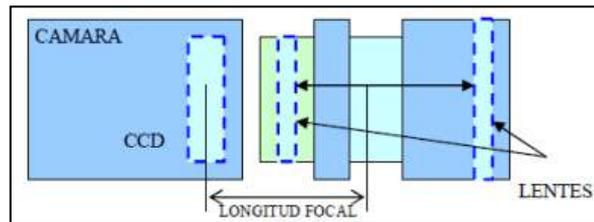


Ilustración 2-3: Mecanismo de una cámara.

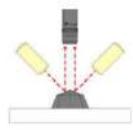
Fuente: (Artificial, 2012)

Los lentes de las cámaras para escoger el apropiado para la obtención de imágenes debe tener algunas características Ilustración 2-3, tales como: longitud focal, es la distancia entre el plano focal y el objeto; profundidad de campo, espacio en que se encuentra nítido la imagen; precisión de a medida, depende de la resolución de la cámara (Artificial, 2012).

Iluminación: Es la luz reflejada en un objeto la cual analiza un sistema de visión artificial por medio de una fuente de luz y la ubicación en que se encuentre referente a la cámara y la pieza (COGNEX, 2022). En la Tabla se detalla los tipos de iluminación.

Tabla 2-1: Tipos de iluminación

TIPO DE ILUMINACIÓN	DETALLE	EJEMPLO ILUSTRACIÓN
Iluminación de fondo	Es apropiada cuando es necesario determinar la forma de los bordes externos de las piezas o para realizar mediciones.	
Iluminación difusa axial	Se proyecta la luz por medio de un espejo con dirección al piso donde se encuentra la pieza a analizar y la pieza vuelve a reflejar la luz a la cámara para obtener una iluminación homogénea.	
Luz estructurada	Un patrón de luz proyectado a un ángulo sobre un objeto específico, utilizado para efectuar un contraste en superficies que sean requeridas para adquirir datos dimensionales y obtener un volumen.	

Iluminación de campo oscuro	La luz especular es reflejada desde una distancia de la cámara y la luz difusa se refleja en la superficie, con esta iluminación es factible detectar los cambios en las elevaciones de las piezas.	
-----------------------------	---	---

Fuente: (COGNEX, 2022).

Procesador de Visión Artificial: Es un computador cuyas características depende de los algoritmos que sean utilizados en el manejo de los sistemas de visión artificial, con este se podrá receptor las imágenes captadas digitalmente por la cámara para analizar e inspeccionar los objetos y que se pueda interactuar en tiempo real (Vargas Baeza, 2010).

La PC o el procesador puede hacer varias tareas como: recibir las señales para que se sincronice la captura de la imagen y lleras, procesar los datos arrojados por la cámara y analizar las capturas obtenidas, ejecutar una interfaz para que pueda ser manipulada por el usuario, controlar que el hardware esté trabajando correctamente y la comunicación con los sistemas (Artificial, 2012).

Tarjeta de adquisición o frame grabber: Es necesaria cuando los datos recibidos por el sensor de imagen son análogos y mediante esta tarjeta es posible la transformación a una imagen digital, para posteriormente sean transferidas al procesador o computador y que sean analizadas y visualizadas (Guerrero, Echeverri y Yunda, 2009).

2.2.1.2. Parámetros de Visión Artificial

La Visión Artificial consta de algunos parámetros que se llevan a cabo para que la calidad de imagen obtenida sea alta en los que interviene el color, sus modelos y la óptica.

Color: Es la percepción del ojo humano a las diferentes longitudes que posee la onda de un espectro visible entre los 400 nm y 700 nm, la mezcla de las longitudes de onda en los sensores del ojo huma da como resultado las diferentes escalas de colores, estos sensores son representados por: el color azul con respuestas de 470 nm - 490 nm, el color verde la longitud de onda de encuentra entre los 530 nm - 550 nm y para el color rojo entre los 560 nm y 580 nm (Sucar, 2011), tal como se presenta en la siguiente Ilustración 2-4:

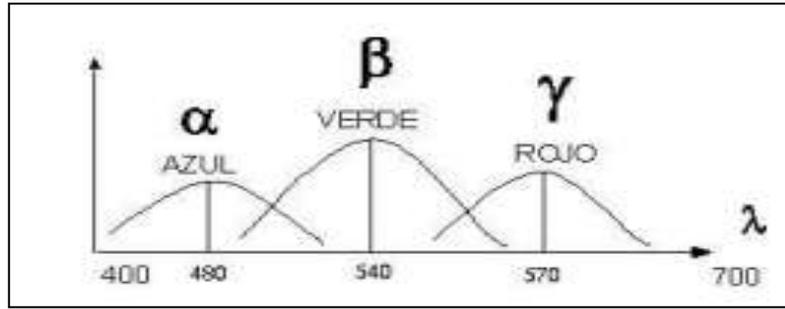


Ilustración 2-4: Respuestas de longitud de onda color al ojo humano.

Fuente: (Sucar, 2011)

Modelo RGB: Este modelo está representado por sus siglas en inglés para diferenciar las escalas de colores: rojo, verde y azul (*red, green, blue*), son considerados como colores primarios y al superponerse los colores crean una amplia gama de espectros que son percibidos por fotoreceptores como el ojo humano o una cámara digital.

Una imagen está compuesta matriz de dimensiones m filas, n columnas y de tres niveles ($M \times N \times 3$), cada casilla está compuesta por un pixel, el cual está conformado por tres valores correspondiente a los colores rojo, verde y azul y la combinación de estos forman un color específico dependiendo de la intensidad de los primarios Ilustración 2-5.

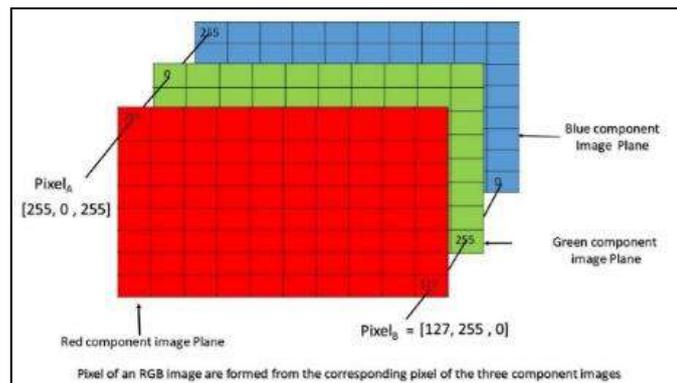


Ilustración 2-5: Planos color de las Matriz $M \times N \times 3$.

Fuente: (Raj, 2018)

Este modelo es dependiente del dispositivo que detecta el valor RGB, la reflectancia espectral de los objetos en una imagen, la calidad de la imagen de color se empieza a degradar desde el momento en que es receptado por el ojo humano y se distorsiona a través del tiempo (Alqadi et al., 2017).

Modelo HSV: Es conocido por sus siglas en inglés como: tono, saturación y valor (*hue, saturation & value*); define a los colores dependiendo de del grado de variación de sus componentes y de esta forma se pueden crear más colores (Andrés et al., 2016).

- **Matiz**: El grado de ángulo del color.
- **Saturación**: Gamma de colores basado en el diagrama de cromaticidad.
- **Valor**: Distancia entre el blanco y negro.

Los colores HSV se dan de un modelo del color cilíndrico contrario al RGB, es representado como un cono cilíndrico donde el espectro de los colores primarios va de rojo a azul variando el tono de color de izquierda a derecha, y la intensidad del color va en aumento desde el centro del cono hacia el borde del cono y el brillo se intensifica de abajo hacia arriba, como se indica en la siguiente ilustración 2-6.



Ilustración 2-6: Planos color de las Matriz $M \times N \times 3$.

Fuente: (Gangurde, 2022)

Óptica: Permite la transmisión de la luz sobre la superficie hacia el sensor y así obtener una buena calidad imagen y se debe regir bajo los siguientes parámetros:

- **Tamaño del sensor:** Los sensores de cámara tienen su funcionamiento básico en el efecto fotoeléctrico, los fotones de luz se dirigen a través de una estructura cristalina de silicio y se crean pares electron-huecos que son proporcionales a la cantidad de luz que llega al sensor (Amao et al., 2018). La cámara pueden ser CCD o de dispositivos de cargas acopladas (*Charge Coupled Deviced*), CID o de inyección de carga (*Charge Injection Deviced*) o TDI o cámaras de integración (*Time Delay Integration*).
- **Distancia focal:** La distancia focal es la medida entre la imagen proyectada y real, la unidad de medición es en milímetros Ilustración 2-7.

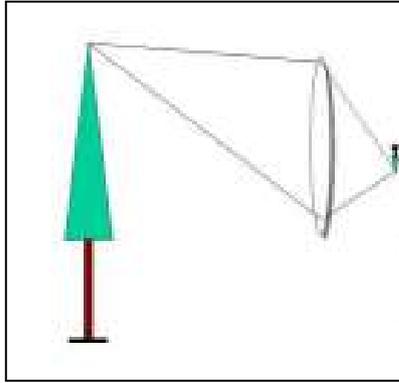


Ilustración 2-7: Distancia focal.

Fuente: (Amao et al., 2018).

- **Ángulo visual:** El ángulo visual se considera al plano máximo que es enfocado por el área del sensor y se encuentra definitivo por el área, distancia focal y distancia de los objetos al sensor ilustración 2-8.

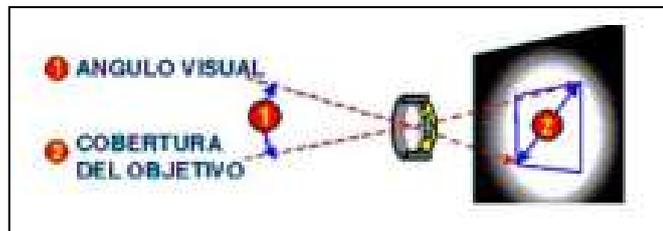


Ilustración 2-8: Ángulo visual de la óptica.

Fuente: (Amao et al., 2018).

2.2.2. *Software para el desarrollo de un Sistema de Visión Artificial*

Los softwares utilizados para los Sistemas de Visión Artificial deben aplicar las funciones de adquisición, escaneo e inspección de la imagen obtenida mediante la intervención de algoritmo con el cual es posible obtener la información deseada de la imagen captada.

Un software para un sistema de Visión Artificial está compuesto por un entorno de programación amigable con el usuario, en decir en el que sea posible elaborar un algoritmo en forma de código o bloques el cual permita la obtención de resultados, que cuente con librerías especializadas para el procesamiento de imágenes y en el que sea posible la conexión con una interfaz gráfica y de control para la comunicación con el usuario.

2.2.2.1. *Entorno de desarrollo de programación*

En la actualidad existen varios entornos de programación en los que es posible la construcción de aplicaciones de IA, cada uno con requisitos propios con los que se podrán resolver y solucionar

problemas específicos. Estos han venido evolucionando con el paso del tiempo y se han creado en función de las aplicaciones en IA (Rojas, 2020).

Python: Es una multiplataforma que puede ser ejecutado en Windows, Mac Raspberry (Domínguez Mínguez, 2021). Utiliza un lenguaje de programación tipo C el cual es imperativo y a la programación orientada a objetos para la aplicación en sistemas de Visión Artificial se facilita el uso de las librerías como OpenCV.

La biblioteca estándar de Python es amplia y puede ser distribuida libremente para adquirir un formato binario o de fuente (Castillo Suárez y Ricolfe Viala, 2020).

LabVIEW: Cuenta con el módulo de programación para Visión Artificial conocido como Módulo Visión Development, en el cual se incluyen funciones para procesar imágenes y cuenta con varios bloques funcionales. Incluye Visión Assistant con el que se pueden generar algoritmos avanzados de visión de esta forma es posible la iteración de algoritmos que son conectados para el procesamiento y que las imágenes puedan ser observadas rápidamente los resultados (NI, 2022).

Matlab: Para la ejecución de Visión Artificial cuenta con Image Processing Toolbox™, Computer Vision Toolbox™ y LiDAR Toolbox™, que proporcionan de aplicaciones y algoritmos para el manejo. Con los cuales será posible la transmisión de datos proporcionados por imágenes o puntos que serán preprocesados junto con algoritmos integrados y redes de Deep Learning (MathWorks, 2020). Algunas de las aplicaciones de Matlab Con visión Artificial son:

- Detección de defectos.
- Seguimientos de objetos.
- Simulación de sistemas autónomos con Simulink.
- Localización y mapeo con Computer Vision Toolbox.
- Recuento de objetos.

2.2.3. Robótica industrial

En la actualidad se ha evidenciado un rápido avance de tecnologías e implementación de la robótica en los procesos industriales introduciéndose así a un Industria 4.0 en el cual se plantea como objetivo la implementación de procesos automatizados e inteligentes en los que se integran sistemas como el IoT o Internet de todas las cosas, sistemas informáticos o manejo de una nube, sistemas de Inteligencia y Visión Artificial, robótica, neurociencia, entre otros, dando entrada a una nueva Revolución Industrial 5.0. Lo que se busca es una transformación de la cadena de valor de la industria agregándola valor y mejorando los modelos de negocio (González-Hernández et al., 2020).

La robótica en la industria puede traer grandes ventajas tales como: mejora en la productividad, seguridad en el trabajo y velocidad. Con esto es posible lograr una mejora en la calidad de la cadena de suministros y sus procesos reduciendo gastos producción (Díaz García, 2018). La robótica en la industria tiene varias aplicaciones como en trabajos soldadura y fundición, controles de calidad o logística de almacenamiento.

2.2.3.1. Robots Industriales

Son manipuladores multifuncionales que pueden ser reprogramados según necesidad, los cuales están diseñados para desplazar o modificar piezas, herramientas o dispositivos especiales, por medio de movimientos programados que llevan a cabo diferentes tareas (Díaz García, 2018).

Los robots reemplazan el uso de mano de obra en trabajos complicados para el humano, realizando las tareas repetitivas y peligrosas, son varios los diseños que se adaptan a su enfoque de trabajo, algunos se encuentran en áreas que son de difícil acceso para los humanos, son muchos más flexibles para la manipulación de objetos que requieren ser empaquetados en un orden establecido o para el transporte mercancía a diferentes áreas dentro de la fábrica (Ben-Ari y Mondada, 2018).

Dentro de la logística de almacenamientos se cuenta con medios mecánicos y automatizados para las actividades de almacenaje utilizados en operaciones de carga y descarga, almacenamiento puro, preparación de pedidos y traslado de mercancías, productos o unidades de cara de un lugar a otro. Minimizando el tiempo de trabajo, se evitan los esfuerzos excesivos de los trabajadores al mover lotes pesados de mercancía, se reduce el coste de almacenamiento y que los procesos que efectúen sean eficientes (Escudero Serrano, 2019).

Los medios mecánicos pueden clasificarse dependiendo de las características del movimiento, grado de automatización y actividades que realizan. Para los medios según su grado de automatización se cuenta con robots como transelevadores ilustración 2-9, que son capaces de cargar y elevar pallets pesados dentro de pasillos estrechos a mayor velocidad y se encargan de la colocación y extracción de cargas, preparación de pedidos o *picking*. También se encuentran los vehículos de guiado automático o AGV, son carros que son guiados automáticamente que recorren un camino previamente trazado pueden ser carros filoguiados que transportan cargas unitarias o robots móviles para transportar pallets, manejo de piezas o tareas de *picking*. Comúnmente estos se los encuentra en almacenes automatizados.

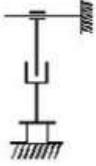
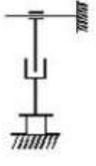
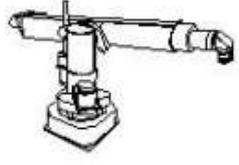


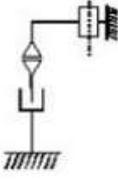
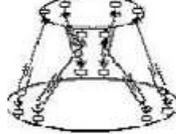
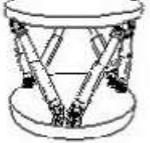
Ilustración 2-9: Transelevadores y AGV.

Fuente: (Escudero Serrano, 2019)

Los robots industriales pueden ser clasificados debido a su estructura, con grados de libertad y el movimiento que realiza es adecuado para la función a las que sean aplicables, en la siguiente tabla 2-2, se especifican algunos de ellos:

Tabla 2-2: Clasificación robots por su estructura.

TIPO	DESCRIPCIÓN	GRADOS DE LIBERTAD	EJEMPLO
Robot Cartesiano	Su movimiento se basa en tres grados de libertad, donde estos ejes se basan en las coordenadas cartesianas.		
Robot Cilíndrico	Está compuesto por una articulación rotativa sobre una base de articulaciones lineales, su sistema de coordenadas es cilíndricas.		
Robot Polar o Esférico	Consta de dos articulaciones rotacionales y una lineal, trabaja en coordenadas polares.		

Robot SCARA	Está compuesto por dos articulaciones rotativas con ejes paralelos.		
Robot Paralelo	Los brazos del robot tienen articulaciones prismáticas y rotacionales.		

Fuente: (Val, 2009)

El robot cartesiano es uno de los principales robots empleados en la industria debido a su amplio desplazamiento, con tres grados de libertad, es decir puede mover su manipulador dentro de los ejes X, Y y Z y puede moverse por grandes distancias y puede ser utilizado en actividades de paletizado y almacenamiento de objetos, puede realizar tareas repetitivas cumpliendo así con sus objetivos.

Robot Cartesiano: Es un robot cuyo esquema de movimiento se basa en un desplazamiento por los ejes cartesianos X, Y y Z, ilustración 2-10, dependiendo del recorrido que deba realizar mueve sus carros o una guía en los ejes XY, mientras que el eje Z tiene un movimiento axial de arriba hacia abajo y viceversa (Rodríguez Cruz y Tellez Salamanca, 2022).

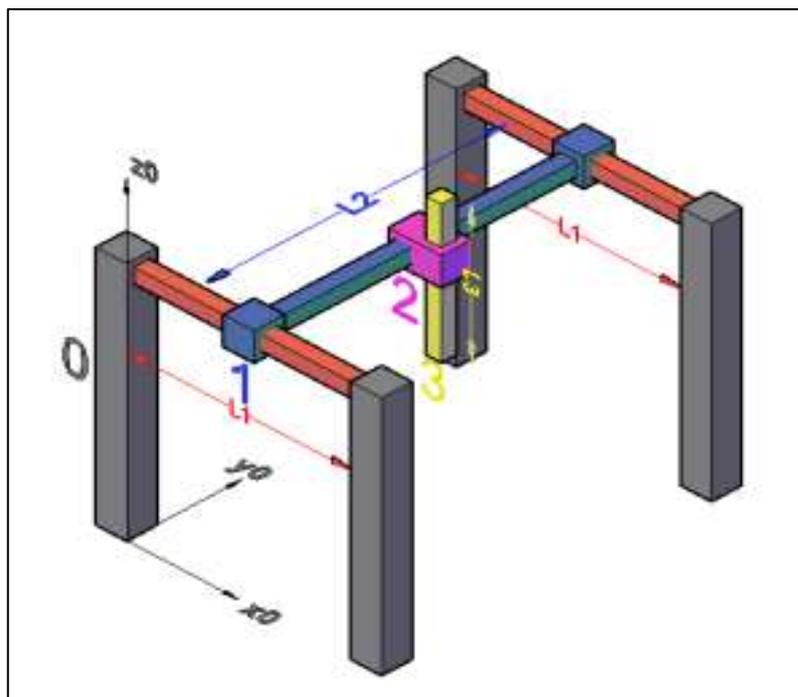


Ilustración 2-10: Robot Cartesiano.

Fuente: (Rodríguez Cruz y Tellez Salamanca, 2022)

El diseño de un robot cartesiano puede suplir requerimientos en los que favorece aspectos como el tamaño, peso, velocidad de operación, robustez, funcionalidad, ergonomía y apariencia, ya que puede ser adaptable a la necesidad del trabajo que desee aplicar y en su diseño no solo debe ser mecánico si no también eléctrico y de control (Rodríguez Rodríguez, 2017).

2.2.4. Tarjetas de desarrollo

En la actualidad para el manejo de microcontroladores en la construcción de proyectos automatizados existe una variedad de opciones para la fácil manipulación de memoria, señales de entrada/salida y módulos de comunicación. Con las tarjetas de desarrollo es posible la adquisición de datos, control de los sistemas robóticos y el procesamiento (Escobar Carrión, 2020).

Raspberry Pi: La Raspberry Pi está basada en la arquitectura ARM, es una placa que a la vez actúa como un ordenador, dentro de este microrordenador es posible el manejo de varias aplicaciones y realizar acciones que son posibles ejecutarlas en computadores (Viera Maza, 2017). Para el uso de la Raspberry Pi es necesario la instalación de un sistema operativo dentro de una tarjeta SD, estos sistemas operativos pueden ser: Ubuntu, Linux, Windows, Raspbian, entre otros que pueden ser encontrados en la página oficial de la Fundación Raspberry Pi (Viera Maza, 2017). La compañía de estas tarjetas ha lanzado varios modelos de tarjetas de desarrollo tabla 2-3, estas son utilizadas para proyectos con inteligencia artificial en su mayoría, por lo que en la siguiente tabla se detalla los modelos disponibles, los tipos y la fecha en las que han sido lanzados al mercado.

Tabla 2-3: Modelos de Raspberry Pi en el mercado.

MODELO	DETALLE	TIPOS	RELEASE DATE	VISTA TARJETA
Modelo A	Las tarjetas son cuadradas y son livianas, sus especificaciones menores a las del Modelo B, cuentan con un puerto USB, no incluye conexión a internet, consumen menos energía y son económicas.	Raspberry Pi Model A	2013-02-04	
		Raspberry Pi Model A+	2014-11-10	
		Raspberry Pi 3 Model A+	2018-11-15	

Modelo B	El Modelo B de Raspberry Pi se caracteriza por el rápido procesamiento de su CPU y con una mayor conectividad, su placa incluye puertos de Ethernet y USB.	Raspberry Pi Model B	2012-02-15	
		Raspberry Pi Model B+	2014-04-15	
		Raspberry Pi 2 Model B	2015-02-01	
		Raspberry Pi 3 Model B	2016-02-29	
		Raspberry Pi 3 Model B+	2018-03-14	
		Raspberry Pi 4 Model B	2019-06-24	
Zero	Es una tarjeta de bajo costo y pequeña a comparación de los Modelos A y B, viene con un modelo de pines GPIO, solo usa un micro puerto USB. Su más reciente versión Incluye conexión WiFi y Bluetooth.	Raspberry Pi Zero	2015-11-26	
		Raspberry Pi Zero W	2017-02-28	
		Raspberry Pi Zero Wh	2018-01-12	
		Raspberry Pi Zero 2 W	2021-10-28	

Compute	El modelo Compute Module es utilizado para trabajos de ingeniería con una mayor funcionalidad, pero de dimensiones menores para pequeños diseños.	Raspberry Pi Compute Module 1	2014-04-07	
		Raspberry Pi Compute Module 3	2017-01-16	
		Raspberry Pi Compute Module 3+	2019-01-28	
		Raspberry Pi Compute Module 4	2020-10-19	

Fuente: (Raspberry Pi, 2022)

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Raspberry cuenta con una variedad de modelos los que incluye, Modelo A, Modelo B, Zero y Computer, estos tienen versiones que han sido actualizadas a los años, adaptándose a cada una de las necesidades y tienen características diferentes. Se conoce que los modelos lanzados en los años 2012 y 2013 han sido descontinuados del mercado, mientras se espera que desde el año 2014 al 2019 sean descontinuados en el 2026 y los modelos más recientes en el año 2028 (The Pi Hut, 2017). Los modelos anteriormente mencionados de las tarjetas de desarrollo para visión artificial de Raspberry Pi tienen diferentes.

Arduino: Es un microcontrolador reprogramable con entradas analógicas y pines digitales tipo hembra y facilita la conexión a sensores y actuadores de forma sencilla y rápida ilustración 2-11. Es una Placa de Circuito Eléctrico (PCB) con circuitería interna (ARDUINO.cl, 2014).

Arduino se destaca por ser libre y extensible haciendo posible la extensión del diseño del hardware, para su entorno programable puede ser posible el uso de varias plataformas como: Windows, Linux y MacOS y su lenguaje de programación es basado en C++ (ARDUINO.cl, 2014).

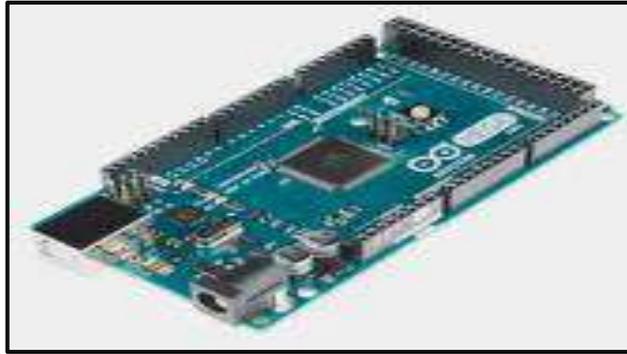


Ilustración 2-11: Tarjeta Raspberry Pi 3 Modelo B

Fuente:(ARDUINO.cl, 2014)

Existe una variedad de tarjetas Arduino en el mercado entre las que se destaca el Arduino Uno, Arduino Leonardo, Arduino Mega 2560 Rev3, Arduino Zero, Arduino Due, entre otros. Las diferencias que se destaca en estas placas es el tipo de microcontrolador, cantidad de pines digitales y analógicos, así como su procesador. La mayoría son alimentados de 3,3 V a 5V.

OrangePi: Son tarjetas de desarrollo que se las considera como una alternativa a la Raspberry Pi, son fabricadas por la compañía China Shenzhen Xunlong Software CO, Ilustración 2-12, Limited. Son dispositivos de código abierto en los que es posible ejecutar los sistemas operativos de Android, Ubuntu, Debian, así como las imágenes de Raspberry Pi y Banana Pi, su microprocesador es el AllWinner y cuentan con 25 MB hasta 2 GB de RAM. Algunas cuentan con Ethernet, Bluetooth, WiFi y conectividad 2G (ORANGEPI, 2023) .



Ilustración 2-12: Tarjeta OrangePi.

Fuente: (ORANGEPI, 2023)

Estos miniordenadores son herramientas ambientadas a la creación de nuevas tecnologías en las que es posible la ejecución de proyectos de Visión Artificial, son nuevas en el mercado y aunque cuenta con una gran variedad de aplicaciones y versiones sus guías aún son escasas y no todas están disponibles en el idioma español.

Shield CNC: Es utilizado como un soporte de comunicación para Arduino, es de fácil montaje y factible para los proyectos CNC (Control Numérico Centralizado), es programable con un código abierto de Arduino siendo posible la elaboración de proyectos de tipo robótica o CNC, cortadoras lases y máquinas pick & places ilustración 2-13. Es fácil el montaje de componentes SMD en circuitos electrónicos (Cuervo et al., 2016).

La alimentación del Shield CNC es diferente a la del controlador y cuenta con 4 puertos de comunicación para controladores A4988 para así controlar motores paso a paso (Olivares et al., 2020).

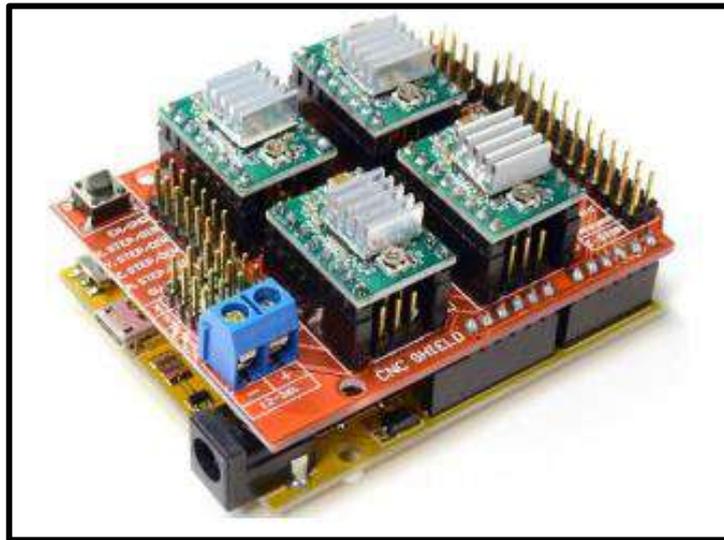


Ilustración 2-13: Shield CNC para Arduino.

Fuente:(Handson Technology, 2017)

2.2.5. Actuadores eléctricos

Los actuadores eléctricos son alimentados por energía eléctrica, son de fácil reparación y mantenimiento. Estos actuadores se consideran cuando un motor eléctrico mueve a los eslabones del robot por medio de transmisión mecánica (Kumar Saha, 2011).

2.2.5.1. Motores a pasos

Un motor paso a paso o *Step Motors*, son utilizados en robots industriales de carga mediana y pequeña o educativos ilustración 2-14. Estos dispositivos son compatibles con dispositivos de retroalimentación y son controlados digitalmente y pueden ser transformados a señales análogas cuando son conectados a un sistema de control por computadora (Kumar Saha, 2011).

Para los motores a pasos es necesario contar el número de pulsos que son transmitidos a la fase del bobinado del estator, cada unidad de tiempo ayuda a determinar la velocidad del motor. El par de torsión del eje o el ángulo de inclinación varía entre $1,8^\circ$ a 90° , se considera que un paso nominal de $1,8$ es 1000 , para un ángulo de paso nominal con pulsos de corriente producen un desplazamiento angular a $1\ 800^\circ$ o cinco vueltas completas (Kumar Saha, 2011).

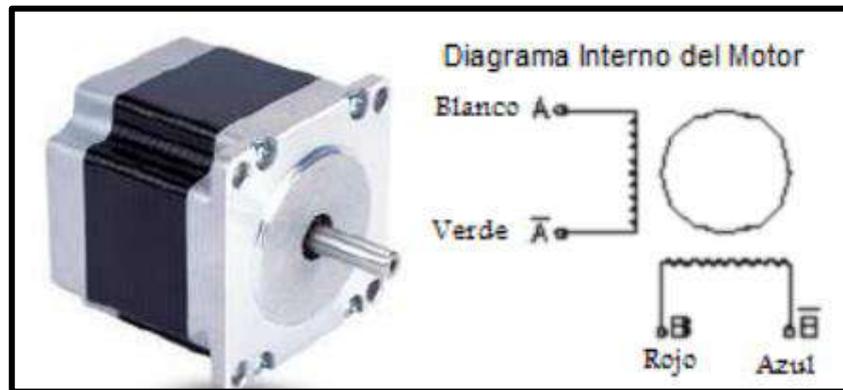


Ilustración 2-14: Motor paso a paso y circuito equivalente.

Fuente:(Val, 2009)

2.2.5.2. Actuador lineal

Los actuadores lineales son aquellos motores que llegan a convertir un movimiento rotario a uno lineal y son utilizados para subir o bajar una carga, empujarla o halarla, colocar o girar algo. Sus funciones están controladas por unidades electrónicas de control que reciben señales que indican la actividad que debe de realizar el motor (Rey-Baltar de la Rica, 2022).

Está compuesto por un motor de corriente directa (CD) conformado por un tornillo sin fin y engranajes que desplazan a un husillo que recorre una distancia y depende del sentido de giro que permite que el husillo de retraiga o extienda (Cánovas Pérez, 2020).

2.2.6. Sensores

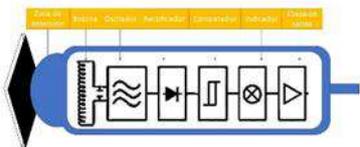
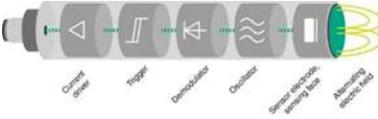
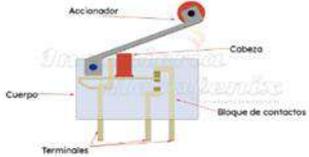
Los sensores son dispositivos que ayudan a que un robot pueda interactuar con su entorno y el mundo que los rodea, puede proporcionar información al robot como una retroalimentación para poder controlarlo. Un sensor puede ser de ser de estado interno o estado externo (De Oliveira et al., 2017).

- **Sensores externos:** Perciben aspectos del mundo externo, se puede encontrar sensores de contacto, proximidad, fuerza, distancia, laser, ultrasonido, infrarrojo y químicos.

- **Sensores internos:** Proporciona información de parámetros internos del robot, tales como: velocidad o sentido de giro de un robot, o ángulo de articulación. Algunos de estos sensores son potenciómetros, codificadores, sensores inerciales, giroscópicos, entre otros.

En su mayoría se requiere de sensores del tipo externos, por lo que se hace una recopilación de estos en la tabla 2-4.

Tabla 2-4: Sensores Externos

Tipo de Sensor	Descripción	Ejemplos
Inductivos	Detectan objetos cuando cambia la inductancia al encontrarse con un material se encuentra dentro de la onda magnética y envía una señal de la presencia del objeto.	
Capacitivos	Reacciones a materiales del tipo metálico y no metálico, estos se activan debido a la permutación del sensor capacitivo.	
Finales de carrera	Reacciones a materiales del tipo metálico y no metálico, estos se activan debido a la permutación del sensor capacitivo.	

Fuente:(Atencio Sifuentes y Huallparimachi Cañavi, 2018)

2.2.7. Elemento terminal

Una de las partes importantes de un robot es su elemento terminal o el órgano manipulador de la máquina con el que esta podrá llevar a cabo su trabajo asignado, este elemento debe contar con las características de poder soportar una capacidad de carga, tener fuerza de aprensión y movilidad para que esta sea la fuente de contacto con las piezas del exterior, se encuentran varios tipos de elementos terminales en la actualidad y se los puede clasificar en elementos de contacto o enganche, como se detalla en la tabla 2-5.

Tabla 2-5: Elementos terminales

Tipo	Detalle	Ejemplo
Enganche	Retiene y transporta elementos mediante pinzas accionadas eléctricamente, neumática o hidráulicamente.	Grippers
		Manos de retención
Contacto	Son herramientas adhesivas, de succión o imanes magnéticos.	Ventosa Venturi
		Electroimanes o imanes permanentes
		Imanes permanentes

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

De los actuadores finales de un robot que son más utilizados en la industria para robots son los Grippers y ventosas al vacío debido a la facilidad de construcción y uso.

2.2.7.1. Grippers

Estos elementos de manipulación son herramientas de agarre compuesta por “dedos” con distintos accionamientos los cuales pueden ser fijos, móviles, tener un diferente tamaño, puede contar con 2 o 3 dedos para sujetar a las piezas realizando una constricción o por medio de fricción. En la ilustración 2-15, se indica cómo actúa un *gripper* (Vincent Babin y Clément Gosselin, 2021).

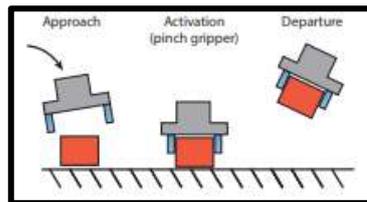


Ilustración 2-15: Obtención de un objeto con un gripper paralelo

Fuente: (Vincent Babin y Clément Gosselin, 2021)

2.2.7.2. Ventosa Venturi

La ventosa Venturi o al vacío es una herramienta de sujeción, estas se adhieren a las piezas al crearse un vacío por el aire comprimido generado por un compresor de aire ilustración 2-16,. Las ventajas de la utilización de este tipo de elementos es que son de bajo costo, las hay de varios tamaños y pueden ser utilizadas en conjunto o solas, se debe de considerar que no se deben de producir fugas de aire entre la pieza a recolectar y la cavidad de la ventosa.

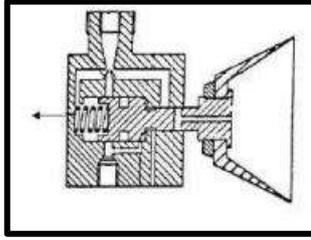


Ilustración 2-16: Ventosa al vacío.

Fuente: (INESEM, 2023)

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se detalla su diseño, construcción, validación estructural, funcionamiento del robot cartesiano y se describe las acciones que se realizaron para implementar el prototipo junto con su *hardware* y *software*, así como los elementos y piezas que se utilizaron, diagramas de la conexión electrónica y ejecución del sistema de visión artificial.

3.1 Propuesta y diseño del prototipo

Es necesario plantear requisitos para la implementación de la estación con objetivos para diseñar una propuesta y llevarla a cabo, por esta razón, es necesario conocer cuáles son las fases de implementación de la estación tomando en cuenta su funcionalidad del robot.

3.1.1. *Requerimientos del prototipo*

Para la implementación de la estación de organización y clasificación de piezas plásticas, se debe cumplir con una lista de requerimiento tanto para su estructura, hardware y software el cual debe ser escogido, validado y posteriormente implementado, tal como se detalla a continuación:

- Diseñar una estación robótica que cumpla con las características de un robot cartesiano capaz de clasificar y organizar piezas plásticas, que cuente con las características estructurales correspondientes para su movimiento y soporte de los elementos que contenga, con la ayuda de un software de diseño mecánico.
- Elaborar bandas transportadoras para trasladar las piezas plásticas y las cajas hasta sus lugares, que se adapten a las dimensiones de la estructura principal.
- Seleccionar material robusto con la resistencia necesaria para construir la estructura principal del robot y las bandas transportadoras.
- Escoger un sistema de sujeción o agarre para que las piezas sean transportadas desde la banda transportadora principal hacia las cajas con compartimientos en las siguientes bandas.
- Diseñar piezas plásticas impresas en 3D para que sean clasificadas y organizadas, estas deben de ser de 3 distintos colores y formas. Así como las cajas con compartimientos donde serán almacenadas las piezas.
- Validar el diseño con pruebas de simulación de esfuerzo en el software de simulación.
- Diseñar un sistema de transmisión para los ejes X-Y-Z con el que se pueda ofrecer movilidad a cada uno de los ejes del robot cartesiano.

- Seleccionar motores que formen parte del sistema de transmisión del robot para facilitar el movimiento de las bandas y los tornillos sin fin de la estructura principal.
- Elegir una tarjeta de desarrollo que sea el cerebro del robot, capaz de almacenar un código de control y que sea funcional para proyectos relacionados con Visión Artificial.
- Escoger un microcontrolador con el que sea posible realizar una conexión entre la tarjeta de desarrollo y los elementos del hardware que reciba señales y envíe respuestas dependiendo de la actividad que realice el robot.
- Seleccionar una cámara con las características de resolución adecuadas para captar imágenes de las piezas y cajas, funcionales para el prototipo de tamaño compacto y económico que formen parte del Sistema de Visión Artificial.
- Seleccionar una cámara de fácil integración, utilizada en aplicaciones simples y que sea fácil de configurar a un sistema de visión Artificial.
- Seleccionar los elementos que componen el sistema electrónico del robot en base a los requerimientos del robot.
- Generar un algoritmo con el que se pueda clasificar y organizar las piezas que deben de ser almacenadas y a las que se los considerará como rechazos por medio de visión artificial.
- Hacer un algoritmo para captar los espacios vacíos y llenos en los compartimientos de almacenamiento por medio de visión artificial y contar los que se encuentran con piezas dentro.
- Crear una base de datos donde se guarde información sobre las cajas llenas que han sido despachadas al final de una jornada, con la finalidad de documentar los almacenamientos de las cajas plásticas despachadas.
- Poner en marcha una interfaz gráfica que sirva como comunicación entre el robot y el usuario en la que se pueda observar los procesos que se llevan a cabo para de clasificación y organización de piezas plásticas y sea una unidad de control para el prototipo.

3.1.2. Pasos para la implementación de la estación.

Para implementar la estación de selección y organización de piezas se ha planteado un diagrama de flujo descrito en la Ilustración con las variables y pasos a seguir para que la elaboración de la estación y que le proceso de clasificación y organización de piezas plásticas por medio de visión artificial sea eficiente y eficaz.

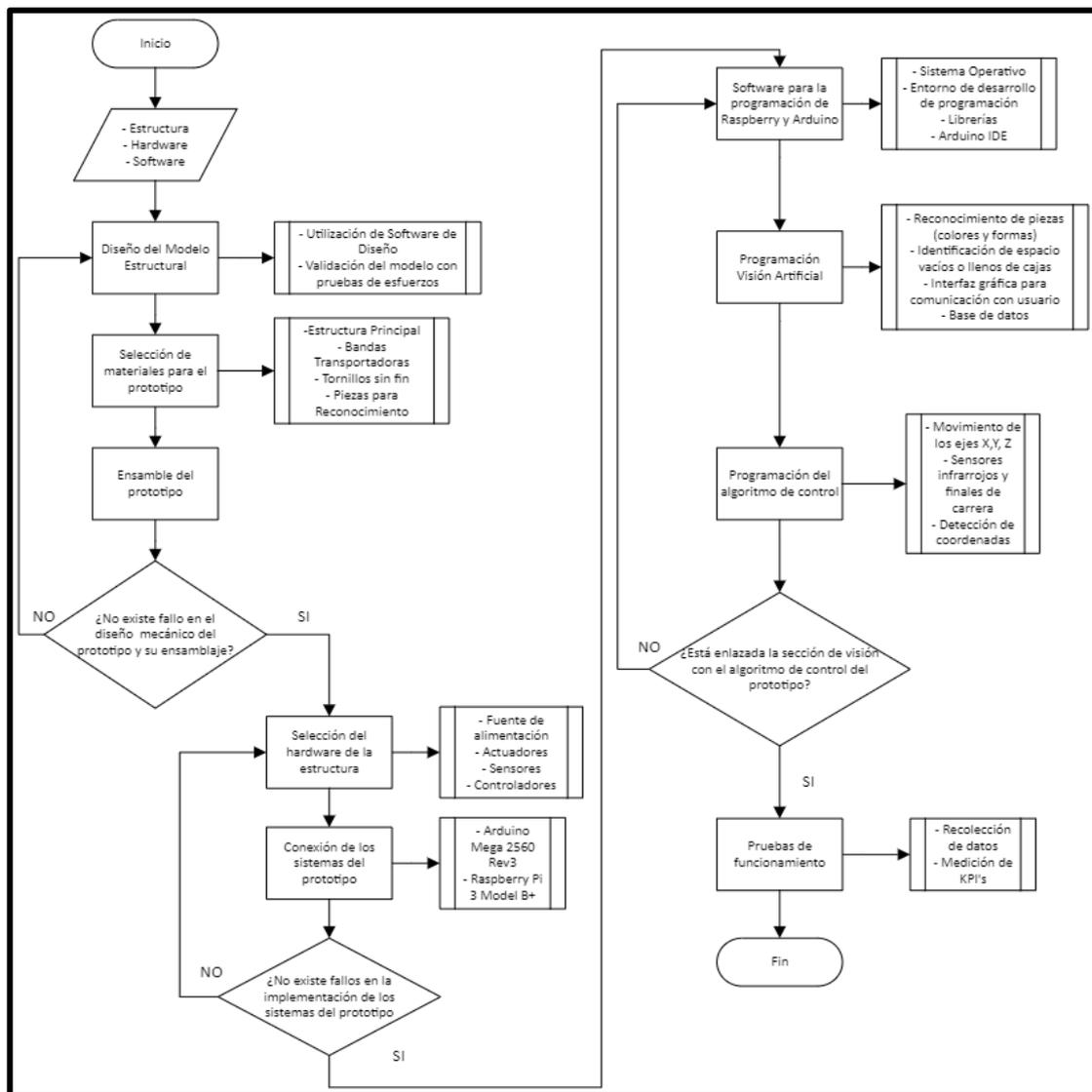


Ilustración 3-1: Diagrama de implementación del prototipo.

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Se divide en tres fases, la primera la implementación de la estructura y simular las pruebas de esfuerzo, seguido por la implementación del *hardware* como se compone los distintos sistemas que permiten el adecuado funcionamiento y el *software* que permite la ejecución de tareas específicas de clasificación y organización de las piezas plásticas.

3.1.3. *Funcionamiento general del prototipo*

En la ilustración 3-1, se muestra cual es el funcionamiento general de la estación de clasificación y organización de piezas plásticas, los recursos con los que cuenta la estación para su correcto funcionamiento.

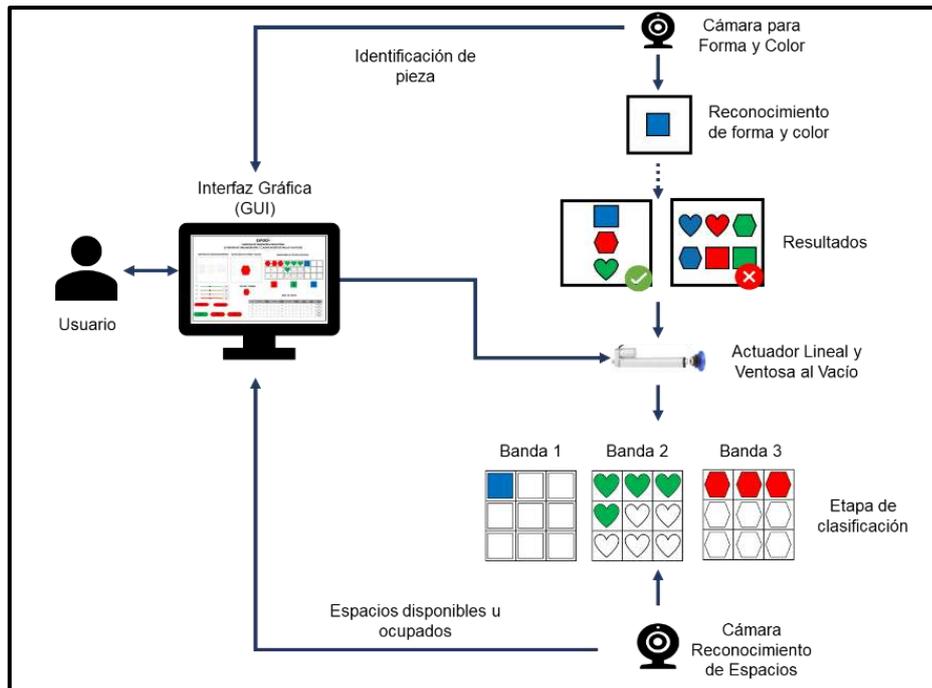


Ilustración 3-2: Funcionamiento general del prototipo.

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

El funcionamiento del robot inicia cuando en la Interfaz Gráfica se encuadra las coincidencias de las cajas en las bandas para poder enfocar las divisiones de cada una de las cajas en las tres bandas, posteriormente se da una señal de inicio donde se enciende la banda principal y se recibe una imagen de la pieza que está pasando para determinar su forma y color. Al reconocer a la pieza se envía al final de la banda para ser recogida por la ventosa al vacío que está sujeta a un actuador lineal si la pieza que se reconoce mediante visión artificial es un cuadrado azul, corazón verde y hexágono rojo, las otras piezas serán consideradas como falsos positivos y no serán almacenadas EL robot tiene tres grados de libertad, lo que permite que su movimiento se realice en los ejes X, Y y Z. Por lo tanto, las piezas serán almacenadas en los compartimientos de las cajas que se encuentran en cada una de las tres bandas transportadoras. Las piezas son depositadas en los compartimientos vacíos, estos son reconocidos mediante la información recogida por otra cámara la cual indica cuales son los espacios disponibles.

El procesador recibe varias señales que indican cuando el robot debe de realizar acciones específicas para su movimiento y las coordenadas hacia donde se debe de dirigir. Estas funciones que cumple el prototipo son:

- Se recibe una señal eléctrica del sensor de proximidad fotoeléctrico infrarrojo en la banda principal para que se tome una captura e identificar la forma y color, si cumple con las condiciones esta sigue avanzando al final de la banda donde otro sensor de proximidad indica que está ahí para ser recogido por la ventosa.

- La interfaz gráfica del procesador es del tipo HMI que permite la comunicación entre el usuario y la máquina, en ella se presenta recursos Ilustración s que indican como avanza el proceso en tiempo real. Con la interfaz gráfica es posible las siguientes acciones:
 - Botón de inicio para poder accionar el funcionamiento de los motores de las bandas y del prototipo, botón de paro y botón de salir del programa.
 - Controlar el almacenamiento, en esta sección es posible calibrar la posición de las cajas en las tres bandas por medio de sliders.
 - Detectar la forma y color, al ser recibida la señal que la pieza se encuentra en posición se toma una captura de la pieza sobre la banda y se procesa que tipo es y si es de las que se debe almacenar o no.
 - Inventariar las piezas plásticas que ya han sido depositadas en los cubículos, por forma y color. Se visualiza los espacios llenos y se cuenta cuantos hay en cada una de las cajas.
 - Visualizar una base de datos que donde se registra las cajas llenas que han sido despachadas al final de una jornada.

La interacción entre el prototipo y el usuario es mediante la Interfaz gráfica y de control HMI, con la cual es posible controlar en tiempo real al robot y las bandas transportadoras.

3.2. Diseño estructura mecánica

Para el diseño mecánico del prototipo se utilizó el software SOLIDWORKS 2019. Este software nos permite realizar modelos mecánicos de manera virtual con herramientas de diseño en dos y tres dimensiones, así también el análisis de esfuerzo – deformación de los componentes que van a soportar peso en la estructura principal.

También se utilizó UltiMaker Cura que es un software de impresión 3D gratuito y de fácil acceso, que posee varias configuraciones para obtener excelentes resultados en la impresión.

Luego de realizar el diseño y procesar las piezas se procede a agruparlas, formando un ensamble que representa una estructura más elaborada y funcional.

Las diferentes piezas que componen el presente prototipo fueron diseñadas en SOLIDWORKS, posteriormente construidas e impresas. A continuación, se presentan cada una de las piezas y los ensamblajes de estas.

3.2.1. Estructura principal

Para el presente proyecto se escogió un robot tipo cartesiano, partiendo de este concepto para la elección del material idóneo se consideró en la Tabla 3-1 dos tipos de materiales.

Tabla 3-1: Materiales para la implementación del robot.

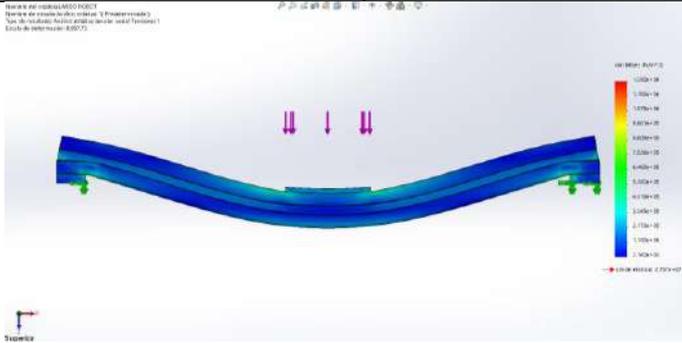
Material	Dimensiones	Propiedades
Aluminio	20*20 mm Tipo V	Posee rieles en cada uno de sus lados, permiten un desplazamiento preciso y más suave. Resistencia al fallo: 190 N/mm ² Peso ligero Resistente a la corrosión
Aluminio	40*40 mm Tipo V	
Madera	40*40 mm Sólido	No posee ranuras Requiere de tratamiento para extender su funcionalidad Se pandea con el tiempo

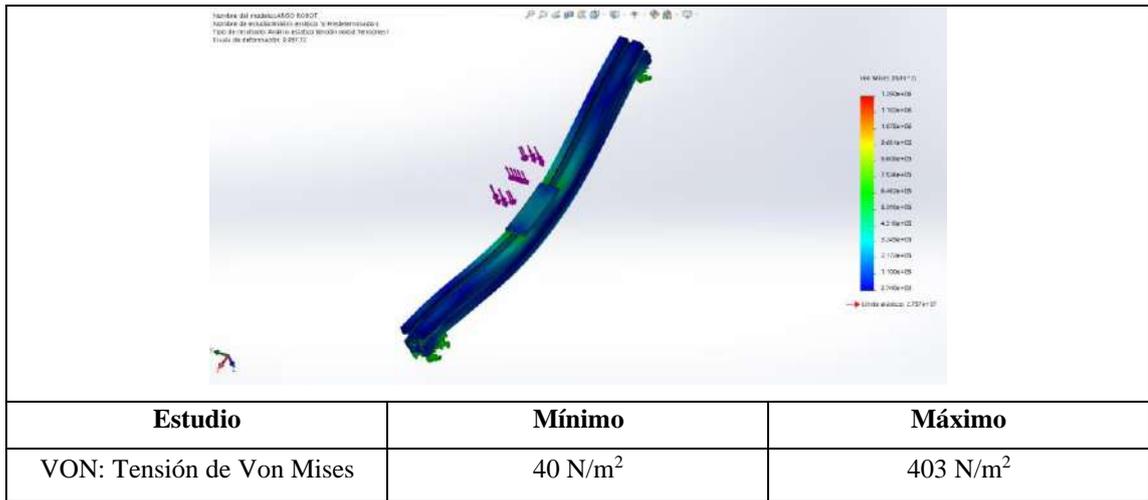
Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Se realizó un análisis previo donde se sometió a los materiales a una fuerza de 25 N donde se obtuvo resultados para cada elemento.

Perfil de Aluminio: Para el perfil de aluminio se tiene que el límite elástico es 3×10^7 N/m² y la tensión máxima de Von Mises resultante en el análisis es 403 N/m². En la tabla 3-2, se detalla el resumen del análisis en el software SolidWorks.

Tabla 3-2: Análisis de fuerza perfil de aluminio.

Propiedades Físicas:	Propiedades del Material:
<p>Masa: 1.03622 kg</p> <p>Volumen: 0.000383784 m³</p> <p>Densidad: 2,700 kg/m³</p> <p>Peso: 10.1549 N</p>	<p>Aleación 1060</p> <p>Límite elástico: 2.75742e+07 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 6.89356e+07 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 6.9e+10 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.33</p> <p>Densidad: 2,700 kg/m³</p>
	

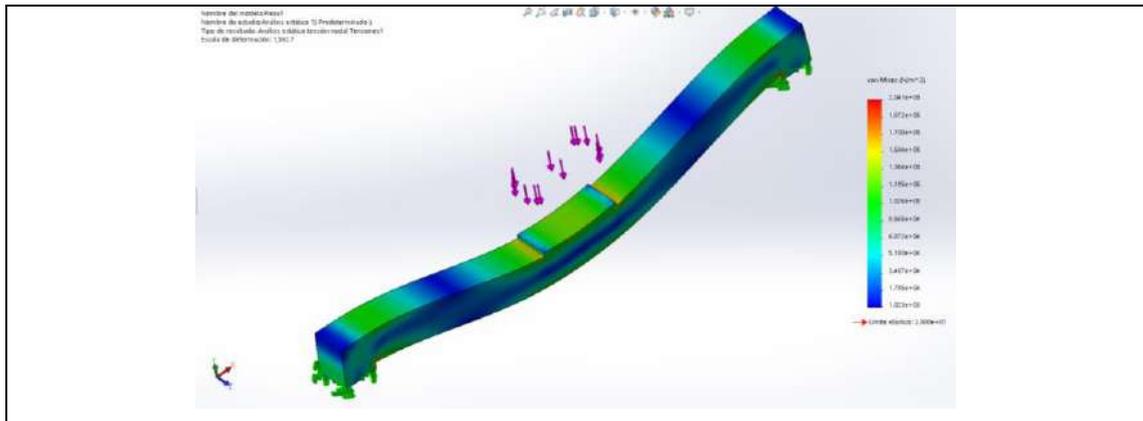


Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Madera: Para el listón de madera se toma en consideración el límite elástico con un valor de 2193 N/mm² y la tensión máxima de Von Mises resultante en el análisis es 296 N/mm². En la tabla 3-3, se detalla el resumen del análisis en el software SolidWorks

Tabla 3-3: Análisis de fuerza de un perfil de madera.

Propiedades Físicas:	Propiedades del Material:
<p>Masa: 0.16703 kg</p> <p>Volumen: 0.001044 m³</p> <p>Densidad: 159.99 kg/m³</p> <p>Peso: 1.63689 N</p>	<p>Balsa</p> <p>Límite elástico: 2e+07 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 3e+09 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.29</p> <p>Densidad: 159.99 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 3e+08 N/m²</p>



Estudio	Mínimo	Máximo
VON: Tensión de Von Mises	20 N/m ²	296 N/m ²

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Luego de haber realizado el análisis correspondiente para la selección del material con el que se realizó la estructura principal, se obtuvo un coeficiente de seguridad de 8 para el perfil de aluminio y de 7 para el listón de madera en el punto de mayor deformación.

Por lo tanto, por la robustez, las facilidades que brinda y tomando en cuenta el coeficiente de seguridad mayor, se escogió el perfil de aluminio Tipo V de dimensiones 40*40 mm debido a que el prototipo genera movimientos lineales en los ejes X y Y, además de soportar cargas que a pesar de no ser de un valor muy elevado el perfil de dimensiones menores no es apropiado para el diseño.

Mediante los resultados del análisis por el método de Von Mises que el software SolidWorks proporciona se puede concluir que el perfil de aluminio tiende a deformarse menos en los puntos donde se aplica la mayor fuerza, siendo este el más adecuado para el diseño.

Modelado estructural del prototipo

Como ya se mencionó anteriormente para la construcción del marco se escogió un perfil ranurado tipo V de dimensiones 40*40 mm, donde las medidas son las siguientes:

- Largo: Dos unidades de 70 cm
- Ancho: Dos unidades de 62 cm
- Alto: Cuatro unidades de 46 cm

Todas las piezas se fijaron con tuercas de aluminio Tipo T, ángulos de 90° para perfil de 40*40 mm y pernos Allen M5 de 8 mm de largo. Ilustración 3-3.

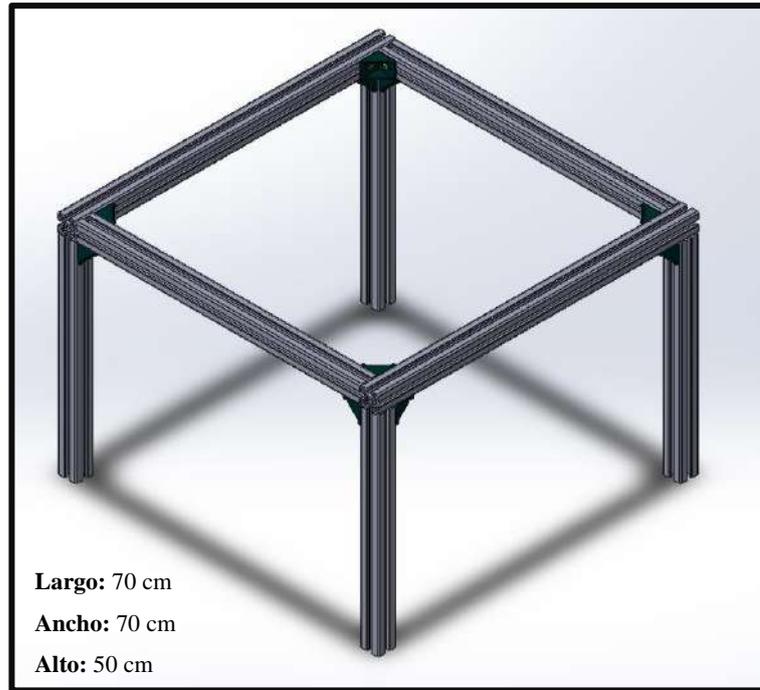


Ilustración 3-3: Modelo estructural del prototipo.

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

3.2.1.1. Elementos que conforman el eje Y

Para el diseño y construcción del eje Y se tiene dos sistemas de transmisión (uno para cada riel) debido a la magnitud del prototipo y el movimiento lineal que generan, se encuentran anclados por medio de placas de sujeción planas, tuercas T y pernos Allen de 15 mm de largo.

El sistema de transmisión del movimiento se lo realizó mediante dos tornillos sin fin de 67 cm de largo con una varilla sólida en fundición gris de 12 mm, torneada una rosca de paso 3 mm. Todo esto fijado de un lado al motor con un acople flexible y del otro lado a una chumacera de piso con una elevación para facilitar su movimiento. Ilustración 3-4.

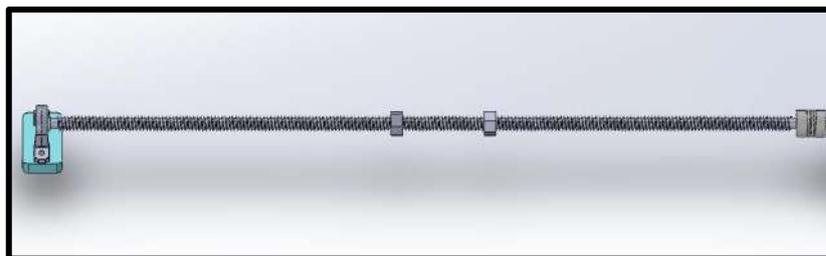


Ilustración 3-4: Tornillo sin fin en el eje Y.

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Se realizó el diseño y la impresión 3D de los elementos móviles con guías de sujeción a la ranura del perfil para minimizar el desplazamiento perpendicular al eje de rotación, estos se desplazan a través del tornillo sin fin con la ayuda de dos tuercas con rosca de paso 3 mm. Ilustración 3-5.

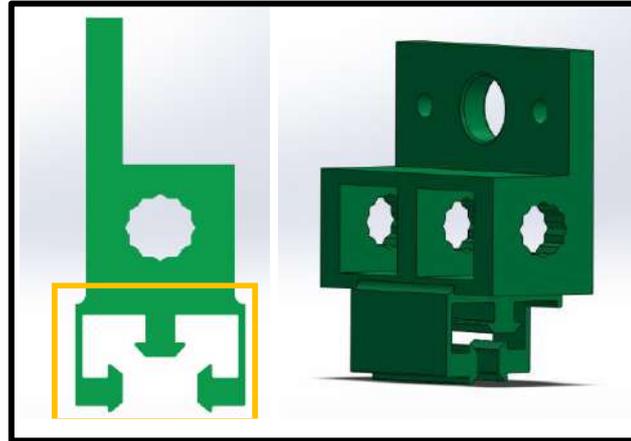


Ilustración 3-5: Elementos móviles con guías.

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

3.2.1.2. Elementos que conforman el eje X

Para el desplazamiento en el eje X se tomó criterios similares al anterior donde se tiene un movimiento longitudinal para el cual se seleccionó un tornillo sin fin de 61 cm de largo, de fundición gris, eje sólido de diámetro 12 mm y torneado una rosca de paso 3 mm. Fijado de un extremo al sistema de transmisión de movimiento con un acople flexible y el otro extremo a un rodamiento. Ilustración 3-6.

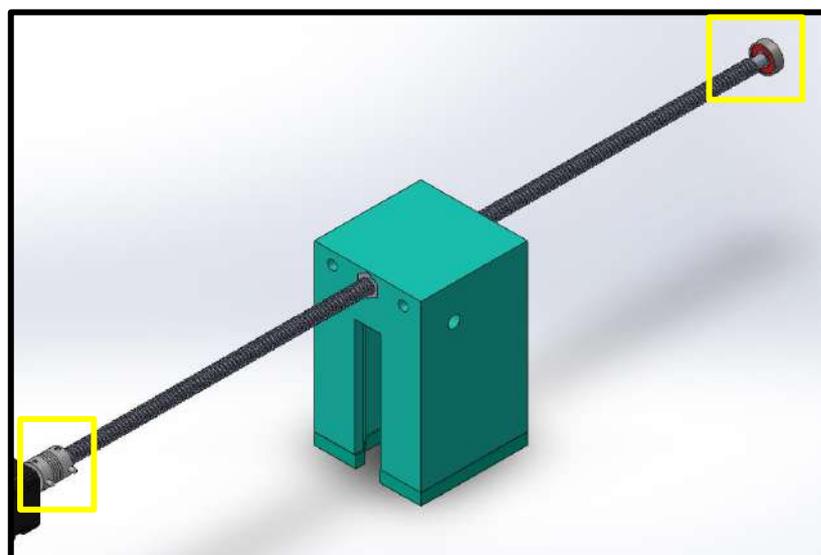


Ilustración 3-6: Tornillo sin fin eje X.

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

A su vez estos se encuentran sobre unos soportes móviles impresos en 3D tanto para el eje X-Y, sirviendo de anclaje tanto para el motor como para el rodamiento. Incluye también dos soportes cilíndricos de aluminio en 8 mm, sujetos con anillos de seguridad y prisioneros.

El elemento que va a sostener el actuador lineal (elemento que implementa el movimiento en el eje z del prototipo) una base móvil de 10 cm de ancho, 10 cm de ancho y 15 cm de alto es una pieza diseñada e impresa que se desplaza por medio de dos tuercas con rosca de paso 3 mm. Ilustración 3-7.

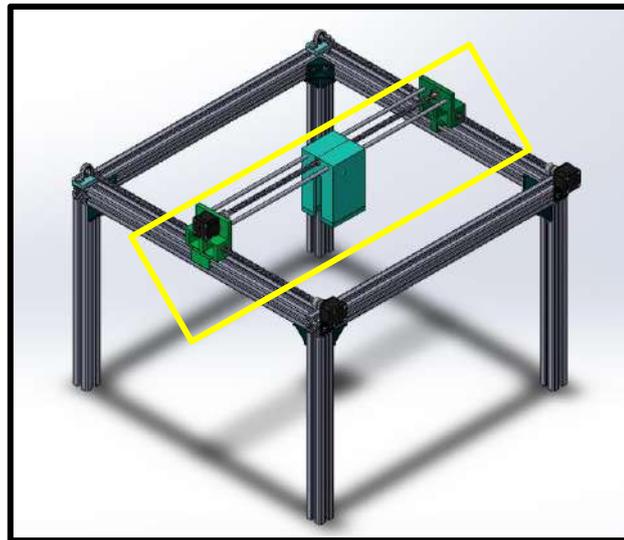


Ilustración 3-7: Elementos del eje X

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

3.2.1.3. Elementos que conforman el eje Z

El sistema de movimiento en el eje Z, difiere de los anteriores es necesario una pieza que realice un movimiento vertical para lo cual es necesario un soporte para que este pueda ser anclado y desplazado mediante el eje X.

Para completar el movimiento en el eje Z se diseñó e imprimió un elemento que sirve de sujeción para la ventosa generadora de vacío de 10 mm de diámetro ubicada en la parte final del actuador lineal.

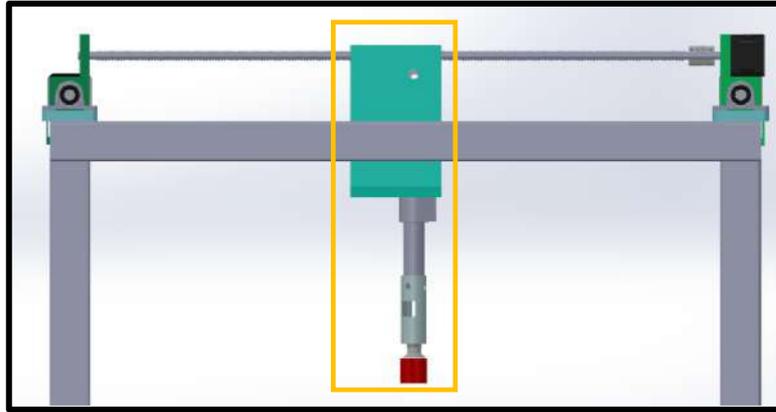


Ilustración 3-8: Piezas para sujeción de actuador lineal y ventosa.

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

3.2.2. *Bandas transportadoras*

En el caso de las bandas transportadoras se utilizó un perfil de aluminio tipo V 20*20 mm, para el marco se utilizaron las siguientes medidas:

- Largo: Dos unidades de 60 cm
- Ancho: Dos unidades de 15 cm
- Alto: Cuatro unidades de 8 cm

Todas las piezas se fijaron con tuercas de aluminio Tipo T, ángulos de 90° para perfil de 20*20 mm y pernos Allen M5 de 5 mm de largo. El material que se utilizó para el transporte de los contenedores es elástico negro de 10 mm de ancho estirado en dos veces su longitud original (20 cm). Ilustración 3-9.

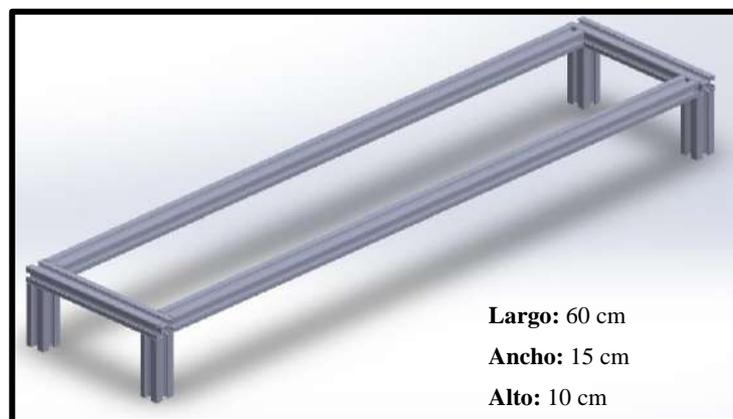


Ilustración 3-9: Diseño de bandas transportadoras secundarias.

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Se construyeron tres bandas para la organización de las piezas plásticas en contenedores, las cuales integran como parte de su estructura un sistema de transmisión para el movimiento de la

banda mediante una correa dentada cerrada de 400 mm de largo y 6 mm de ancho, poleas de 20 dientes diámetro interior 8 y 5 mm. Ilustración 3-10.

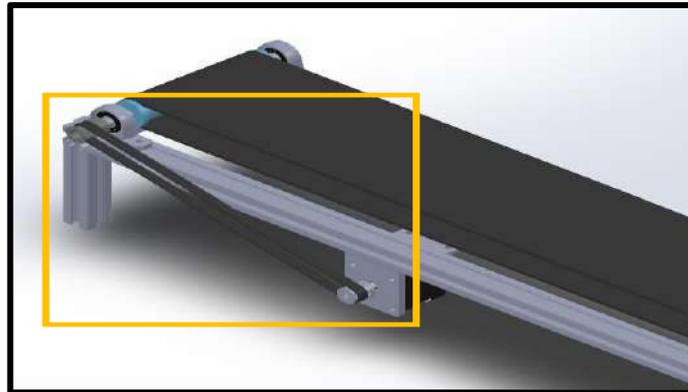


Ilustración 3-10: Sistema de transmisión bandas transportadoras.

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Para facilitar el movimiento de la banda se diseñó ejes móviles impresos en 3D que se colocaron sobre los ejes de aluminio de 8 mm estos a su vez están sujetos con chumaceras de piso y prisioneros. Ilustración 3-11.

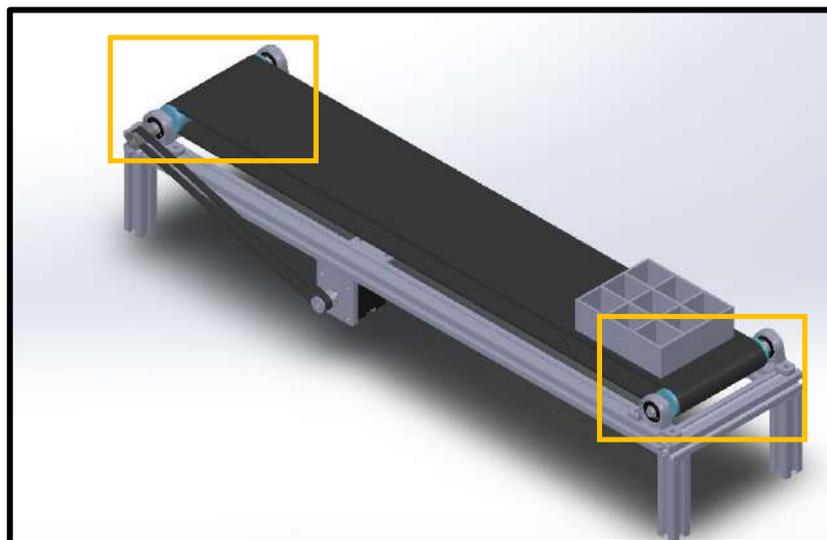


Ilustración 3-11: Ejes móviles bandas transportadoras.

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

3.2.3. Selección del motor paso a paso

Como se mencionó anteriormente el movimiento de los ejes X y Y, así como para las bandas transportadoras se utilizó motores paso a paso, por ser fáciles de controlar en lazo abierto. Para la selección del motor se analizó el torque que requiere cada motor mediante el peso que soporta el

motor en cada eje. Para determinar el torque se parte de la ecuación (1) donde se indica que la fuerza es proporcional a la distancia.

$$T = F \times d \quad (1)$$

En la tabla 3-4, se detalla los pesos en cada eje y el torque resultante.

Tabla 3-4: Torque necesario para la selección del motor

Eje	Elementos	Masa Unitaria [kg]	Masa Total [kg]	Peso [N]	Distancia [m]	Torque [N.m]
Y	Eje X	1,23	1,53	15,01	0,025	0,375
	Tornillo sin fin	0,30				
X	Tornillo sin fin	0,23	1,23	12,08	0,025	0,302
	Soporte actuador lineal	0,40				
	Actuador lineal	0,60				
	Ventosa al vacío	0,0012				

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

El eje Y tiene dos tornillos sin fin en cada uno de los costados y estos sostienen al eje X, el torque es dividido entre dos por lo que el torque es de 0,375 [N.m]. Existen dos motores paso a paso para poder mover cada uno de los tornillos sin fin. En el eje Y el movimiento es producido mediante el acople del motor paso a paso y el tornillo sin fin, el torque es de 0,302 [N.m] y solo es utilizado un motor en este eje. En el extremo contrario al motor al tornillo se lo acopla un rodamiento de piso con el que se facilita el giro de cada tornillo. Uno de los factores importantes del proyecto es que es un prototipo de bajo costo por lo que se sobredimensiona al eje de menor torque y a las bandas transportadoras y con el torque otorgado es posible comprobar que los actuadores funcionarán de manera correcta.

El motor paso a paso (PAP o Stepper) ilustración 3-12, escogido es un Nema 17, este motor bipolar compatible con Arduino Mega y los controladores TB6600, es ideal para proyectos relacionados con movimiento lineal. En el prototipo son usados para proporcionar movimiento a 2 tornillos sin fin de 67 cm de largo en el eje Y, en el eje X un tornillo sin fin de 61 cm.



Ilustración 3-12: Motor NEMA 17.

Fuente: (BricoGeek, 2015)

Para las bandas transportadoras se ha utilizado motores paso a paso de la marca CREALITY , modelo 17HS2408S, tiene 2 fases y para cada una se recomienda suministrar alrededor de 1,8 A y completa un círculo en 200 pasos. Estos motores son compatibles con los controladores Pololu A4988.



Ilustración 3-13: Motor NEMA 17 marca CREALITY.

Fuente: (NovatronicEC, 2020)

Las especificaciones de estos motores se detallan en la tabla 3-5:

Tabla 3-5: Características de motor paso a paso Nema 17.

Detalle	Especificaciones
Ángulo de paso	1,8°
Voltaje	12 V
Corriente por fase	1,8 A
Resistencia por fase	2,5 Ω
Inductancia por fase	5 mH
Par nominal	0,4 N.m

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Este tipo de motores cumple con los requerimientos para la implementación del robot y se han aplicado un total de 7 motores Nema 17, cada uno cuenta con su propio controlador y son conectados a los pines de las placas Arduino.

3.2.4. Elementos adicionales

Además de los elementos que conforman cada uno de los ejes de manera estructural, se diseñaron componentes adicionales que forman parte del prototipo y son esenciales para el desarrollo del presente trabajo.

3.2.4.1. Piezas 3D

Se diseñó e imprimió piezas plásticas para el proceso de clasificación en distintas figuras y colores entre ellas se tiene: corazón, hexágono y cuadrado de colores verde, rojo y azul respectivamente. Ilustración 3-14.

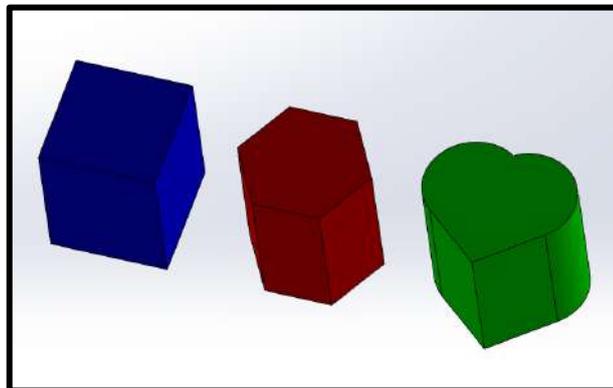


Ilustración 3-14: Diseño de piezas plásticas.

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

3.2.4.2. Cajas con compartimientos

Al igual que las piezas plásticas se diseñó una caja de almacenamiento con nueve compartimientos donde se van a almacenar las piezas del mismo color y formas estas fueron impresas en 3D con un color blanco. Ilustración 3-15.

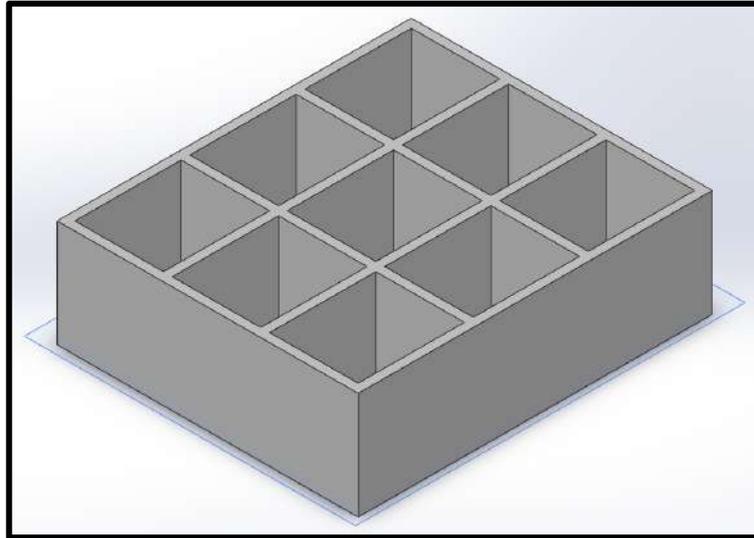


Ilustración 3-15: Diseño de cajas plásticas con compartimentos.

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

3.2.5. Diseño final de prototipo

Posteriormente de haber diseñado cada uno de los elementos que conforman el prototipo, se buscó cual sería la posición más adecuada de estos elementos para que se lleve a cabo el proceso de organización y clasificación. Se ensambló a cada una de las piezas que componen los ejes X, Y y Z en la estructura principal, es el centro del prototipo y la que lleva a cabo la mayor parte del proceso.

Se ha ubicado a la banda principal, encargada de transportar a las piezas plásticas para el reconocimiento de forma y color, en el extremo derecho de la estructura al centro. Las bandas transportadoras secundarias, en las que se coloca a las cajas plásticas, se las ubicó bajo la estructura principal en el extremo derecho.

A su vez la estructura principal y las bandas transportadoras fueron fijadas a una mesa de madera de dimensiones 107 x 210 x 1.8 cm. El cual brinda mayor estabilidad y una superficie idónea donde se va a poder realizar los movimientos lineales sin ninguna restricción.

En la siguiente ilustración 3-16, se puede apreciar cómo se encuentra el diseño final del prototipo.

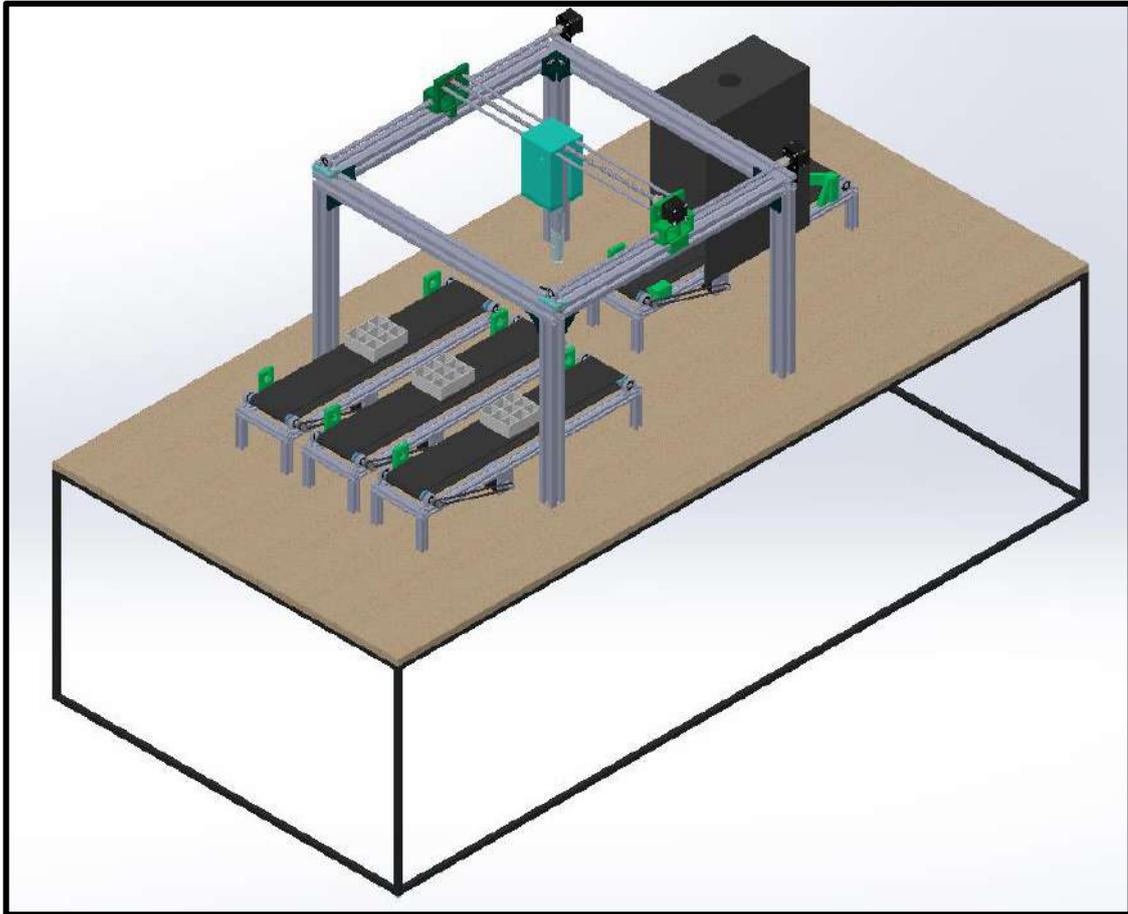


Ilustración 3-16: Diseño final del prototipo.

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

3.3. Validación del diseño estructural mecánico del prototipo

Para validar la estructura se realizó el análisis estático mediante el software SolidWorks de los elementos que van a soportar carga mientras el prototipo cumple su funcionamiento.

Se consideró a dos elementos esenciales a parte de los estructurales ya tratados anteriormente los cuales van a soportar una carga distribuida considerando para el análisis el peso y la gravedad.

Por lo tanto, para generar el movimiento en el eje X se utiliza una base deslizante que juntamente con el actuador lineal (elemento que genera movimiento lineal en el eje Z) y la ventosa de vacío se tiene un peso de 1.23 kg. Para el cálculo de la fuerza se utilizó el Sistema Inglés de unidades; donde:

$$F = m * g \quad (2)$$

Donde:

- **F:** Fuerza
- **m:** Masa
- **g:** Gravedad

Reemplazando:

$$F = 1,23 \text{ kg} * 9.80 \frac{m}{s^2}$$

$$F = 12,05 \text{ N}$$

Como resultado se obtuvo una fuerza puntual de 12,05 N la cual está repartida en tres superficies de contacto entre la base deslizante, los ejes de aluminio sólidos y el tornillo sin fin, por lo tanto, esta fuerza se divide en tres partes iguales para ser aplicadas sobre los elementos. Ilustración 3-17.

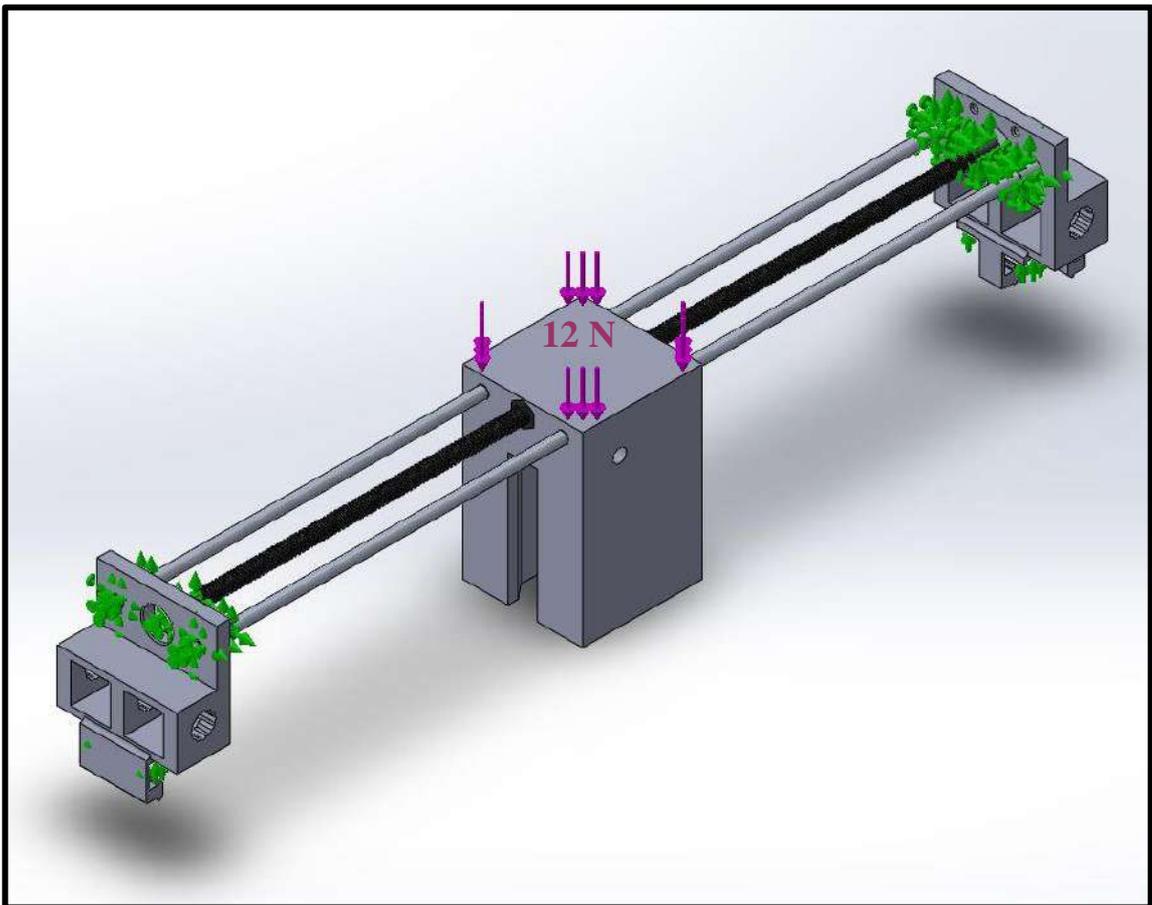


Ilustración 3-17: Distribución de fuerzas en el eje X.

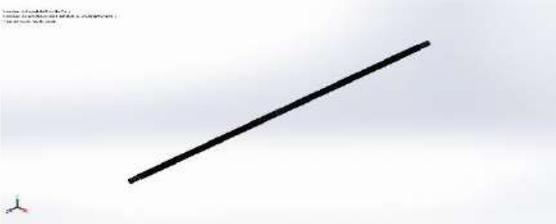
Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

De esta manera tanto en el eje roscado como en los ejes sólidos se aplica una fuerza puntual de 4 N, con la ayuda del software se realizó el análisis de deformación de los elementos en el punto más crítico tomando en cuenta la distancia de la base.

3.3.1. Eje roscado

En la tabla 3-6 y tabla 3-7, se detalla las propiedades físicas del eje roscado y las propiedades del material, junto con el modelado en el Software SolidWorks.

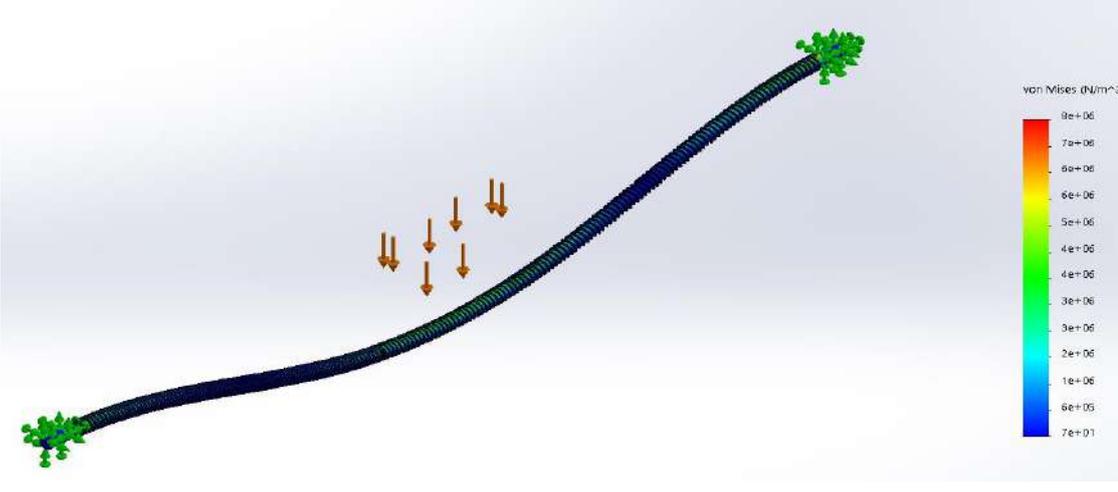
Tabla 3-6: Propiedades del Eje Roscado

Modelo	Propiedades Físicas:
	<p>Masa: 0.282804 kg Volumen: 3.92783e-05 m³ Densidad: 7,200 kg/m³ Peso: 2.77147 N</p>
	<p>Propiedades del Material:</p>
	<p>Fundición gris Límite de tracción: 1.51658e+08 N/m² Límite de compresión: 5.72165e+08 N/m² Módulo elástico: 6.61781e+10 N/m² Coefficiente de Poisson: 0.27 Densidad: 7,200 kg/m³</p>

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023

Luego de aplicar la fuerza de 4N en la superficie de contacto entre los dos materiales en el punto más propenso a deformarse se realizó el análisis de deformaciones mediante el Software SolidWorks en donde se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 3-7: Resultado del Análisis de Deformaciones en el Eje Roscado

Estudio	Mínimo	Máximo
VON: Tensión de Von Mises	20 N/m ²	3034 N/m ²
		

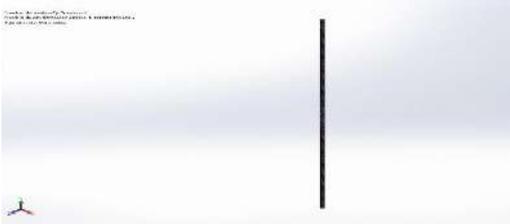
Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023

Como se puede observar mediante el análisis de tensiones por medio del método de Von Mises el eje roscado presenta un límite de tracción de 4501 N/m^2 y de compresión de 17051 N/m^2 en el punto más crítico, con el resultado del análisis se obtuvo un esfuerzo máximo de 3034 N/m^2 . Se determinó un factor de seguridad de 1,5 para tracción y 5,6 para compresión, finalmente el eje tiene una leve deformación al aplicar esa magnitud por lo tanto se valida la funcionalidad de este en el prototipo.

3.3.2. Ejes de soporte

En la tabla 3-8 y tabla 3-9 se detalla las propiedades físicas del eje sólido de soporte y las propiedades del material, junto con el modelado en el Software SolidWorks.

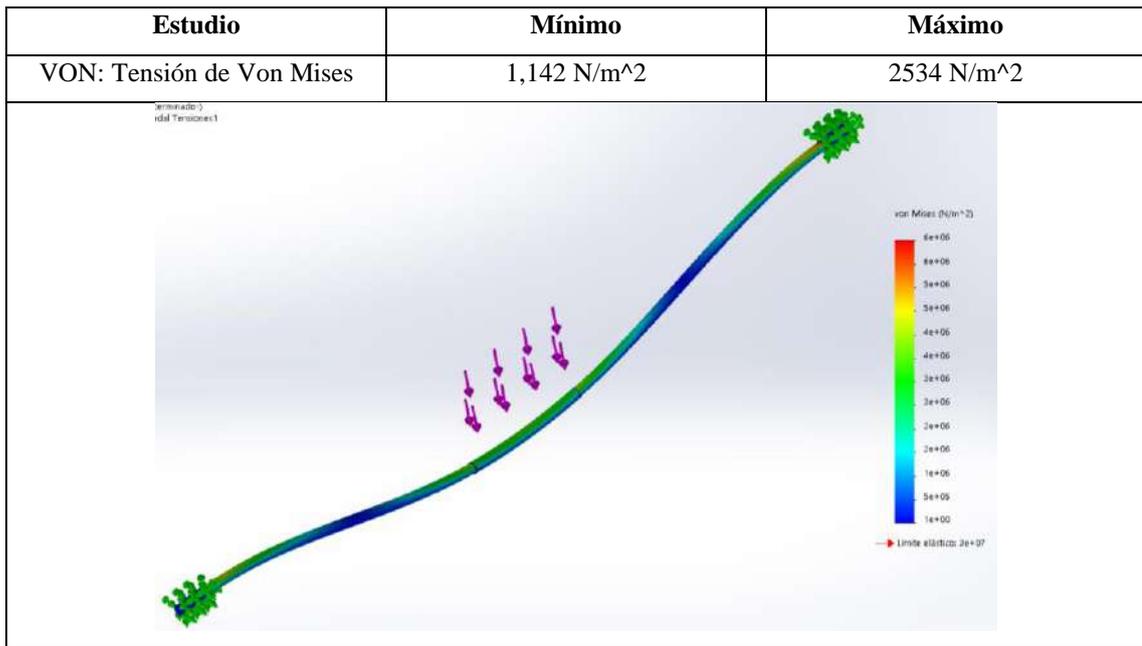
Tabla 3-8: Propiedades de los Ejes de Soporte

Modelo	Propiedades Físicas:
	<p>Masa: 0.0924585 kg Volumen: $3.42439 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ Densidad: $2,700 \text{ kg/m}^3$ Peso: 0.906093 N</p>
	<p>Propiedades del Material:</p>
	<p>Aleación 1060 Límite elástico: $2.75742 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ Límite de tracción: $6.89356 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ Módulo elástico: $6.9 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ Coefficiente de Poisson: 0.33 Densidad: $2,700 \text{ kg/m}^3$</p>

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023

Luego de aplicar la fuerza de 4N en la superficie de contacto entre los dos materiales en el punto más propenso a deformarse se realizó el análisis de deformaciones mediante el Software SolidWorks en donde se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 3-9: Resultado del Análisis de Deformaciones Ejes de Soporte



Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023

Los ejes sólidos presentan una deformación máxima de 2534 N/m² en el punto en donde se aplica la fuerza y un límite elástico de 3023 N/m², con los datos obtenidos se calculó el coeficiente de seguridad con un valor de 1,2 con el resultado del análisis podemos concluir que el eje sólido tiene una leve deformación al aplicar esa magnitud por lo tanto se validó la funcionalidad de estos en el prototipo.

3.4. Selección de hardware de la estación

Luego de validar la estructura del prototipo y conocer el funcionamiento general se procede a la selección de los componentes del *hardware*, el cual está compuesto por varios elementos que permitirán el correcto funcionamiento del robot y combinados permite que el robot ejecute sus tareas de forma precisa, eficiente y efectiva. Para escoger al más conveniente se realizaron tablas de comparaciones y de esta forma se pueda completar con los requerimientos del prototipo.

3.4.1. Elemento para la captura de imágenes

Uno de los componentes importantes para la aplicación de un sistema de Visión Artificial es una cámara, con la que se puede captar imágenes de objetos del mundo exterior. En el mercado se encuentran varios tipos de cámaras con distintas características y aplicaciones como se encuentra en la tabla 3-10.

Tabla 3-10: Comparación de cámaras

Tipos de Cámaras	Características	Aplicaciones	Ejemplos	Costos
Sensores de Imágenes	<ul style="list-style-type: none"> - Fácil integración - Utilización en aplicaciones simples. - Tiempo de respuesta de milisegundos. - Configuración simple. 	<ul style="list-style-type: none"> - Matriz de datos, lectura de códigos. - Detectar presencia de objetos. - Detectar forma, color, grosor y calcular distancia. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cámara web. - Cámara digital, etc. 	\$
Cámaras Inteligentes	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor resolución. - Utilización en proyectos complejos. - Rápido procesamiento de imágenes. - Mayores funciones debido a la PC integrada. 	<ul style="list-style-type: none"> - Encontrar objeto y verificarlo. - Detección de manchas y bordes. - Metrología. - Navegación robot. - Clasificación y reconocimiento de patrones. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cámaras de vigilancia. - Smart Cameras, etc. 	\$\$
Sistemas de Visión	<ul style="list-style-type: none"> - Consta de cámaras industriales, un controlador, iluminación separada y un sistema de lentes. - Aportan complejidad y flexibilidad. - No existe limitación de resolución o velocidad. - SW abierto. 	<ul style="list-style-type: none"> - Control y detección de anomalías en ensamblaje de piezas. - Control de calidad alimentos. - Ensamblaje de piezas y control de soldaduras. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cámaras industriales, etc. 	\$\$\$

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Para una mejor adaptabilidad de la estación tiene y para el uso de detección de forma y color de piezas plásticas y el reconocimiento de espacios en los cubículos se ha optado por un sensor de imagen, una cámara web, la cual es de fácil integración al sistema y puede ser configurada fácilmente, también se ha tomado en cuenta el bajo costo en adquirir este tipo de elemento para la captura de imágenes.

Se ha optado por una Cámara Web HD USB de la marca ARGOM Tech, la cual fue compatible con la Raspberry Pi 3 Model B+ y no presentaba tantos retardos en la captación de la imagen. En la tabla 3-11 se detallan las características técnicas de esta cámara.

Tabla 3-11: Características cámara web ARGOM Tech.

Detalle	Especificaciones
Resolución	Hasta HD 720p
Velocidad fotogramas	30fps
Formato de salida	YUY o MJPG
Longitud de cable	1,5 m
Tipo de interfaz	USB2.0
Distancia de imagen	70 – 90 cm
Control de centelleo	50 – 60 Hz
Formato de imagen	BMP/JPEG/PNG
Formato de video	AVI/WMV
Temperatura de funcionamiento	-10 – 40 °C
Tipo de sensor	CMOS 1/6’’
Tipo de lente	3P

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Esta cámara ha sido seleccionada por sus especificaciones y compatibilidad con la tarjeta de desarrollo mediante su canal de conexión USB, la resolución de 720p es suficiente para captar los colores y formas y la rapidez de los fotogramas a 30fps.

3.4.2. Tarjeta para el controlador y desarrollo de la estación

Las tarjetas de desarrollo son parte del CPU del sistema de Visión Artificial, se encuentran varios tipos en el mercado, pero cuentan con características diferentes entre estos se encuentran Raspberry Pi, Arduino y OrangePi. Tabla 3-12.

Tabla 3-12: Comparación entre tarjetas de desarrollo

	RaspberryPi 3 Model B	Arduino Mega 2560 Rev3	OrangePi
Procesador integrado con I/O	SI	SI	SI
Tipo de Software	Software libre	Software libre	Software libre
Versatilidad	Microordenador	Microcontrolador	Microordenador
Tipos de sistemas	Sistema Independiente	Se ejecuta por código C	Sistema Independiente
Información en la Web	SI	SI	Escasa
Costo	\$\$	\$	\$\$

GPIO	40	54	40
Puerto USB	SI x 4	Si x 1 Tipo B	SI x 2
Puerto HDMI	SI x 1	NO	SI x 1
RAM	1 GB	8k bytes (SRAM) 4k bytes (EEPROM) 256k bytes (Flash)	1 GB DDR3

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Al comprar las distintas tarjetas de desarrollo en la tabla 3-12, la Raspberry Pi es un microordenador el cual se ejecuta en un sistema operativo y funciona de forma independiente, sus características son similares al OrangePi quien es la competencia directa en la actualidad, pero no se encuentra actualmente mucha información en la web. A diferencia de la Raspberry Pi que es una de las tarjetas más utilizadas especialmente en proyectos de Visión Artificial y existe una gran variedad en el mercado. Arduino por su parte es un microprocesador en el cual se puede conectar varios sensores y actuadores, los controla y es cargada con un algoritmo el que ejecuta su cometido.

Se ha seleccionado a la Raspberry Pi 3 Model B como el ordenador y centro de control de la estación, con esta tarjeta de desarrollo es posible la programación de un entorno de desarrollo para la implementación de Visión Artificial, ya que es una computadora funcional que cuenta con su propio sistema operativo Raspbian que es basado en Debian optimizado por el hardware de Raspberry Pi, contiene una serie de programas que permiten el funcionamiento de la Raspberry Pi y es de fácil instalación. Su memoria es alta y con una óptima velocidad, así mismo tienen puertos para poder conectarse con el Arduino Mega y entradas USB para la comunicación con elementos periféricos como monitor (visualización de interfaz gráfica), cámaras web, mouse y teclado (navegación en interfaz gráfica). A continuación, en la tabla 3-13, se indican las características de la Raspberry Pi 3 B+.

Tabla 3-13: Características de la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3 Model B

Detalle	Especificaciones
Procesador central CPU	ARM11
Procesador Ilustración GPU	VideoCore IV
Microcontrolador	MK64FX512VMD12
Memoria RAM	1 GB LPDDR2 SDRAM
GPIO	54
ADC	40
DAC	40
PMW	40

Conector	USB-micro-B
Voltaje de operación	3,3 V
Voltaje de alimentación	5,0 V
Compatibilidad con cámaras web	SI
Tarjeta SD	SI
Ethernet	SI
Puerto HDMI	SI
I/O Audio	SI
Dimensiones	85 x 56,5 x 17
Peso	45 g

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Debido a la necesidad de una interfaz gráfica y de control HMI que debe ser visualizada se ha implementado un monitor con puerto de salida VGA a lo que se ha implementado un adaptador HDMI para que sea compatible con la tarjeta de desarrollo escogida, las dos cámaras web utilizadas son conectadas por los puestos USB y el Arduino Mega igualmente se comunica con la Raspberry por medio del puerto USB. En la siguiente ilustración 3-18, se pueden observar las partes que componen a la tarjeta Raspberry Pi 3 Model B+.

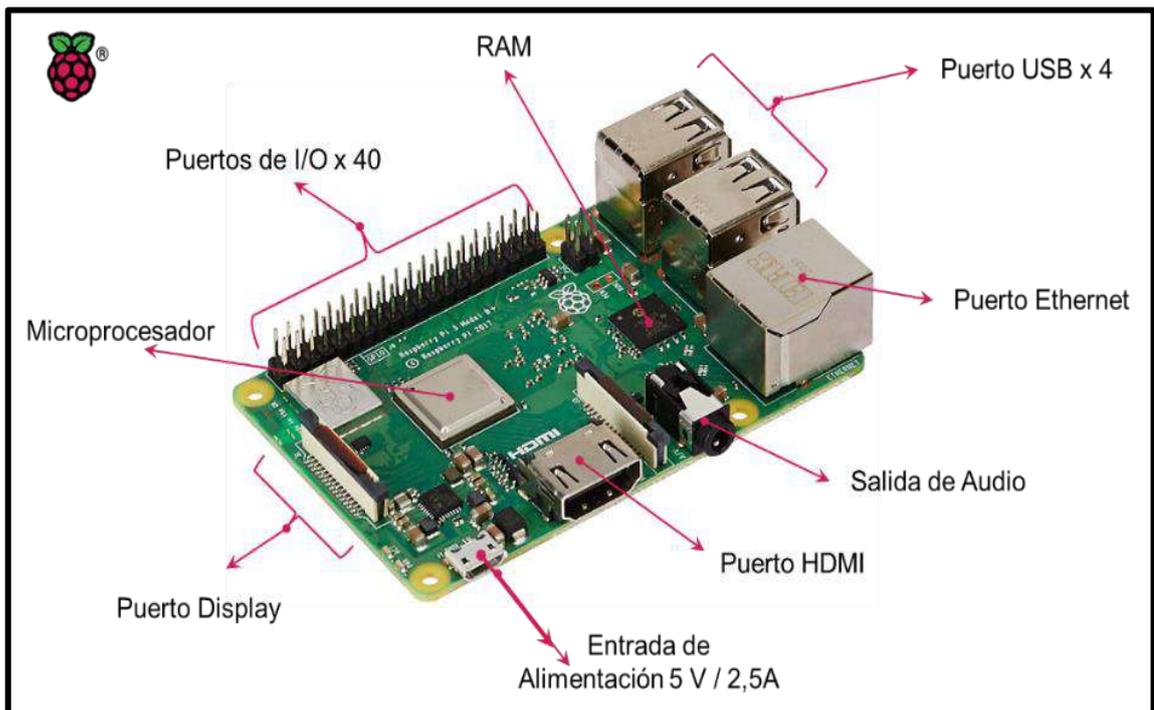


Ilustración 3-18: Parte de la tarjeta Raspberry Pi 3 Model B.

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Este microcontrolador es versátil y gracias a las numerosas capacidades con la que cuenta ha sido empleado como parte del *hardware* del prototipo, se puede enviar señales de salida para dar movimiento a los motores paso a paso Nema 17, se recibe señales de entrada de los sensores de proximidad y finales de carrera para conocer cuándo se debe dar movimiento a los motores, así como establecer una comunicación con el actuador lineal.

La comunicación con el procesador Raspberry Pi 3 Model B es mediante el Puerto Serie (protocolo RS-232) y es posible conectarla por medio de su convertidor a USB-Serie y un cable parecido al de las impresoras. Tiene compatibilidad con el módulo CNC Shield V3, el cual va conectado sobre la placa Arduino Mega.

Módulo CNC Shield V3 Arduino Uno/Mega: El módulo CNC Shield V3 ilustración 3-20, Arduino Uno/Mega es una solución de bajo costos para ser utilizadas en proyectos para máquinas tipo CNC, es posible controlar los hasta 4 motores paso a paso, dado que cuenta con 3 zócalos para los ejes X, Y y Z y un esclavo A, en los que ingresan 4 controladores A4988 en cada uno. También es posible realizar conexión con los finales de carrera ya que para cada eje se encuentran dos terminales.

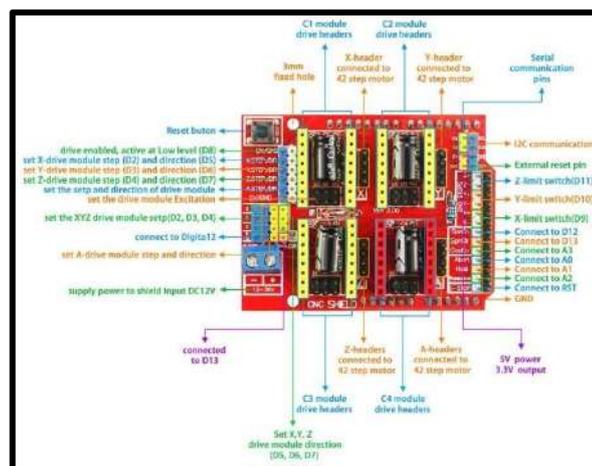


Ilustración 3-20: Partes del módulo Shield CNC

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Para controlar a la Shield CNC se utiliza un *firmware* de código abierto que es ejecutado por el Arduino y esto permite que se puedan controlar los motores que van a las 4 bandas transportadoras utilizadas en el proyecto. Mediante el código abierto se convierte los comandos a un lenguaje G y este envía señales eléctricas y de esta forma se puede mover a los motores.

Las especificaciones para este módulo se detallan en la tabla 3-15, a continuación:

Tabla 3-15: Características del módulo CNC Shield V3 Arduino Uno/Mega.

Detalle	Especificaciones
Soporte para ejes	4 (X, Y, Z, A)
Alimentación	12 – 36 VDC (Depende los controladores)
Controladores compatibles	A4988 / DRV8825
Entradas	6 (dos para cada eje)
Compatibilidad con controladores steppers	GRBL 0.8c y 0.9i
Salidas	I2C y UART
Botón de Inicio/Paro y Emergencia	SI

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Este módulo ha sido escogido debido a que cuenta con la compatibilidad con la placa Arduino Mega y el controlar los motores PAP con este módulo resulta sencilla, así como la opción de poder conectar sensores en las entradas dado que en proyecto se cuenta con alrededor de 3 finales de carrera y 8 para las bandas transportadoras.

Driver para motor DC TB6600: El controlador DC TB6600 es utilizado para controlar a los motores paso a paso Nema 17, una de sus ventajas es que compatible con el microcontrolador Arduino y genera señales de pulso de 5V. Las características de estos controladores se detallan en la tabla 3-16.

Tabla 3-16: Características del módulo relé de dos canales Arduino.

Detalle	Especificaciones
Voltaje de alimentación	9 - 42 VDC
Corriente de entrada	Min 1 A - Max 5 A
Señales de control	3,3 a 24 V
Corriente de salida	0,5 a 3,5 (ajustable)
Potencia máxima	160 W
Micro step	1, 2/A, 2/B, 4, 8, 12, 16, 32
Dimensiones	96 x 53 x 33 mm
Temperatura de funcionamiento	-10 a 45 °C
Peso	200 g

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Este driver se lo ha utilizado para controlar a los motores PAP que dan movimiento a los ejes X - Y y a la Banda principal, se los ha escogido debido a que se puede ajustar la corriente de salida, otorga una protección contra sobrecalentamiento y cortocircuito para los motores y es adaptable al Arduino que envía las señales de pulso y dirección para los motores. En la ilustración se aprecia el modelo de controlador TS6600 ilustración 3-21 aplicado en el prototipo.



Ilustración 3-21: Controlador de motor TS6600

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Driver Pololu A4988: Este controlador para los motores paso a paso ayuda a que se generen señales para poder accionarlos y también proporciona una protección de corriente y temperatura para los motores. Las especificaciones principales de este driver se encuentran en la tabla 3-17.

Tabla 3-17: Características del módulo relé de dos canales Arduino.

Detalle	Especificaciones
Voltaje de alimentación	8 -35 VDC
Voltaje de alimentación recomendado	12 VDC / 24 VDC
Voltaje de control lógico	3,3 – 5 VDC
Corriente de salida	1 A (por cada bobina)
Salidas	Low RDS (ON)

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

El trabajo se simplifica con estos controladores para los motores ya que cuenta con 6 resoluciones de paso para los motores los cuales son: 1/2 paso, 1/4 paso, 1/8 paso, 1/16 paso y 1/32 paso, esto se puede controlar mediante las entradas del selector de paso, como se indica en la siguiente tabla 3-18 y en la ilustración 3-22 se indican sus terminales para conexión.

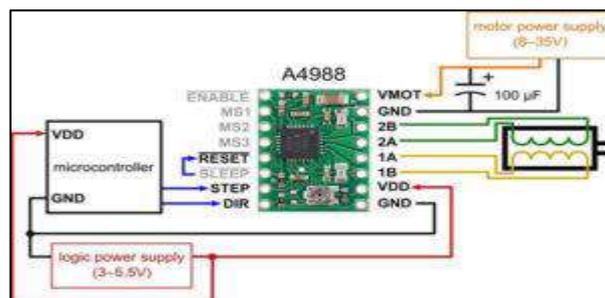


Ilustración 3-22: Conexión del controlador A4988

Fuente: (García, 2020)

Tabla 3-18: Resolución de paso del Driver A4988.

MS1	MS2	MS3	RESOLUCIÓN
Baja	Baja	Baja	Paso Completo
Alta	Baja	Baja	Medio Paso
Baja	Alta	Baja	Cuarto de paso
Alta	Alta	Baja	Un octavo de paso
Alta	Alta	Alta	Un dieciseisavo de paso

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Este controlador está conectado al módulo CNC y con estos dos se puede controlar a los motores PAP que proporcionan de movimiento a las bandas transportadoras en la tabla 3-19, Ilustración 3-23: Controlador de motor A4988.



Ilustración 3-23: Controlador de motor A4988.

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

3.4.3. Elemento para movimiento vertical del eje Z.

Como parte del eje de movimiento axial en el eje Z del robot cartesiano pueden existir varias opciones para su aplicación se muestra conveniente en uso de un actuador lineal ya que tiene un movimiento lineal, el cual posee un vástago que puede ser controlado, también existe una variedad de actuadores lineales como se detalla en la tabla 3-19.

Tabla 3-19: Tipo de Actuadores Lineales.

Tipos de Actuadores Eléctricos	Detalle	Ilustración
Actuador Eléctrico Paralelo	El tornillo sin fin y el motor son paralelos, el movimiento es transmitido mediante engranajes rectos, pueden tener una mayor velocidad y soportar grandes cargas.	

Actuador Eléctrico de Ángulo Recto o en “L”	El tornillo sin fin y el motor son conectados perpendicularmente, el movimiento es transmitido por engranajes helicoidales, no tienen mayor velocidad, tiene una mayor fuerza y son menos silenciosos.	
Actuador Eléctrico en Paralelo	El motor y tornillo sin fin son conectados paralelamente y su retracción tiene una mayor longitud, cuenta con engranajes planetarios, son adaptables en espacios pequeños.	
Motorreductores	Se mueven por medio de engranajes helicoidales, modelo compacto y versátil.	
Actuador Eléctrico de Tipo Corredora	Una tuerca es la que se moviliza sobre el tornillo sin fin lo que permite que se mueva linealmente.	

Fuente:(Tmotion, 2017)

Debido a las dimensiones del prototipo y los elementos diseñados se cree conveniente el uso de un actuador eléctrico paralelo, que recorra una distancia no mayor de 200 mm, su vástago el cual tiene un desplazamiento similar a un cilindro neumático, en la tabla 3-20, se detallan sus características principales.

Tabla 3-20: Características del actuador lineal

Detalle	Especificaciones
Voltaje de entrada	12 VDC
Corriente máxima	3 A
Carrera (<i>Stroke</i>)	200 mm
Carga máxima	1500 N
Velocidad	Aprox. 2,7 mm/s
Material	Aluminio
Alto sin vástago	335 mm
Alto con vástago	535 mm
Ancho	75 mm
Profundidad	40 mm

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

La masa de los elementos que transporta el actuador lineal se debe también considera para asegurarse de que las especificaciones son las correctas. Cada pieza plástica es de aproximadamente 4 gramos, la ventosa de nitrilo tiene alrededor de 1,2 gramos y la pieza que lo sujeta al vástago del actuador es de 3 gramos, por lo que este actuador no debe de levantar más de 1 N y con esto se comprueba su validez para el proyecto.

3.4.4. Elementos complementarios de hardware adicionales

Para el correcto funcionamiento de la estación se requiere de elementos complementarios los que sirven para establecer comunicación con los principales actuadores, tarjetas de control y microcontroladores, estos son:

Puente H L298N: El puente H L208N es un módulo para poder controlar hasta 2 motores DC o 1 motor PAP (bipolar o unipolar), en el hardware del prototipo es empleado para invertir la corriente del actuador lineal cambiando el giro del motor y que de esta forma el vástago pueda salir y regresar. Las especificaciones de este dispositivo se detallan en la tabla 3-21 y la ilustración 3-24, su esquema de conexión.

Tabla 3-21: Características Puente H L298N

Detalle	Especificaciones
Chip	L298N
Canales	2
Voltaje lógico	5 V
Voltaje de potencia	5 – 35 VDC
Consumo de corriente	0 – 39 mA
Capacidad de corriente	2 – 3 A
Potencia máxima	25 W
Dimensiones	43 x 43 x 27 mm
Peso	30 g

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.



Ilustración 3-24: Puente H L298N.

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Las señales que emite el puente H ilustración 3-24 son TTL las que son controladas por el microcontrolador Arduino Mega, los pines para cada motor son los encargados en producir la inversión de giro o regularlo usando las señales PWM (Modulación por Ancho de Pulso). Tiene protección cuando se genere una corriente inversa porque posee 8 diodos y puede funcionar con una fuente de alimentación de 5V proporcionado por el Arduino. En la ilustración 3-25, se indica un diagrama de conexión del Puente H.

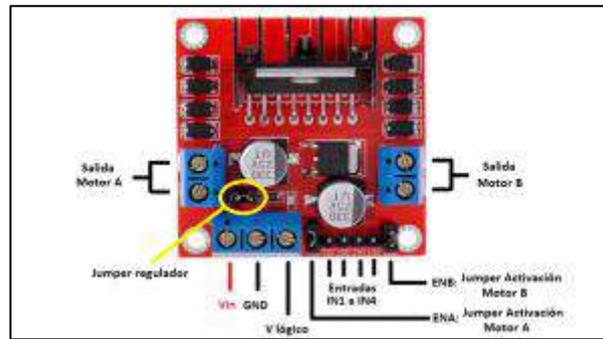


Ilustración 3-25: Esquema Puente H L298N

Fuente: (PROMETEC 2016)

Ventosa plana al vacío: Una de las necesidades del robot es manipular a las piezas impresas en 3D para transportarlas de una ubicación a otra por lo cual es necesario un sistema de agarre, el cual debe cumplir algunos siguientes requerimientos: en primer lugar, sujetar piezas plásticas impresas en #d con PLA, en segundo lugar, cubrir la superficie superior de las piezas la cual es de 20 mm y, en tercer lugar, agarrar a la pieza desde la banda principal hasta el compartimiento de la caja, posicionarla y depositarla en su almacenamiento correspondiente.

En base a estos requerimientos se ha optado por utilizar una ventosa plana de forma redonda con un diámetro de 10 mm, la cual es utilizada para la manipulación de piezas con una superficie plana, son aplicadas en proyectos pick & place y pueden manipular piezas de plástico, vidrio o chapa. Este tipo de ventosas tiene un volumen reducido y con una elevada absorción debido a su estructura de fricción. En la tabla 3-22, e ilustración 3-26, se indican las características generales de la ventosa escogida.

Tabla 3-22: Características de la ventosa plana al vacío.

Detalle	Especificaciones
Diámetro	10 mm
Material	Nitrilo
Tipo ventosa	Plana y redonda
Fuerza de deslizamiento	0,8 N

Fuerza de tracción	1,6 N
Volumen interno	0,05 cm ³
Diámetro	9 mm
Diámetro del cuello interior	4,4 mm
Peso	0,5 g
Altura	10,5 mm

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Para conocer esta presión máxima se utiliza la ecuación general de la presión (2):

$$P = \frac{F}{A} \quad (2)$$

Donde:

- P es la presión que debe ser aplicada.
- F es la fuerza máxima de la ventosa (2).
- A es el área de la pieza a manipular.

$$P = \frac{1,6 N}{400 \text{ mm}^2} = \frac{1,6 N}{400 \text{ mm}^2 \cdot \frac{1 \text{ m}^2}{1000^2 \text{ mm}^2}}$$

$$P = 4\,000 \text{ Pa}$$

La presión máxima de aire que necesita la ventosa para poder sujetar a las piezas plásticas es de 4 000 Pa, lo que es igual a 0,04 Bar o 0, 58 PSI. Esta presión puede ser regulada en el compresor de aire o con la ayuda de una unidad de mantenimiento y para generar el vacío se debe utilizar un generador de vacío neumático.

Generador de vacío neumático: Como se había mencionado anteriormente para poder generar el vacío y que la válvula pueda succionar a las piezas plásticas es necesario un generador de vacío neumático o eléctrico, el funcionamiento de estos dispositivos es de acuerdo con el efecto Venturi, el vacío se produce cuando la velocidad de un fluido que circula por un recipiente aumenta cuando se disminuye la sección transversal del recipiente, como se observa en la ilustración 3-26.

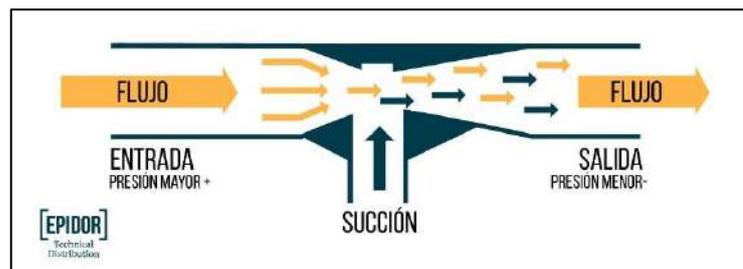


Ilustración 3-26: Diseño técnico de la ventosa.

Fuente: (San Martín 2022)

Para aplicar en el robot se ha optado por un generador neumático tomando en consideración el precio de este, tiene un diseño compacto y es de fácil montaje para el sistema neumático del robot. Su cuerpo es una forma de T, en la tabla 3-23 se indican sus especificaciones generales, en la ilustración 3-27, se observa su principio de funcionamiento.

Tabla 3-23: Características de la ventosa plana al vacío.

Detalle	Especificaciones
Diámetro nominal	0,7 mm
Características del eyector	Alta aspiración y estándar
Diseño de la estructura	Forma T
Máxima presión de succión	2,1 Bar
Sistema de operación	1 – 8 Bar
Casquillo enchufable	4 y 6 mm
Rosca	M5
Conexión de vacío	90° en relación con la alimentación
Temperatura	0°C – 60°C
Vacío máximo	93%

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

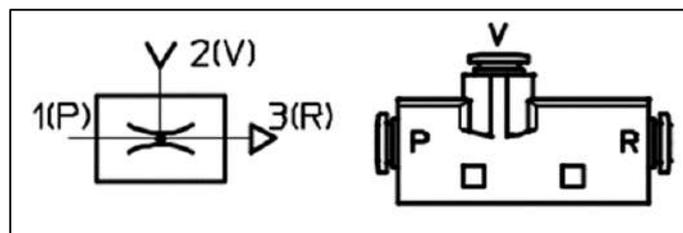


Ilustración 3-27: Diseño del generador de vacío neumático.

Fuente:(FESTO, 2018)

Electroválvula neumática de simple efecto 5/2: La electroválvula neumática monoestable de simple efecto de 5 vías o puertos de conexión y 2 estados, esta empleada para accionar el funcionamiento de la ventosa y el generador de vacío y controlar el aire que circula en el sistema neumático, estas válvulas pueden ser accionadas de forma eléctrica, neumática, mecánica o manualmente y su funcionamiento puede ser monoestable o biestable, a continuación, se indica los símbolos que viene incluido en la válvula neumática de 5/2 vías. En la tabla 3-24 se detallan las especificaciones de la electroválvula V5221-08 que ha sido implementada en el prototipo.

Tabla 3-24: Características electroválvula V5221-08.

Detalle	Especificaciones
Fluido de trabajo	Aire limpio
Tipo de acción	Aislada
Conexión	08: Entrada=Salida=1/4'' Escape=1/8''
Presión de trabajo	1,5 – 8 Bar
Presión Máxima	12 Bar
Temperatura de trabajo	-5 a 60 °C
Tolerancia de Voltaje	-15% a 10%
Consumo	AC: 5,5 VCA / DC:4,8 W
Aislamiento	Clase F
Clase de protección	IP65 (CIN40050)
Frecuencia máxima	5 ciclos
Tiempo de actuaciones	< 0,05 segundos
Peso	209 g

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Esta electroválvula está conectada a la alimentación de 110 V y es controlada por un módulo relé para su accionamiento de esta forma permitirá que el aire suministrado por el compresor pueda llegar hasta la ventosa y así producir la succión de las piezas plásticas, cumple con las especificaciones necesarias y para su aplicación en el prototipo, por esta razón se la ha implementado. En el diagrama de este dispositivo se encuentra ilustrado en la ilustración 3-28, también se puede observar su aplicación en el prototipo.

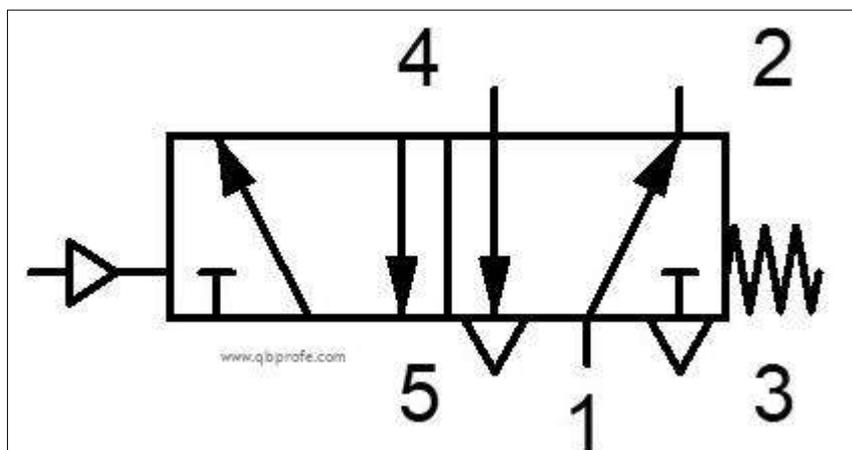


Ilustración 3-28: Diagrama de conexión electroválvula 5/2 V5221-08

Fuente: (ETERNAL MACHINERY AMERICA, 2023)



Ilustración 3-29: Electroválvula 5/2 V5221-08

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Sensor de proximidad fotoeléctrico infrarrojo: Es necesario un sensor para poder detectar las posiciones de las piezas plásticas en la banda central como cuando esta llega dentro de la caja y se debe captar la imagen por la cámara para identificar su forma y color, posteriormente cuando avance al final de la banda y pueda ser recogida por la ventosa para ser transportada a la otra banda y en las bandas de almacenamiento se encuentran al inicio y fin, el dispositivo utilizado es el que se observa en la ilustración 3-30.



Ilustración 3-30: Sensores de proximidad

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Dado los requerimientos mencionados se escogió a sensores de proximidad fotoeléctrico infrarrojo E18-D50NK con los que es posible la detección de la presencia de objetos dentro del rango del sensor, son de fácil integración a las placas Arduino y es conectado desde la salida del sensor hasta la entrada del microcontrolador. En la tabla 3-25, se detallan las especificaciones técnicas de estos sensores y en la ilustración 3-31, se puede apreciar su forma de conexión.

Tabla 3-25: Características del sensor de proximidad fotoeléctrico.

Detalle	Especificaciones
Voltaje de operación	5 VDC
Corriente de operación	Máx. 20 mA
Corriente de salida	Máx. 100 mA
Rango de detección	3 – 50 cm
Ajuste de rango	Mediante potenciómetro
Emisor de luz	Led infrarrojo

Sensor fotoeléctrico infrarrojo	Difuso / opaco
Salida	Tipo NPN normalmente abierto (ON: GND / OFF: VCC)
Dimensiones	18 x 50 mm
Material carcasa	Plástico
Longitud cable	80 cm
Indicador de detección	LED rojo
Temperatura de trabajo	-25 – 70 °C
Peso	42 g

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

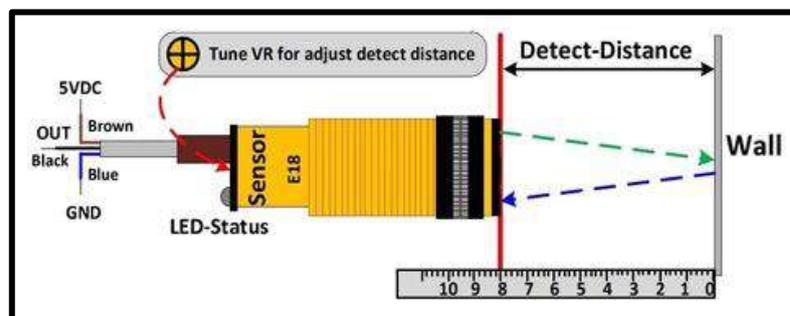


Ilustración 3-31: Diagrama del sensor de detección fotoeléctrico

Fuente: (CARROD, 2018)

Final de carrera micro interruptor con rodillo: Para conocer el límite hasta el que deben llegar los carros del eje X y Y para que estos paren es necesaria la implementación de un sensor para parar a los motores y que no siga girando el tornillo sin fin, por esta razón se ha incorporado un final de carrera del tipo micro switch que también sirve como un interruptor de contacto. Este dispositivo electrónico contiene interruptores internos normalmente abierto (NA) y normalmente cerrado (NC) o conmutadores que envían una señal al ser accionados. En la tabla 3-16, se observa algunas especificaciones de este sensor.

Tabla 3-26: Características del final de carrera.

Detalle	Especificaciones
Voltaje de trabajo	125 / 250 VCA
Corriente de trabajo	10 A
Resistencia de contacto	$\leq 200 \text{ m}\Omega$
Resistencia de aislamiento	$\geq 100 \text{ m}\Omega$
Ciclos de vida	10.000 ciclos
Temperatura de funcionamiento	-25 a 125 °C

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Este tipo de final ha sido escogido debido a que funciona como un switch al momento que los soportes de los tornillos sin fin tocan el rodillo y puede soportar el impacto del choque.

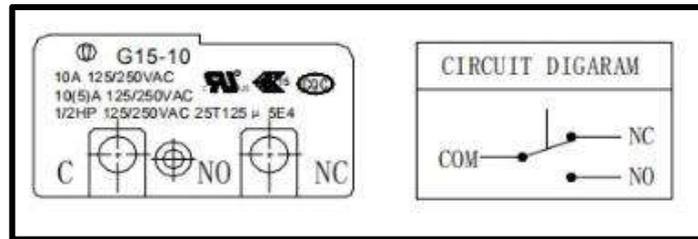


Ilustración 3-32: Diagrama de conexión del final de carrera

Fuente: (WENZHOU GANGYUAN ELECTRONICS CO., 2023)



Ilustración 3-33: Final de carrera de rodillo

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

3.5. Diagrama de conexión del hardware

Para el *hardware* es necesario establecer el diagrama de conexión de los dispositivos como microcontroladores, sensores, actuadores, entre otros. Se ha utilizado el software Fritzing para ilustrar estas conexiones y debido a la cantidad de implementos se ha dividido en cuatro secciones y que pueda ser apreciado de mejor manera la conexión del *hardware*.

En la ilustración 3-33, se indica la primera sección que corresponde a la conexión de los controladores con los motores que mueven al eje X, Y y Z y la banda principal.

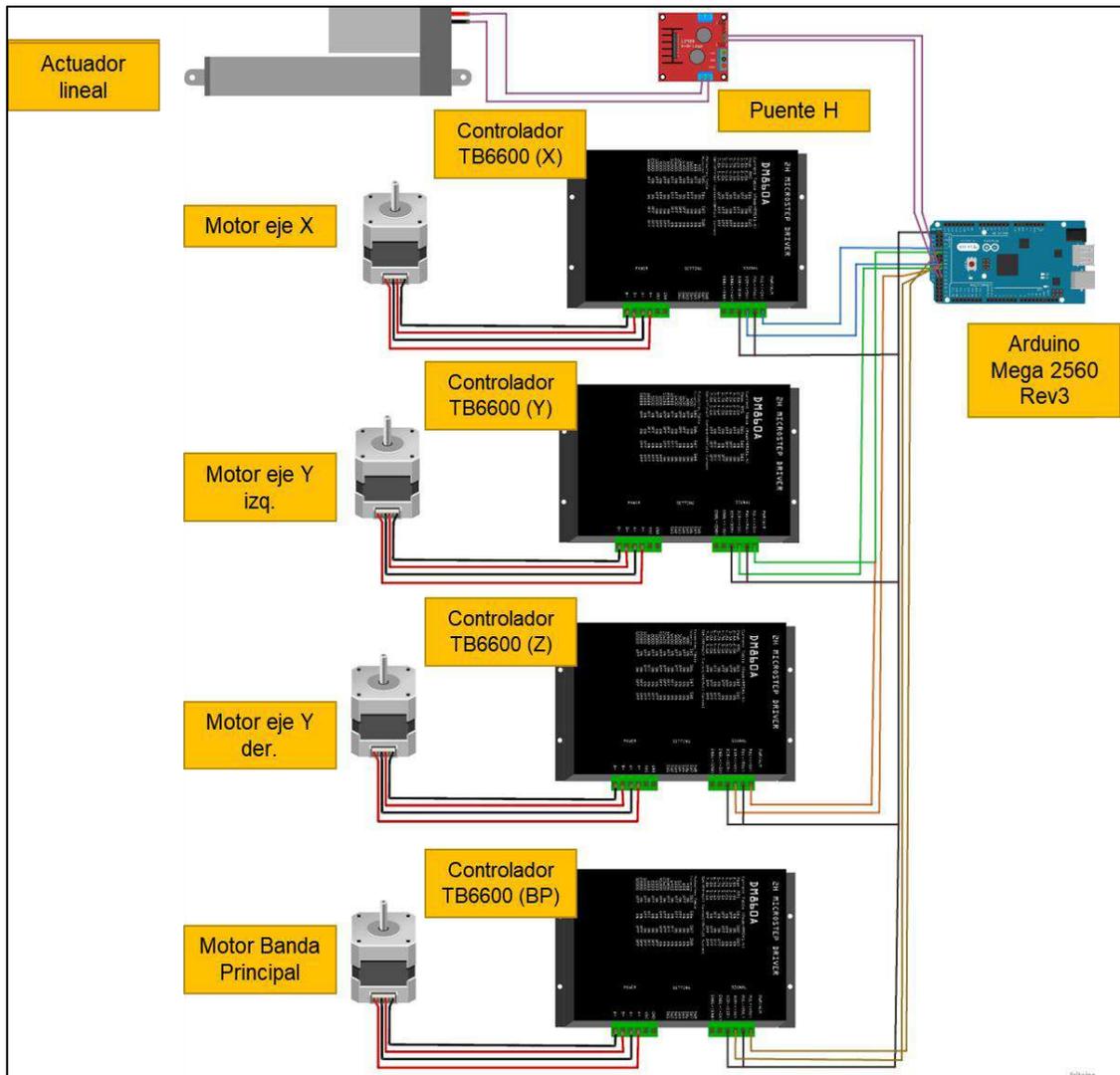


Ilustración 3-34: Primera Sección – Diagrama de conexión del hardware del prototipo.

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

En la ilustración 3-34, se presenta una descripción de los terminales que son conectados al Arduino Mega de los dispositivos electrónicos de la Primera Sección.

Tabla 3-27: Primera sección – Terminales de conexión con Arduino mega y otros elementos.

Arduino Pines Digitales	Puente H Actuador Lineal		Controlador TB6600 Motor Banda Prin.		Controlador TB6600 Motor X		Controlador TB6600 Motor Y izq.		Controlador TB6600 Motor Y der.	
	INI1	INI2	DIR+	PULL+	DIR+	PULL+	DIR+	PULL+	DIR+	PULL+
32		X								
33	X									
34										
35										
36							X			
37									X	

38			X						
39					X				
40									
41									
42									
43									
44							X		X
45				X					
46						X			

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

En la Primera Sección se encuentran los controladores TB6600 que van conectados a los motores Nema 17 que se encargan del movimiento de los ejes del robot cartesiano y estos van conectados a un tornillo sin fin para proporcionar el movimiento, se compone de un motor para el eje X y dos motores para el eje Y uno para el lado izquierdo y otro para el derecho del robot y un motor para la banda principal, en esta sección se encuentran 4 motores PAP en total.

También se añade un puente H que sirve para la inversión de giro del motor interno del actuador lineal, este igualmente se encuentra conectado a los pines del Arduino que envía la señal cuando se debe producir el giro del motor para que el vástago se contraiga o estire.

En la ilustración 3-35, se indica la Segunda Sección que corresponde a la conexión de los controladores conectados a la Shield CNC y está montada al Arduino Mega.

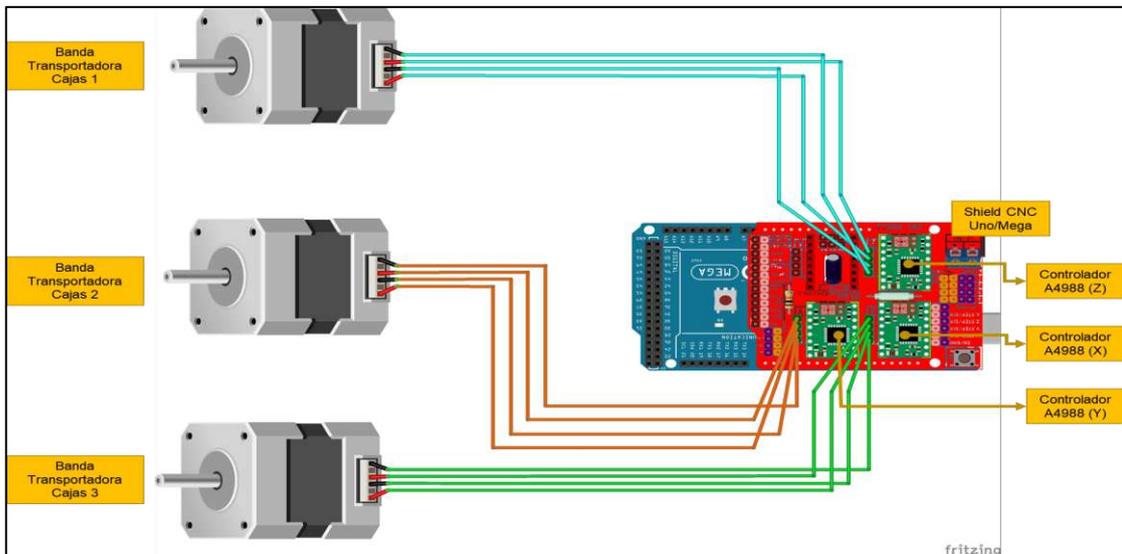


Ilustración 3-35: Segunda Sección – Diagrama de conexión del hardware del prototipo.

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

En la tabla 3-28, se detalla los terminales que son conectados al Arduino Mega con los controladores A4988 y en la tabla 3-29, los terminales que ocupa la Shield CNC para estar enlazada al microcontrolador, esto corresponde a la Segunda Sección.

Tabla 3-28: Segunda sección – Terminales de conexión con Arduino Mega y otros (A).

Arduino Pines PWM	Controlador A4988 Motor Banda 1 (X)		Controlador A4988 Motor Banda 2 (Y)		Controlador A4988 Motor Banda 3 (Z)	
	DIR+	PULL+	DIR+	PULL+	DIR+	PULL+
2		X				
3				X		
4						X
5	X					
6			X			
7					X	

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Tabla 3-29: Segunda sección – Terminales de conexión con Arduino mega y otros (B).

Arduino Pines POWER	Shield CNC
RESET	X
3,3 V	X
5 V	X
ABORT	X
HOLD	X
RESUME	X
COOL	X
A4	X
A5	X

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

En la segunda sección se encuentra a los motores PAP Nema 17 que se encargan del movimiento de las bandas transportadoras donde se ubican las cajas para almacenar a las piezas, los controladores A4988 están montados en la Shield CNC y se encargan de enviar las señales de DIR y PULL para que se muevan los motores mediante la conexión a los pines PWM del Arduino. La Shield CNC va montada sobre el Arduino Mega y ocupa los terminales de POWER, los análogos A4 y A5, así como los pines PWM que están sincronizados con los controladores anteriormente mencionados.

En la ilustración 3-36, se indica la Tercera Sección a los sensores de proximidad fotoeléctricos y el módulo Relé con el Arduino Mega.

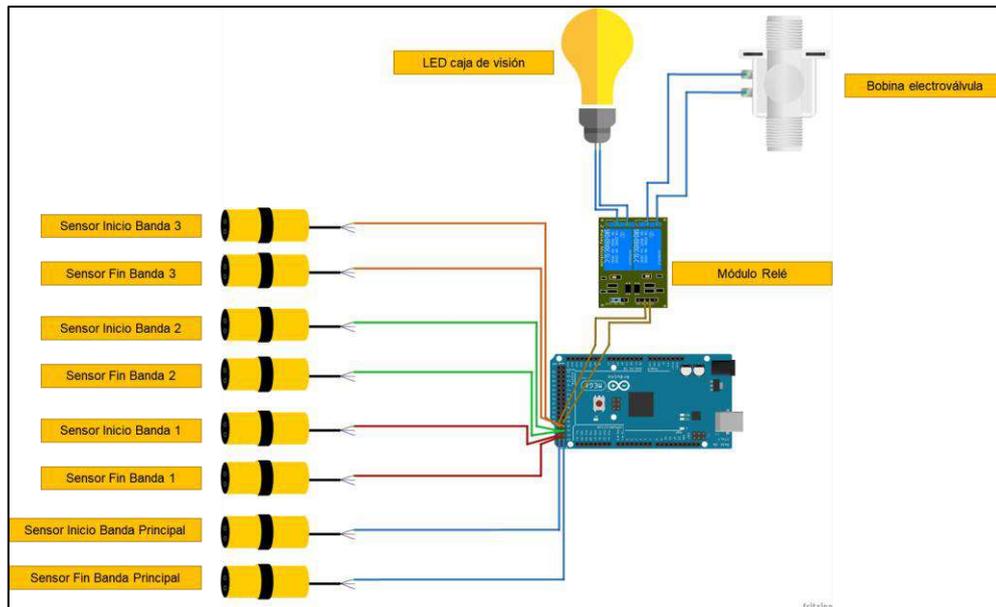


Ilustración 3-36: Tercera Sección – Diagrama de conexión del hardware del prototipo.

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

En la tabla 3-36 se indica los pines digitales que son conectados a los elementos de la Tercera Sección.

Tabla 3-30: Tercera Sección – Terminales de conexión con Arduino Mega y sensores.

Arduino Pines Digitales		22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Sensor Inicio Banda Principal	VCC											
	OUT		X									
	GND											
Sensor Fin Banda Principal	VCC											
	OUT	X										
	GND											
Sensor Inicio Banda 1	VCC											
	OUT				X							
	GND											
Sensor Fin Banda 1	VCC											
	OUT			X								
	GND											
Sensor Fin Banda 2	VCC											
	OUT						X					
	GND											
Sensor Fin Banda 2	VCC											
	OUT					X						
	GND											
	VCC											

Sensor Inicio Banda 3	OUT								X				
	GND												
Sensor Fin Banda 3	VCC												
	OUT							X					
	GND												
Módulo Relé	INI1										X		
	INI2											X	

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

En la Tercera sección se encuentra a ocho sensores de proximidad fotoeléctricos estos indican la posición de las piezas en la banda principal, el primero ubicado cuando la ilustración llega a la caja de visión y el segundo cuando llega al final de la banda. Los otros seis sensores están ubicados al inicio y final de cada una de las bandas transportadoras de las cajas de almacenamientos, son dos en cada banda.

También está conectado el módulo relé que es una protección para los elementos que reciben 110 V como lo son el foco LED ubicado dentro de la caja de visión para iluminación y la bobina de la electroválvula.

La Cuarta Sección está representada en la ilustración 3-37 en donde se encuentra los elementos que están añadidos a las Raspberry Pi.

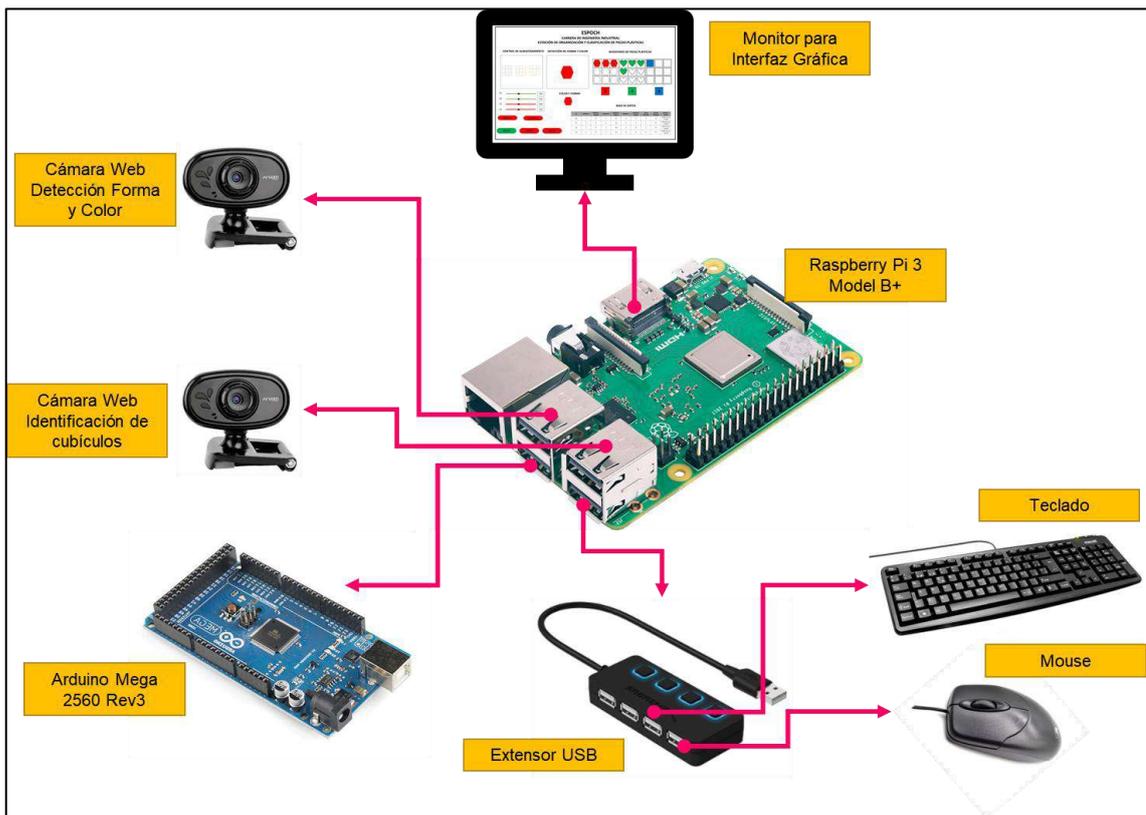


Ilustración 3-37: Cuarta Sección – Diagrama de conexión del hardware del prototipo.

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

La tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3 Model B+ es el cerebro del prototipo, este computador nos permite conectar por medio de sus cuatro puertos USB2.0 y el puerto HDMI, estas son conectadas de la siguiente forma:

- Las dos cámaras web utilizadas para la captación de imágenes y desarrollar la parte de Visión Artificial, una de las cámaras es utilizada para la detección de forma y color de las piezas plásticas, mientras que la otra es para poder enfocar a los cubículos e identificar cuál de estos tiene los compartimientos llenos o vacíos.
- El tercer puerto USB es el medio de alimentación para el Arduino Mega, no existe una comunicación serial entre la Raspberry y el Arduino.
- El cuarto puerto USB viene conectado a un extensor para puerto USB en el cual se acopla al teclado y el mouse que son los medios con los que es posible navegar y manipular la interfaz gráfica.
- El puerto HDMI está conectado a un monitor donde es posible visualizar a la interfaz gráfica de usuario y control para el prototipo.
- Cabe destacar que la alimentación del Raspberry Pi se recibe por el puerto USB-micro-B propio de la tarjeta que recibe máximo 5 V.

3.6. Implementación del prototipo

Luego de realizar el diseño y validación de fuerzas y esfuerzos del prototipo mediante software, se procedió a la implementación de este, donde se necesitó de algunos elementos adicionales aparte de los diseñados con el fin de mejorar la precisión y la efectividad en su funcionamiento. Con el perfil de aluminio de 40 x 40 tipo V se construyó la estructura principal ilustración 3-38 la cual conforma el robot cartesiano y en donde se montó a los demás elementos como motores PaP, tornillos sin fin, soportes de motores y los carros de movimiento para el eje X. Se realizaron cortes de 70 cm a cada uno de los perfiles de aluminio y son unidos por medio de ángulos de 90°, con tuercas T.

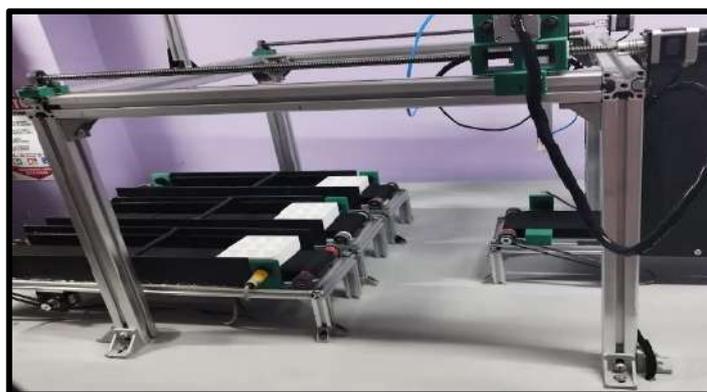


Ilustración 3-38: Estructura principal de perfiles de aluminio.

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

El eje E ilustración 3-39, está conformado por un tornillo sin fin, una chumacera de pared de 8 mm y un motor Nema 17 a cada lado, en los que se posiciona al tornillo sin fin de 68 cm, este tiene un paso de 3 mm.

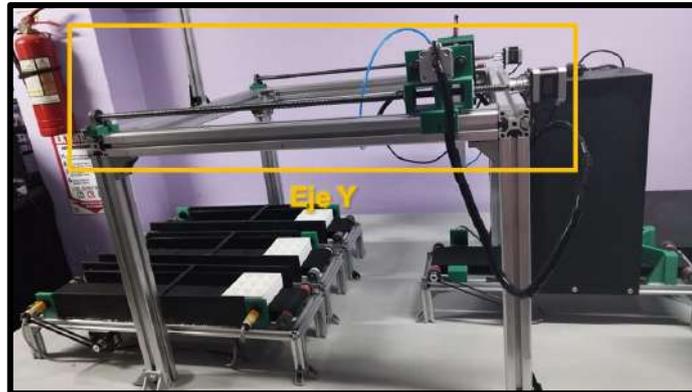


Ilustración 3-39: Montaje del eje Y.

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

El eje X, ilustración 3-40, esta sostenido por el eje Y, los carros de movimiento impresos en 3D colocados a cada lado uno sirve de soporte para el motor PaP y el otro cuenta con una chumacera de pared de 8 mm, estos sostienen al tornillo sin fin de 61 cm, a cada lado del tornillo sin fin se encuentran dos varillas de soporte de aluminio de 8mm las cuales también son sujetas por los carros y ara evitar su movimiento se los aseguró con prisioneros de 8mm.

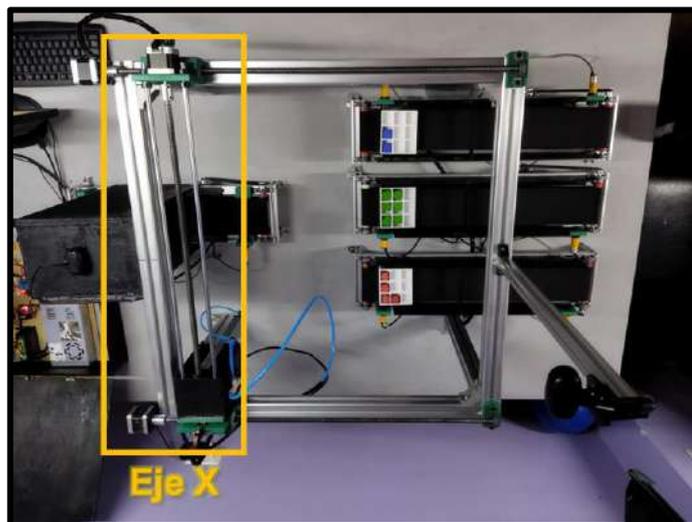


Ilustración 3-40: Montaje del eje X

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

El eje Z, ilustración3-41, en el que se realiza el movimiento vertical está conformado por el soporte del actuador lineal, el cual sostiene a este motor de movimiento lineal en el cual se acopla una ventosa al vacío plana que interactúa con las piezas plásticas.

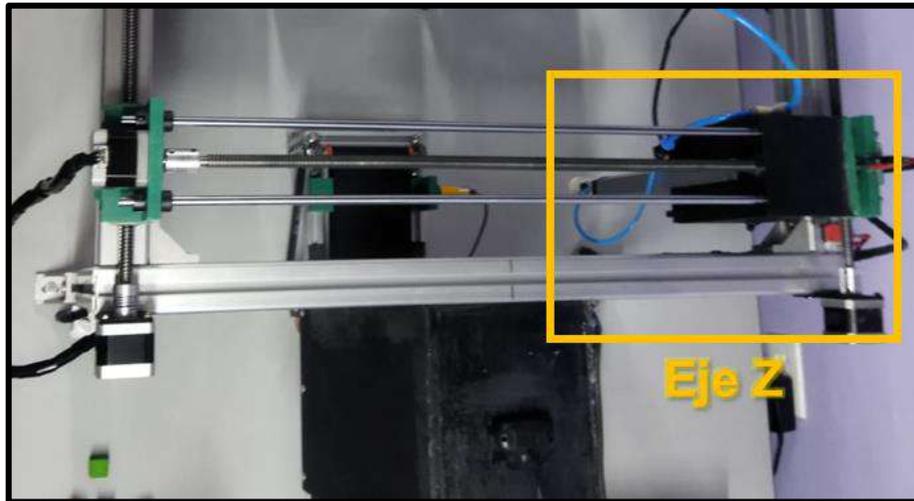


Ilustración 3-41: Montaje del eje Z.

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Se colocó un soporte en perfil de aluminio 20 x 20 tipos V para la cámara en el área de organización ilustración 3-42. De tamaño 50 cm sujetado con ángulos de 90°, tuercas T y pernos Allen M5 de 8 mm de largo.



Ilustración 3-42: Soporte de cámara web para la sección identificación.

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

En el caso de las bandas en el área de logística y organización, para mejorar la precisión en el transporte de los contenedores se realizó guías de madera y elementos plásticos ilustración 3-43, con el fin de establecer las posiciones del prototipo.



Ilustración 3-43: Guías de madera para las bandas de organización

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Para el área de clasificación de las piezas plásticas se diseñó un ambiente de visión controlado, ilustración 3-44, con madera triplex de 5 mm de espesor la misma que tiene el fin de eliminar la luz externa manteniendo de esta manera la luz interna constante y los ruidos que interfieren en el proceso de visión. Y a su vez servirá de soporte para la cámara de clasificación.

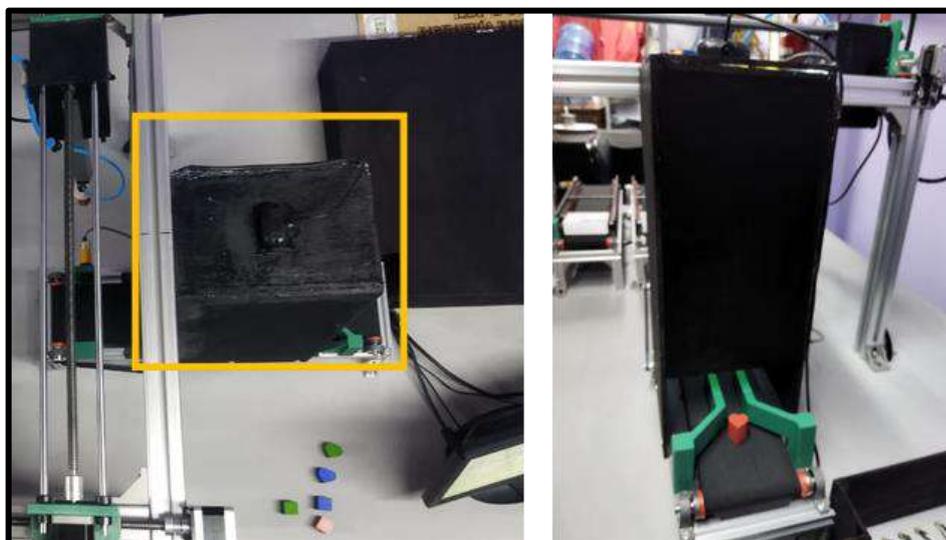


Ilustración 3-44: Ambiente de visión para la banda principal

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Por último, con el fin de establecer puntos fijos donde se debe detener tanto las piezas como los contenedores se diseñó e imprimió en 3D soportes para los sensores infrarrojos, ilustración 3-45 ,de igual manera guías para las piezas de plástico a clasificar y una base de apoyo para facilitar el vacío que genera la ventosa.

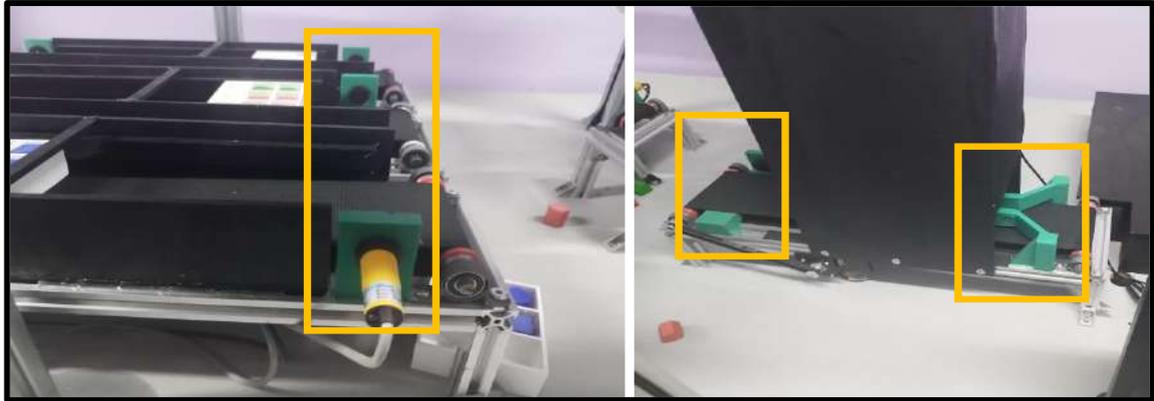


Ilustración 3-45: Implementación de soportes infrarrojos y guías para bandas

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Tanto la estructura principal como las bandas se fijaron en un tablero de madera de dimensiones 122 x 210 x 1.8 cm. El cual brinda mayor estabilidad y una superficie idónea donde se va a poder realizar los movimientos lineales sin ninguna restricción.

Los elementos anteriormente descritos del hardware son conectados entre sí basando en los diagramas de conexión, esto es por medio de cables y algunos de estos han sido colocados dentro de una caja de control de madera como se detalla en la ilustración 3-46.



Ilustración 3-46: Tablero de control de la estación

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

En esta caja de control se encuentra la fuente de alimentación, controladores, tarjeta de desarrollo, microcontrolador y algunos componentes adicionales, esto se ha implementado con la finalidad de mantener un orden y que estas piezas se encuentren protegidas del exterior.

3.7. Software del prototipo

En la actualidad existen varios entornos de programación que son adaptables al desarrollo de aplicaciones para el procesamiento de imágenes digitales, cada entorno tiene distintas características y de los anteriormente hablados se hace una comparación entre Matlab, Python y LabVIEW. En la tabla 3-31, se realizó la comparación entre los entornos de programación.

Tabla 3-31: Comparación entre entornos de programación.

CARACTERÍSTICA	TIPOS DE SOFTWARE		
	Matlab	Python	LabVIEW
	Detalle	Detalle	Detalle
Disponibilidad de licencia.	Coste elevado de licencias	Software Libre	Alto (Licencia estudiantil)
Tipo de Programación	Programación Gráfica	Lenguaje C++	Programación por matrices.
Posibilidad de creación de interfaz gráfica.	Media	Media	Alta
Implementación para el procesamiento de imágenes	Disponible	Disponible	Disponible

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Las características que básicas con las que debe de contar un software para programación con el que se pueda realizar un procesamiento de imágenes que tenga disponibilidad o acceso a una licencia de uso del software libre, el tipo de programación que maneja cada uno y la dificultad, si es posible la elaboración de interfaz gráfica para que exista una comunicación con el usuario y el procesamiento de imágenes digitales para trabajos con visión artificial.

Python es un entorno de programación que cumple con las características necesarias del proyecto, puede ser ejecutada en varios sistemas operativos, ya que es un software libre; su lenguaje de programación es el más común, se puede crear una interfaz gráfica y es de fácil implementación para proyectos de Visión Artificial debido a las librerías que contiene este software.

En el desarrollo del software se ha utilizado el sistema operativo de Raspberry Pi, Raspbian que es basado en Debian, basado en Linux, optimizado por el hardware de Raspberry Pi. Contiene una

serie de programas y utilidades que permiten el funcionamiento de la Raspberry Pi y es de fácil instalación (RASPBIAN, 2023).

Para la programación se utiliza el entorno de programación de Python con un lenguaje de programación en C++ y se utilizó las librerías de *OpenCV*, que es utilizada para desarrollo de proyectos de Visión Artificial, es posible usar funciones como convertir imágenes de escalas de color a grises, cambiar formatos de color, operaciones de imágenes, métodos de visión artificial como hallar contornos, umbralizar (pasar de una imagen a color a una imagen a escala de grisea y posteriormente convertirla a blanco y negro) o encontrar patrones de líneas.

También es utilizada la librería *NumPy*, para el manejo de vectores o matrices, con el cual es posible realizar varias operaciones rápidas tales como: operaciones aritméticas, lógicas, estadísticas, manipulación de dimensiones, ordenamiento de vectores y matrices.

Dado que *OpenCV* es una librería que trabaja con imágenes y estas están compuestas por matrices de píxeles y *NumPy* que se emplea para el manejo de matrices son un complemento para la manipulación de las imágenes digitales. Al digitalizar una imagen a color está compuesta por tres canales rojo, azul y verde o más conocido por modelo RGB.

La librería *Pygame* es utilizada para la creación de interfaz gráficas orientada a videojuegos, en este caso se utiliza para realizar una interfaz industrial y su complemento es *pygame_with* con el cual se pueden incluir *sladders*, *buttons* y *x-button*.

Sqlite3 es una librería con la que es posible la creación de base de datos en *Pygame*, es de fácil acceso y fácil de compilar, dado que se está trabajando con una Raspberry Pi 3 es importante utilizar menos recursos y optimizarlos y por esta razón es el uso de esta librería.

Pyserial es una librería que permite se realice una comunicación serial entre la Raspberry Pi y cualquier otro dispositivo que use comunicación serial, en este caso es con la placa Arduino Mega 2560 Rev3.

En el proyecto se realiza el proceso de visión artificial en tres partes:

- Identificación de forma y color.
- Detección de espacio en los cubículos.
- Base de datos.

3.7.1. Base de datos

Es necesario la recopilación de datos organizada de almacenamientos que se realiza en cualquier proceso logístico, por esta razón al implementar este prototipo e imitar de recuperación y

almacenamiento en el cual piezas plásticas son depositadas en cajas que estar completos los nueve compartimientos es almacenado.

Luego de estar completas las cajas con las nueve piezas estas se registran en una base de datos de forma electrónica en la memoria de las Raspberry Pi en la cual se lleva un sistema de gestión de datos al finalizar cada jornada que se ha fijado para el trabajo del robot. Esta base de datos es visualizada en la Interfaz Gráfica HMI.

3.7.2. *Variables de configuración*

Las variables de configuración son implementadas para guardar los datos que son enviados desde el microcontrolador hasta la Raspberry Pi, el cual se establece una comunicación serial entre estos dos a la que se le ha fijado una velocidad en la que se transmite la información de 19.200 bits/segundo al mantener este parámetro de comunicación no existe retardos en la comunicación. Se tiene una comunicación bidireccional que se envía desde un emisor a un receptor para poder decodificar la información que es emitida por el Arduino hacia la Raspberry y en viceversa.

Para que sea posible compilar desde la Raspberry Pi las tareas de la placa Arduino y exista una comunicación serial se configura en Linux el puerto de conexión como *dev/ttyACMO* al que se va a comunicar y emitir señales. Es necesario fijar variables de tiempos de comunicación y de escritura entre la tarjeta de desarrollo y el microcontrolador y que no exista acumulación de paquetes, se ha utilizado las siguientes:

- *time_out* es el tiempo de salida de comunicación con el receptor.
- *write_time_out* tiempo de escribir.

3.7.3. *Ejecución de la base de datos*

Para implementar una base de datos utilizando *Pygame* y controlar los datos se necesitan de tres requerimientos:

1. **Crear una base:** En primer lugar, se necesita localizar la dirección del archivo en donde se almacenará la información, este archivo debe de estar vacío que sirva de fuente para crear la base de datos en la memoria de la Raspberry Pi, el cual tiene como extensión de archivo “.sqlite3”.

Luego de crear el archivo se conecta a la base vacía para crear un archivo de consulta, en el que se ejecuta la base de datos y si es correcto la tabla es creada con éxito. En el archivo es necesario crear varias tablas con columnas en las que van los registros de las cajas almacenadas por banda, la fecha y hora de almacenamiento y un ID, el cual es una *primary keyword* que distingue a una

columna de otras en una base de datos y es distintiva para cada registro, este siempre se va a registrar así los otros registros no se guarden.

Este ID es una variable del tipo entero, mientras que la fecha y hora es del tipo *date*, los registros que cuentan las cajas y piezas que son almacenadas es igualmente del tipo entero.

2. Ingresar información: Se debe llenar las columnas creadas para lo que se ha asignado tres columnas que indican las cajas que han sido llenas en el transcurso de la jornada, también se cuentan las piezas que han sido almacenadas en los compartimientos y al final se presentan los totales y la fecha y hora en la que se guarda el registro en la base de datos. Para obtener la fecha y hora actual se utiliza el comando *fecha=datetime.now*.

Para el seguimiento de las cajas se copian los argumentos y se llena los registros detectados de las cajas que ha sido llenada en cada banda transportadora.

3. Visualizar registros: Los registros de los datos que se han ingresado en la base de datos son visualizados en la HMI cuando se genere una consulta, se selecciona los registros que se desea que aparezcan en la tabla y estos aparecen desde el más reciente. Para que se genere el registro se debe hacer un llamado a la información donde se almacene el ID y se imprime en la pantalla para ser visualizado.

3.7.4. *Detección de forma y color*

Como uno de los requerimientos para aplicar Visión Artificial con el prototipo es la detección de forma y color de las piezas plásticas, las formas de piezas son cuadrado, rectángulo y corazón cada una de estas tiene tres colores siguiendo el modelo RGB, es decir: rojo, verde y azul, ilustración 3-47.

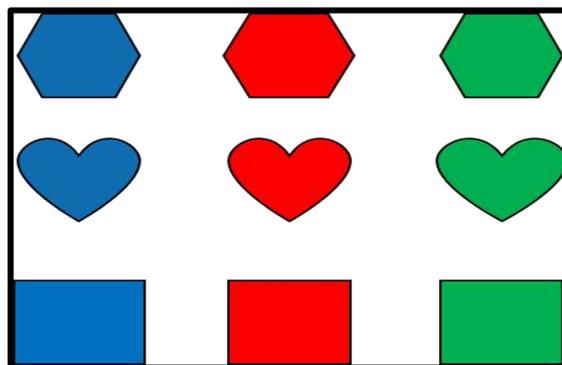


Ilustración 3-47: Formas y colores de piezas plásticas.

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

No todas las piezas plásticas serán almacenadas de estas nueve diferentes piezas se ha escogido tres que serán depositados en sus compartimientos respectivos posterior al reconocimiento de forma y color, estas son: cuadrado-azul, corazón-verde y hexágono-rojo. Ilustración 3-47

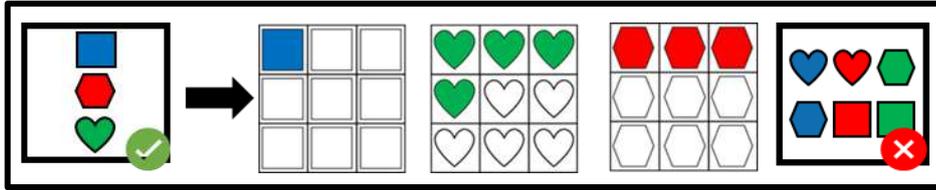


Ilustración 3-48: Piezas plásticas que son almacenadas y piezas que no son almacenadas

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Se debe seguir un algoritmo en visión artificial para que esta orden pueda ser ejecutada la cual se ha ejecutado con la librería *OpenCV* en el cual se ha introducido algunas variables y con estas se ha estructurado el proceso para la identificación de forma y color de piezas plásticas.

3.7.4.1. Proceso para obtención de color

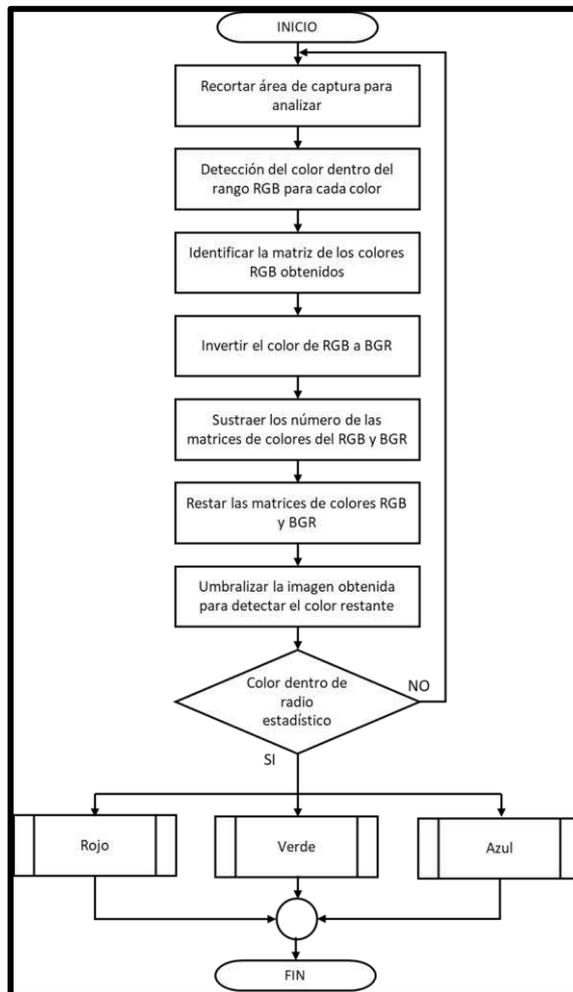


Ilustración 3-49: Diagrama de flujo para la detección de color de las piezas.

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

El diagrama de flujo de la ilustración 3-49, indica el proceso de identificación de color de la pieza, los pasos son los siguientes:

- Recortar el área de la imagen adquirida por el sensor de imagen, el tamaño a utilizar es de 45 x 160 pixeles.
- Al utilizar la librería OpenCV es posible trabajar con cualquier imagen que es captada por la cámara web, por lo que al momento de la pieza de llegar a su posición se captura a la imagen que se almacena para procesarla.
- Se detecta el color de la pieza de la imagen tomada transformándolo a una matriz de pixeles del modelo de colores RGB.
- Se invierte los colores de matriz RGB a BGR con la función *cv2.cvtColor*.
- Los números de matrices de los colores obtenidos se sustraen, tanto del modelo RGB como BGR para realizar una operación aritmética con el objetivo de restar las dos matrices.
- La imagen es umbralizada de esta forma es posible encontrar el color con más prominencia en la imagen.
- Se efectúa una comparación del color obtenido tras la umbralización y es comparado con un radio estadístico del color, el cual se obtiene de la suma de todos los colores de la matriz y divide por el número de elementos de la matriz.

3.7.4.2. Proceso para obtención de forma

La ilustración 3-50, representa al diagrama de flujo que se utilizó para obtener la forma de las piezas que son capturadas por la cámara, la cual está compuesto un proceso el cual es:

- Al obtener la imagen esta es aplicada un filtro Guassiano el cual hace que la imagen sea difuminada para que se posible analizar la forma de la pieza plástica.
- La imagen es umbralizada para obtener los colores más prominentes en la imagen que son el blanco y negro. Las áreas con las que se verificará el contorno de la pieza son blancas, mientras que el fondo es de color negro.
- Se sustrae la estructura de la pieza y se analiza la morfología de la pieza, si es cuadrada y hexágono los contornos se comparan con una matriz que es dibujada con comandos que ofrece OpenCv por las librerías de numpy y cv2.

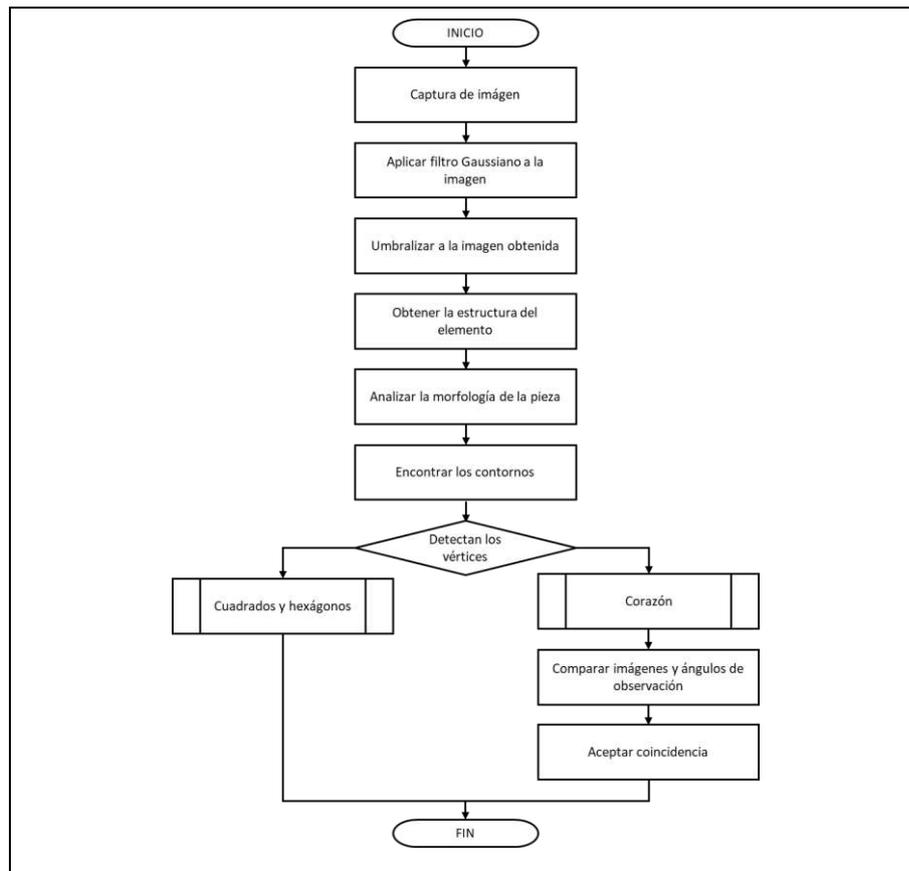


Ilustración 3-50: Diagrama de flujo para la detección de formar de las piezas.

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

- El proceso es diferente cuando se trata de un corazón ya que no es posible dibujar una forma curva, por lo que se realiza una comprobación con una imagen que es cargada y se analiza el patrón, la ilustración es con la utilizada en este proceso. En algunos casos la imagen del corazón no va a ser la misma captura con la cual se efectúa la comparación ya que puede en un ángulo diferente, cuando sucede este caso a la imagen se le realiza un giro hasta encontrar una coincidencia del vértice de la punta del corazón y si se obtiene una coincidencia mayor de 0,68 se comprueba que es un corazón, ilustración 3-51.

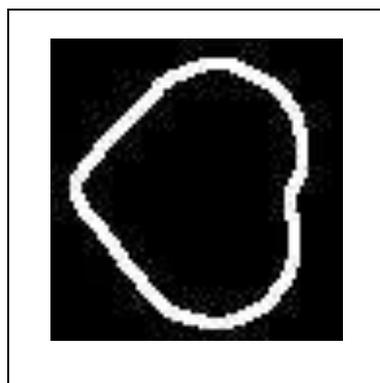


Ilustración 3-51: Imagen de corazón para comparación de forma de pieza

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Una vez que se haya identificado el color y la forma de la pieza que está en la banda principal si son las piezas que deben de ser almacenadas se envían unas variables al microcontrolador, es decir:

- Si se detecta un cuadrado azul se envía una “a”.
- Si se detecta un hexágono rojo se envía una “r”.
- Si se detecta un corazón verde se envía una “v”.
- Si no se encuentra nada o está en un estado inicial anómalo se envía un estado anómalo con la letra “n”.

Las piezas que no son aceptadas para el reconocimiento se las denominó falsos positivos, estas al no ser almacenadas solo son avanzan hasta el fin de la banda principal.

3.7.5. Control de almacenamiento e inventario de piezas plásticas

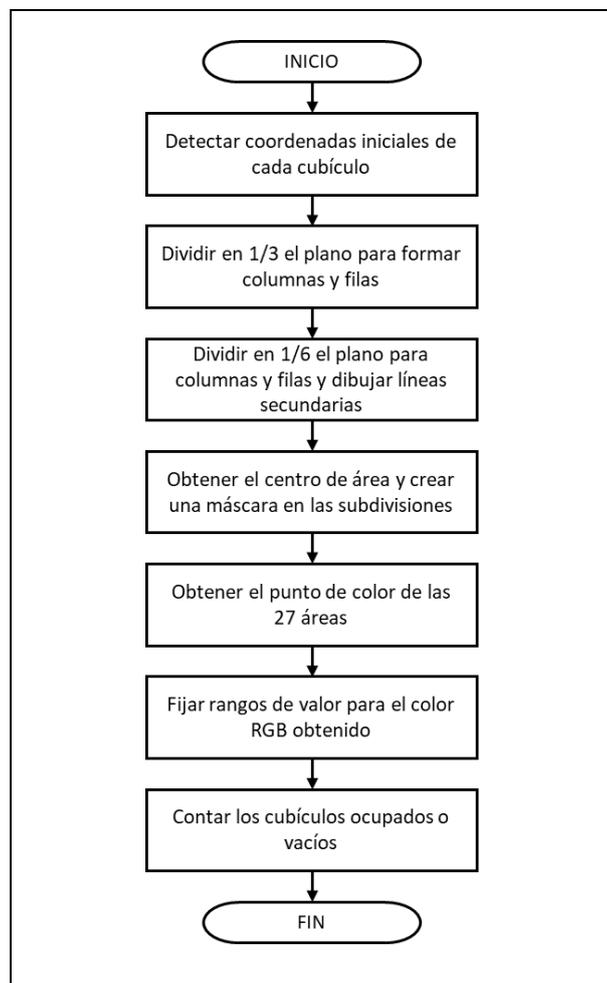


Ilustración 3-52: Diagrama de flujo para el control de almacenamiento e inventario de piezas

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Con la interfaz gráfica es posible calibrar en pantalla los cuadrados de los cubículos, se fija para cada una de las cajas el ancho y largo de los lados para que coincida el rectángulo dibujado en pantalla con las imágenes de los cubículos en cada banda, para poder detectar cuantas piezas plásticas se encuentran en cada caja se emplea el proceso.

Después de haber calibrado a las tres cajas en cada banda transportadora se forman líneas con las que se hace las 9 divisiones para los compartimientos, como se encuentra en la ilustración 3-53.

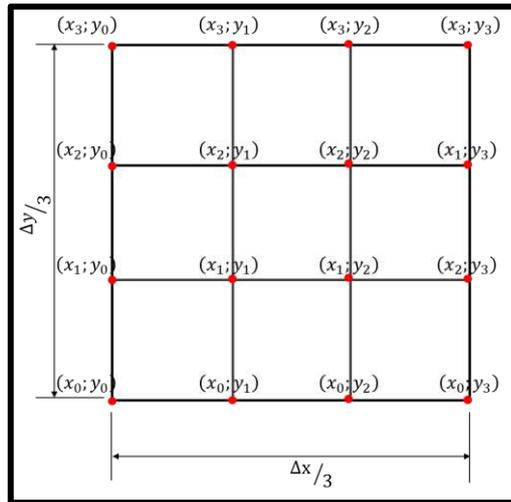


Ilustración 3-53: Representación de las divisiones de los cubículos

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Lo que se obtiene es un plano obtenido desde el rectángulo que encaja con cada caja, en este plano se localiza un punto inicial (0,0) el cual será el de partida para poder las divisiones de los cubículos es necesario, desde el punto inicial se suma $1/3$ a cada uno y se forman las líneas que los dividen, tanto para los ejes X y Y del plano, ilustración 3-54.

$$\begin{bmatrix} (x_1, y_1) & (x_1, y_2) & (x_1, y_3) \\ (x_2, y_1) & (x_2, y_2) & (x_2, y_3) \\ (x_3, y_1) & (x_3, y_2) & (x_3, y_3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (x_0, y_0) + \left(\frac{1}{3}, \frac{1}{3}\right) & (x_0, y_0) + \left(\frac{2}{3}, \frac{1}{3}\right) & (x_0, y_0) + \left(\frac{3}{3}, \frac{1}{3}\right) \\ (x_0, y_0) + \left(\frac{1}{3}, \frac{2}{3}\right) & (x_0, y_0) + \left(\frac{2}{3}, \frac{2}{3}\right) & (x_0, y_0) + \left(\frac{3}{3}, \frac{2}{3}\right) \\ (x_0, y_0) + \left(\frac{1}{3}, \frac{3}{3}\right) & (x_0, y_0) + \left(\frac{2}{3}, \frac{3}{3}\right) & (x_0, y_0) + \left(\frac{3}{3}, \frac{3}{3}\right) \end{bmatrix}$$

Ilustración 3-54: Sumas de los puntos en el plano para los cubículos

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

En la ilustración 3-54, se indica cómo se realiza la suma para poder formar los puntos que unen las divisiones de los cubículos. Posteriormente a este proceso se realizan unas segundas subdivisiones, las cuales son necesarias para identificar el punto medio de cada uno de los

cubículos de las cajas y sacar un área para identificar el color. El proceso es similar al de las primeras divisiones, solo que se suma 1/6 desde el punto (0,0) del plano X, Y.

Al trazar cada una de las subdivisiones de localiza a los puntos medios se forma un área de visualización del color que es captado por la cámara en ese momento como se observa en la 3-55, al momento en que se encuentra una pieza de las que debe de ser almacenada dentro de cada cubículo se observará en la parte de inventario de piezas plásticas el color de la pieza que se encuentra en su respectivo almacenamiento, la cual será contabilizada si es del color que debe estar en cada una de las bandas. Por ejemplo, en la primera banda se encuentran los hexágonos rojos, en la segunda banda se almacenan los corazones verdes y en la tercera banda los cuadrados azules.

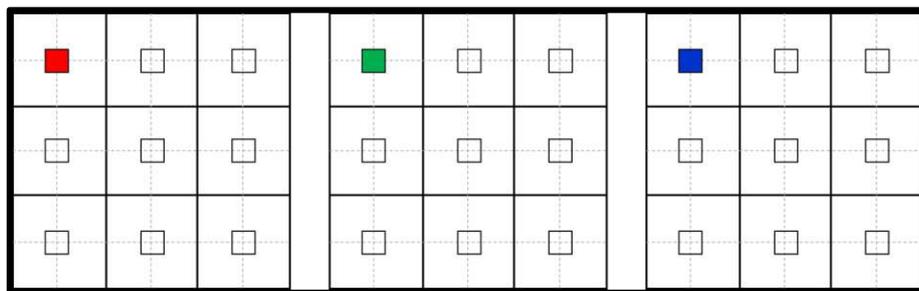


Ilustración 3-55: Representación de las áreas de color captadas para inventario

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Luego de completar cada uno de los procesos que van dentro de la interfaz gráfica estos son unidos y se da una forma para los botones, comandos se crea la interfaz.

3.7.6. *Interfaz gráfica HMI y de control*

Las características de la interfaz gráfica son el dimensionamiento de la pantalla se da con el comando `pygame.display.set`, el cual es de 20'' (1940 pixeles x 840 pixeles) y el color de fondo de la interfaz se utiliza el modelo RGB de colores y se configura en la variable `color_fondo=añadir matriz`.

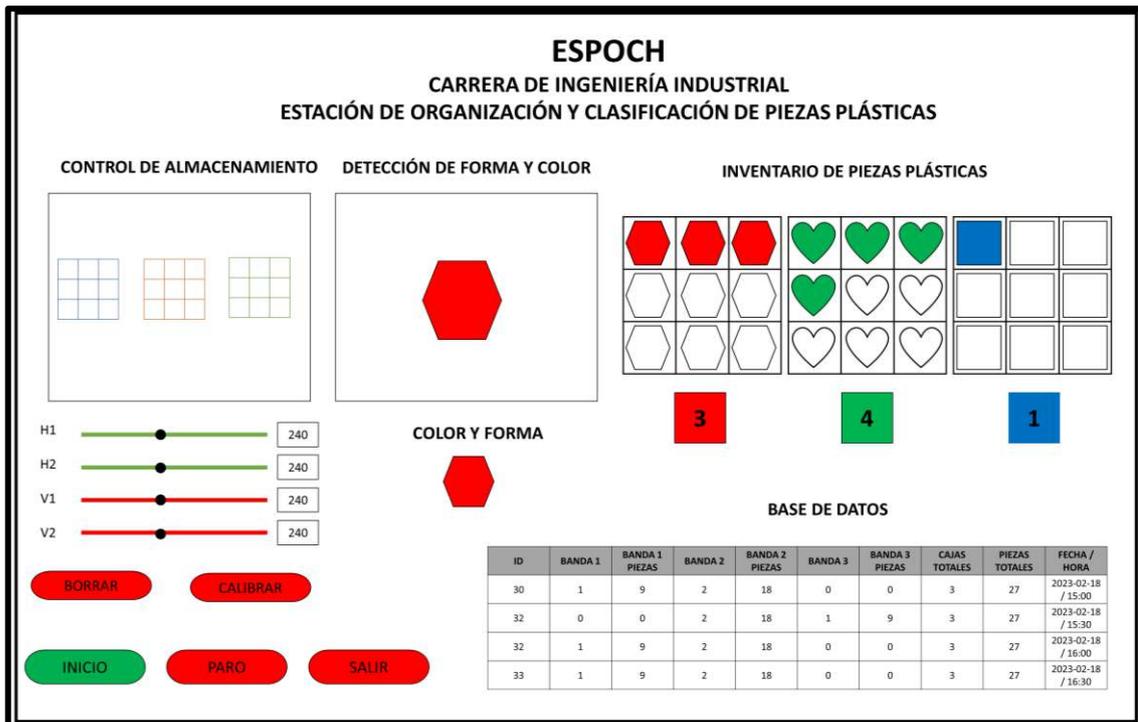


Ilustración 3-56: Bosquejo de la Interfaz Gráfica de Usuario y Control HMI

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

En la interfaz gráfica, ilustración 3-56, se debe visualizar el control de almacenamiento donde se visualiza las cajas de las bandas secundarias, como se realiza la detección de forma y color de las piezas plásticas, así como se encuentran las piezas plásticas almacenadas dentro de los compartimientos y el conteo de estas y para finalizar la base de datos la cual registra las cajas que han sido llenas completamente y despachadas.

3.8. Proceso de control y de ejecución del prototipo

En primer lugar, lo que se quiere lograr con el prototipo es una simulación de un proceso logístico de recuperación y almacenamiento de piezas plásticas, el cual se encarga de organizar y almacenar piezas plásticas con visión artificial. En la ilustración 3-57, se representa un diagrama de flujo del control del prototipo y su funcionamiento.

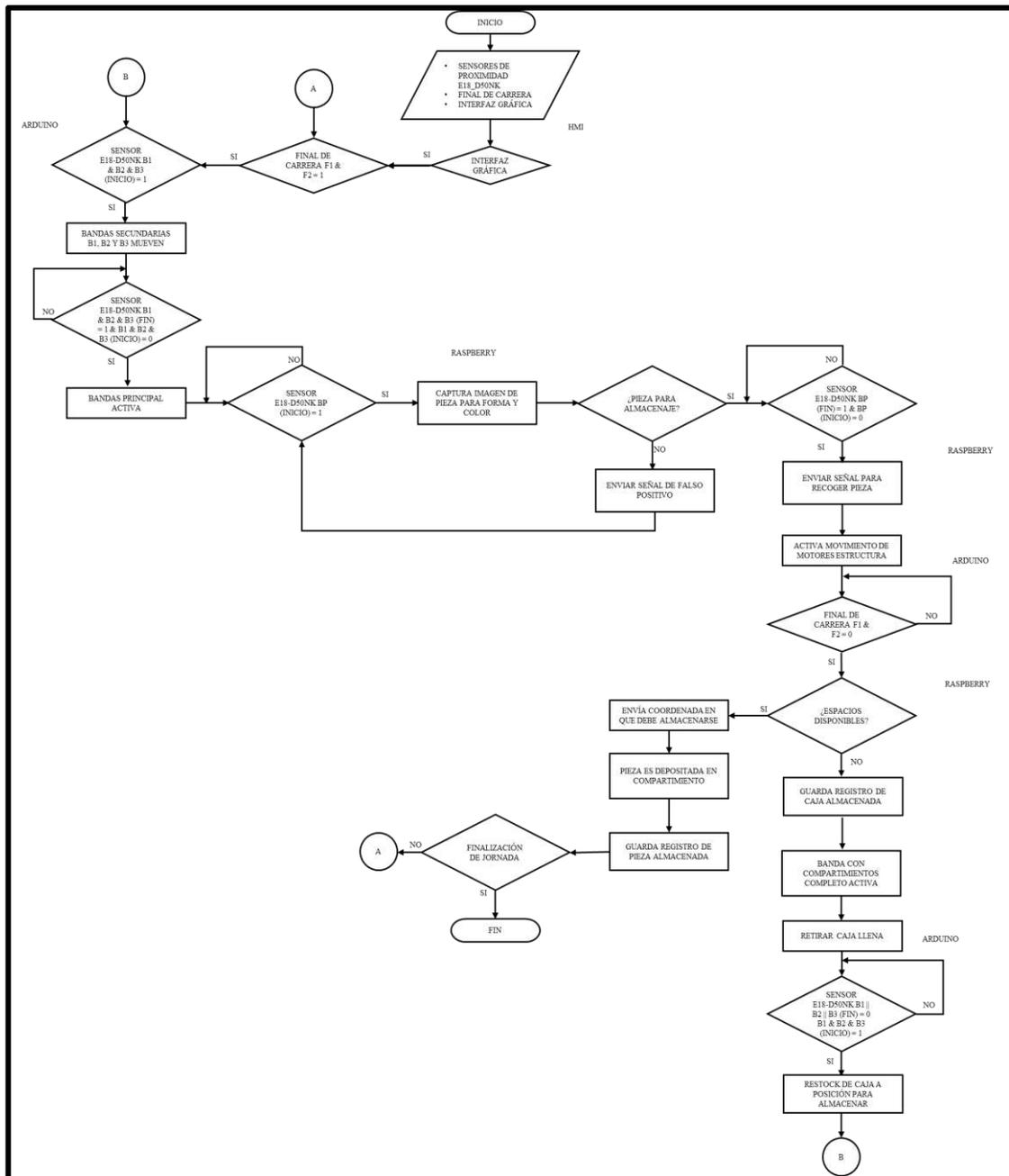


Ilustración 3-57: Diagrama de flujo del proceso de control y ejecución de la estación

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Las acciones del del proceso de control y ejecución de la estación son descritas a continuación:

- Desde la interfaz gráfica con el botón de Inicio se empieza con el arranque del hardware del prototipo.
- Luego de iniciar con la interfaz gráfica se verifica que los finales de carrera y el sistema de agarre de piezas se encuentre en la posición inicial como se indica en la ilustración 3-58 en este punto se encuentran estos sensores y se activa el motor de la banda principal procediendo a ingresar piezas plásticas por la banda.

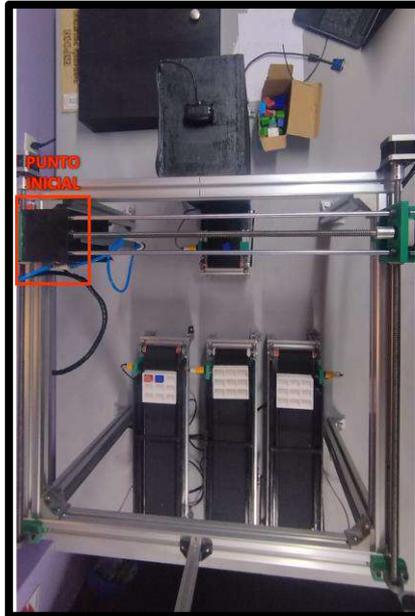


Ilustración 3-58: Posición inicial del robot.

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

- La pieza llega al primer sensor de proximidad de la banda principal y se envía la señal para que se tome una captura de la imagen para poder identificar el color y forma de la pieza, si es una de las piezas que debe de ser almacenadas sigue avanzando hasta el final de la banda hasta que se encienda el sensor de proximidad al final de banda principal, en caso de no ser una de las piezas se envía una señal de que es un falso positivo y solo continúa con por la banda hasta caer en un contenedor.
- Cuando se activa el sensor de proximidad al final de la banda se envía una señal en donde el robot empieza a moverse hasta llegar al centro de la banda principal, cuando llega a esa posición el actuador lineal baja hasta que la ventosa toca la pieza y la succiona para ser transportada hacia su cubículo de almacenamiento.
- Si se encuentra con espacios disponibles y dependiendo del tipo de pieza si es un hexágono rojo, corazón verde o cuadrado azul esta es almacenada en su respectivo lugar, pero se envía una coordenada del lugar que se encuentra vacío, esta coordenada es igual a una variable como se indica en la ilustración 3-59, que representa a cada uno de los 27 cubículos.
- Si no hay espacios disponibles en los cubículos de la caja esta debe ser llevada fuera de la banda y es almacenada en la base de datos del sistema. Se mueve el motor de la banda hacia atrás y la caja es retirada, se realiza un reestock colocando una caja vacía, se activa el sensor de proximidad del inicio de la banda transportadora y la caja es llevada hacia su posición donde se desactiva el sensor del inicio y se activa el sensor de proximidad del final.

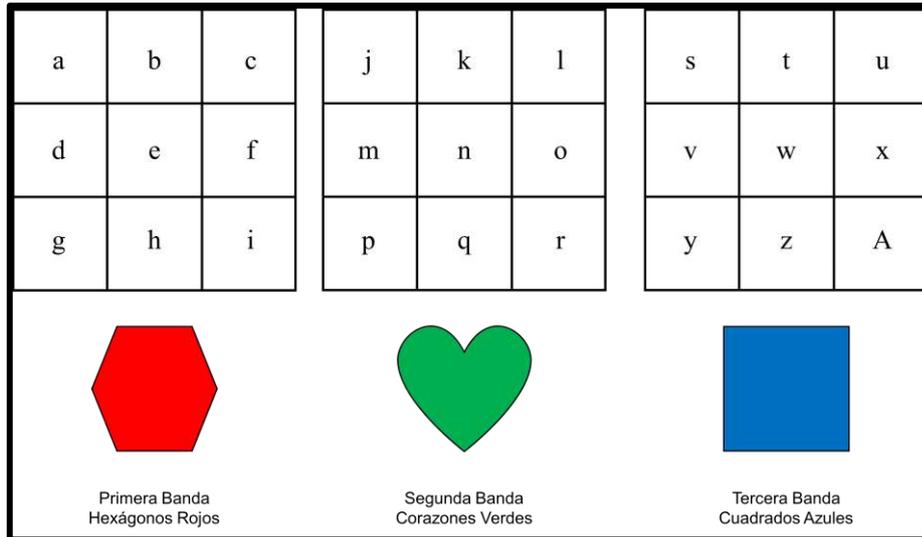


Ilustración 3-59: Variables para las coordenadas de los cubículos

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

- Cuando una pieza es depositada en su cubículo se puede ver en la interfaz gráfica cuantas piezas se encuentran dentro de cada caja y esto igualmente se almacena en la base de datos.
- Toda la secuencia se repite hasta que se finalice la jornada o se envíe un Paro al sistema para que se detenga. Cuando se termina la jornada en la interfaz gráfica se observa la base de datos actualizada con la fecha y hora de registro y cuantas piezas y cajas han sido despachadas de cada una de las bandas.

Terminado la explicación del proceso que realiza la estación para la organización y clasificación de piezas plásticas se procede realizar las pruebas necesarias para la verificación de su funcionamiento.

CAPÍTULO IV

4. PRUEBAS Y RESULTADOS

En el presente capítulo se describen las pruebas a las que fue puesto el prototipo, los resultados obtenidos serán analizados y se verifica el funcionamiento demostrando que se cumple con los requerimientos y se comprueba su funcionalidad tanto de estructura, hardware y software. El prototipo es un robot cartesiano que se encarga de organizar y clasificar piezas con el uso de visión artificial para detectar forma y color de las piezas plásticas e identificación de espacio en los cubículos de almacenamiento.

4.1. Posicionamiento final de la estación de clasificación y organización

En la Ilustración se indica el resultado final de prototipo terminado, la estructura de software y hardware. Se tiene una algunas vistas del prototipo, su puede diferenciar 5 partes importantes de la estación.

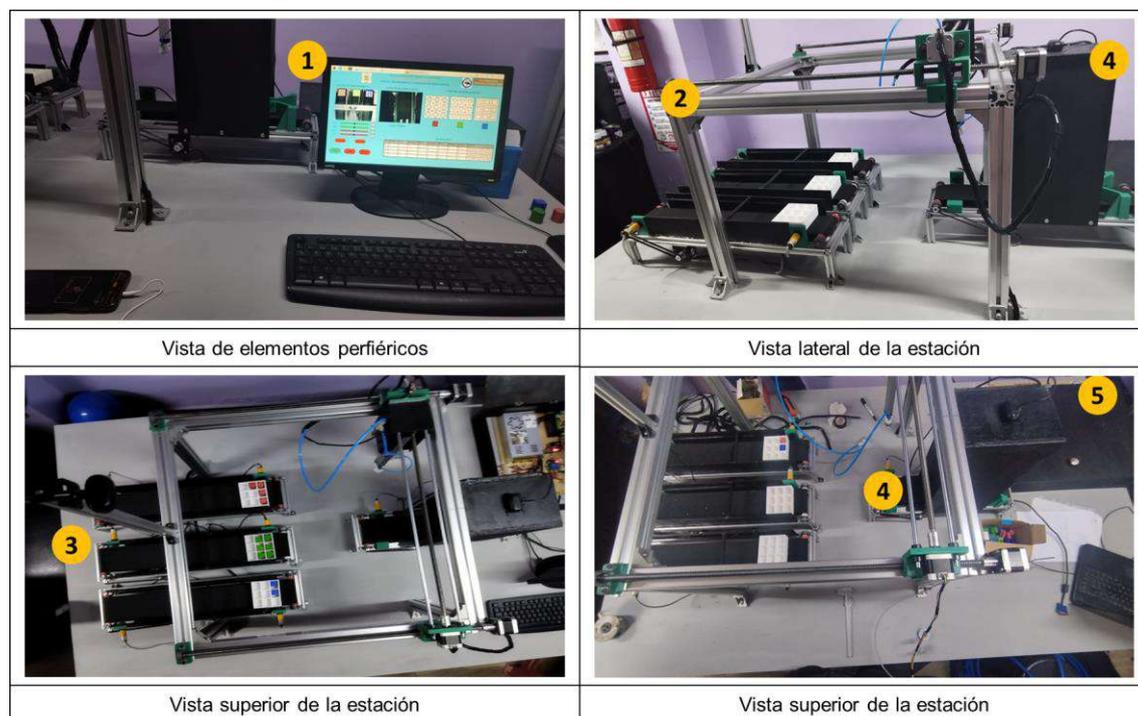


Ilustración 4-1: Vistas de la estación de organización y clasificación.

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

- 1. Elementos periféricos:** En el lado derecho de la mesa se encuentra el monitor que está conectado a la Raspberry Pi, un teclado y mouse con los que es posible la manipulación de la interfaz gráfica.

2. **Robot cartesiano:** El robot cartesiano está compuesto por la estructura principal, motores Nema 17, tornillo sin fin para los ejes X y Y, actuador lineal, ventosa al vacío y elementos complementarios.
 3. **Bandas transportadoras secundarias:** Son colocadas las cajas en donde se depositan las piezas plásticas.
 4. **Banda principal:** Por la banda principal ingresan las piezas plásticas para el reconocimiento de forma y color, al final si corresponde a ser una pieza a almacenar el eje axial la recogerá para llevarla a su depósito.
 5. **Caja de control:** Es el lugar donde se encuentran almacenados elementos del hardware.
- Una vez implementado en su totalidad la estación de organización y clasificación se realizan pruebas de funcionamiento del prototipo.

4.2. Interfaz gráfica y de usuario de la estación

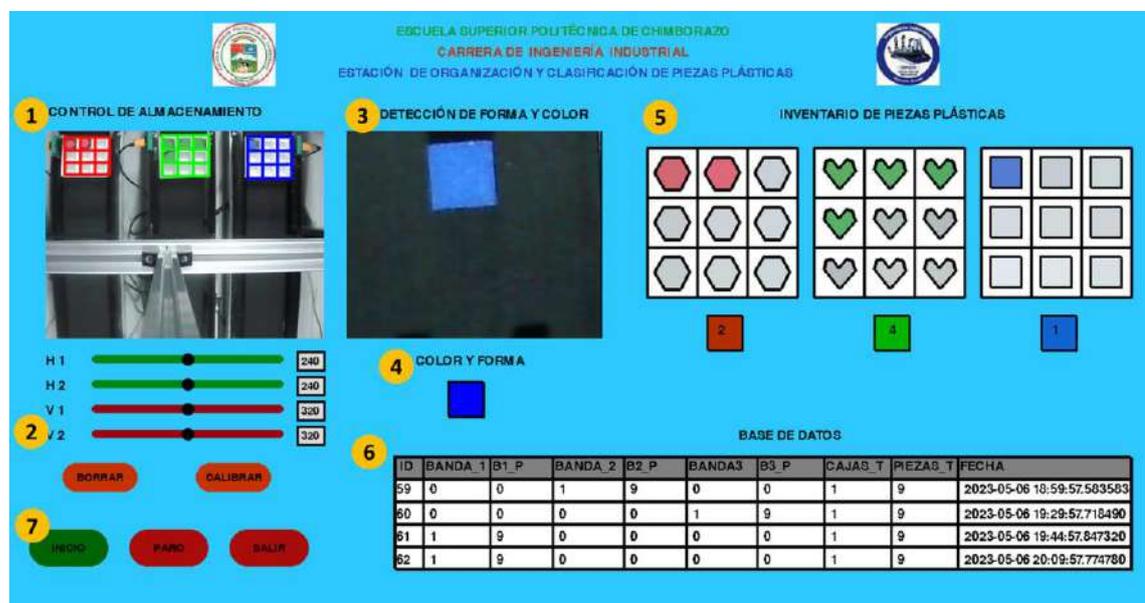


Ilustración 4-2: Interfaz gráfica y de usuario de la estación.

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

La interfaz comprende de siete secciones, tal como se indica en la ilustración 4-2, cada una de estas indica una parte del proceso que se lleva a cabo por el prototipo y que puede ser visualizado en pantalla, así como dar inicio paro fin al proceso del robot y bandas transportadoras, estas son:

1. **Control de almacenamiento:** En esta sección es posible visualizar la imagen que es captada por la cámara web ubicada sobre las tres bandas que llevan a las cajas, también se observa cómo se forman los cubículos que son calibrados para cada una de las cajas.
2. **Calibración de posición de cajas:** Con la ayuda de sliders es posible variar los lados de los rectángulos que coinciden con las cajas sobre las bandas, se puede variar el borde superior

con la slider H1, el borde inferior con H2, el borde izquierdo con V1 y el borde derecho con V2. Una vez que se tenga una caja calibrada se da clic en el botón de Calibrar y se procede a realizar el mismo procedimiento con el siguiente rectángulo. Si se desea eliminar toda la calibración y volver a empezar se da clic en el botón Borrar.

3. **Detección de forma y color:** Se puede visualizar en este recuadro el tipo de pieza que se encuentra sobre la banda principal, para tomar una captura y luego se analiza que color y forma corresponde.
4. **Color y forma:** Si es una de las piezas que son almacenadas se indica el gráfico de la forma y color de la pieza que es identificada en la banda principal, si es un falso positivo no se indica un gráfico.
5. **Inventario de piezas plásticas:** En esta sección se indica por medio de Ilustración s los espacios que son ocupados en los cubículos de las cajas con su forma y color respectivo para cada banda. También se indica el conteo de las piezas almacenadas en los cubículos.
6. **Base de datos:** Se visualiza la base de datos creada con el ID de cada registro, las cajas almacenadas que han sido almacenadas en cada banda y el total de las tres bandas, las piezas plásticas que han sido puestas en cada caja y su total y la fecha y hora en la que ha finalizado la jornada de trabajo de la caja, es decir cuando se genera el registro.
7. **Botones de control:** Se cuenta con tres botones de control, el botón de Inicio que arrana el funcionamiento del prototipo, Paro para detener a todo el proceso y Salir que cierra a la interfaz gráfica.

4.3. Coordenadas de los cubículos de almacenamiento

En primer lugar, para conocer las coordenadas de cada uno de los cubículos se debe fijar una trayectoria que recorrerá el eje axial por los ejes X y Y hasta que este ubique a la pieza en su respectivo cubículo, ilustración 4-3.

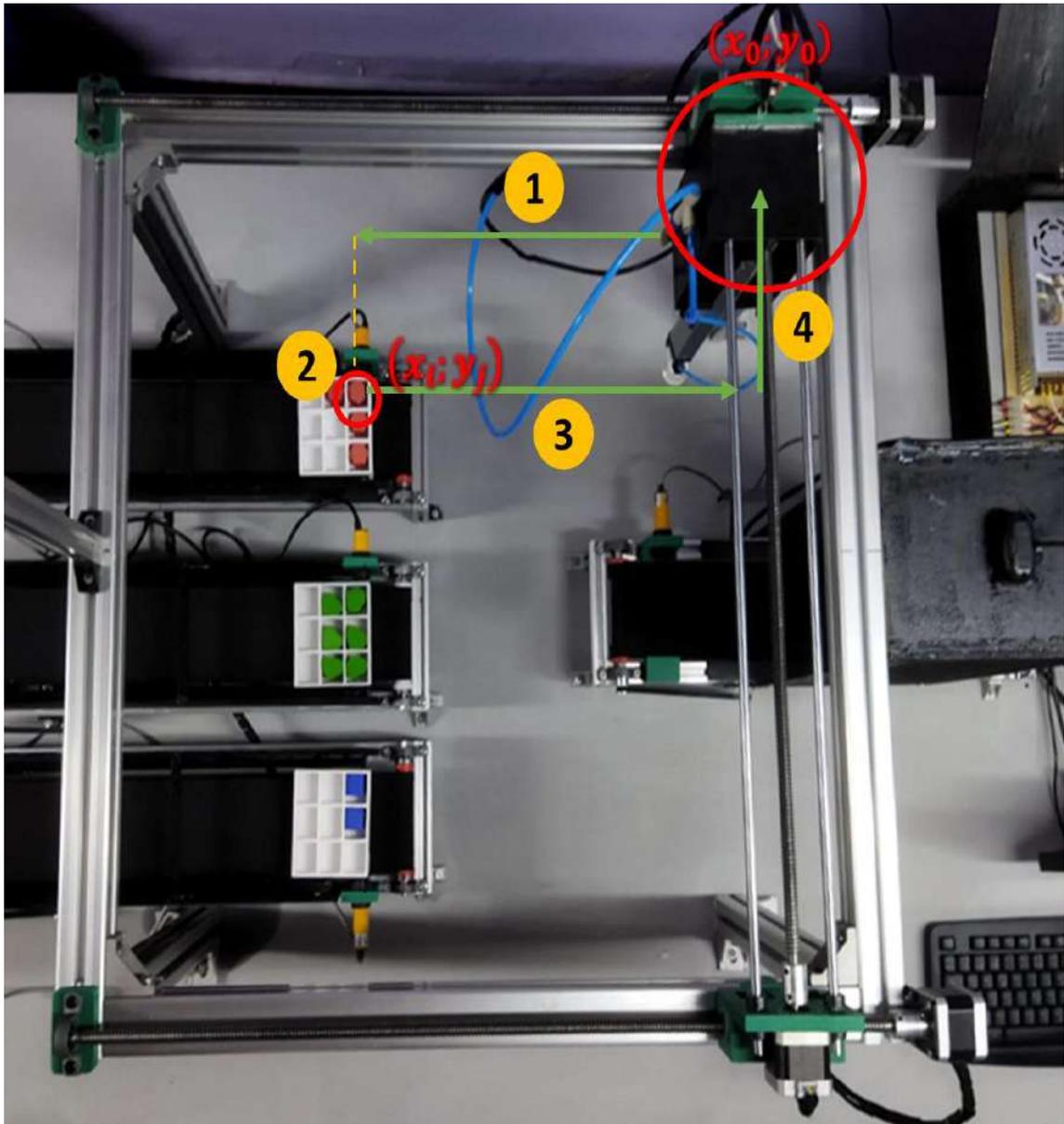


Ilustración 4-3: Trayectoria del eje axial

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

El eje axial parte de las coordenadas $(0,0)$ identificadas por los finales de carrera que se encuentran ubicados tanto en el eje X y Y, posteriormente cuando se realiza la detección de forma y color el actuador se dirige hasta el centro de la banda principal y regresa al punto $(0,0)$. En este momento debe de recorrer al punto (x_i, y_j) , la ventosa suelta a la pieza plástica y se produce un cambio de giro en los motores PaP del eje Y hasta llegar al final de carrera de este eje, al final para volver al punto inicial se invierte el giro del motor PaP del eje X hasta finalmente activas el final de carrera del eje X.

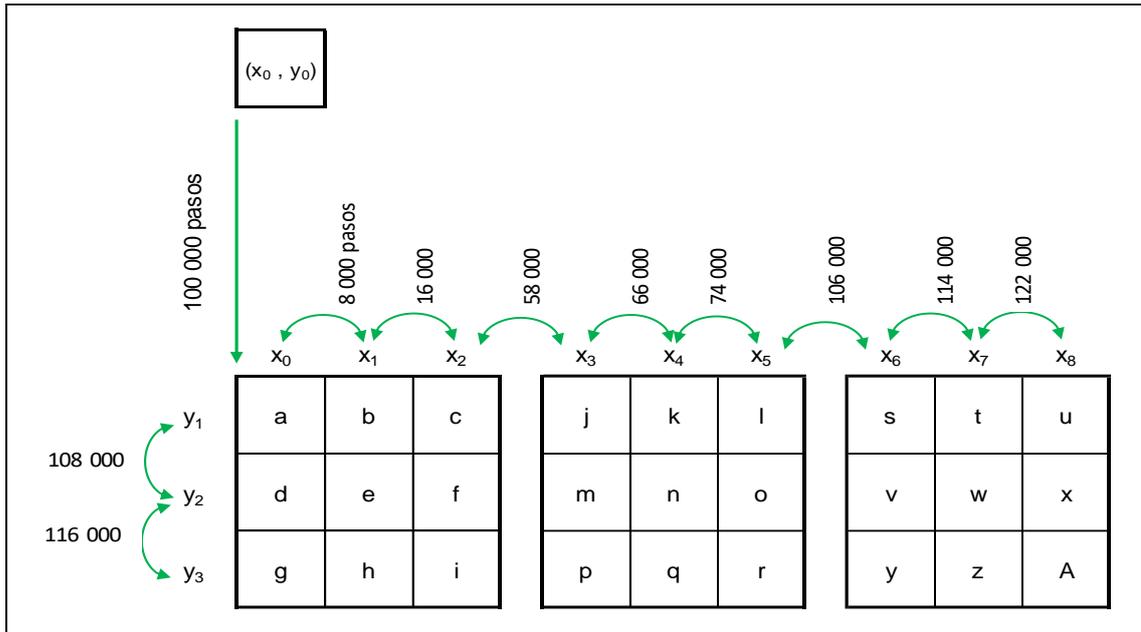


Ilustración 4-4: Pasos recorridos para cada coordenada

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Para llegar a la coordenada (x_0, y_1) se debe de recorrer 100 000 pasos en el eje Y, mientras que las coordenadas de X se mantienen en 0, dentro de la primera caja entre cada cubículo se recorren 8 000 pasos para X y Y, ilustración 4-4.

El modelo matemático (3) para los espacios que se encuentran dentro de las cajas está dado por la ecuación:

$$(x_i, y_j) = (x_{i-1} + 8\,000 ; y_{i-1} + 8\,000) \quad (3)$$

Donde $i = 0,1,2,3 \dots$

Para llegara a la segunda caja se suman 42 000 pasos a la coordenada x_2 y para la tercera caja 32 000 pasos desde la coordenada x_5 . Dado esto se forma una matriz de coordenadas que identifica a cada cubículo.

$$\begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (x_0, y_1) & (x_1, y_1) & (x_2, y_1) \\ (x_0, y_2) & (x_1, y_2) & (x_2, y_2) \\ (x_0, y_3) & (x_1, y_3) & (x_2, y_3) \end{bmatrix}$$

Ilustración 4-5: Coordenadas para la Primera Caja

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

$$\begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (0,100\,000) & (8\,000,100\,000) & (16\,000,100\,000) \\ (0,108\,000) & (8\,000,108\,000) & (16\,000,108\,000) \\ (0,116\,000) & (8\,000,116\,000) & (16\,000,116\,000) \end{bmatrix}$$

Ilustración 4-6: Pasos para cada coordenada de la Primera Caja.

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

$$\begin{bmatrix} j & k & l \\ m & n & o \\ p & q & r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (x_3, y_1) & (x_4, y_1) & (x_5, y_1) \\ (x_3, y_2) & (x_4, y_2) & (x_5, y_2) \\ (x_3, y_3) & (x_4, y_3) & (x_5, y_3) \end{bmatrix}$$

Ilustración 4-7: Coordenadas para la Segunda Caja.

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

$$\begin{bmatrix} j & k & l \\ m & n & o \\ p & q & r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (58\ 000,100\ 000) & (66\ 000,100\ 000) & (74\ 000,100\ 000) \\ (58\ 000,108\ 000) & (66\ 000,108\ 000) & (74\ 000,108\ 000) \\ (58\ 000,116\ 000) & (66\ 000,116\ 000) & (74\ 000,116\ 000) \end{bmatrix}$$

Ilustración 4-8: Pasos para cada coordenada de la Segunda Caja

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

$$\begin{bmatrix} s & t & u \\ v & w & x \\ y & z & B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (x_6, y_1) & (x_7, y_1) & (x_8, y_1) \\ (x_6, y_2) & (x_7, y_2) & (x_8, y_2) \\ (x_6, y_3) & (x_7, y_3) & (x_8, y_3) \end{bmatrix}$$

Ilustración 4-9: Coordenadas para la Tercera Caja

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

$$\begin{bmatrix} s & t & u \\ v & w & x \\ y & z & A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (106\ 000,100\ 000) & (114\ 000,100\ 000) & (122\ 000,100\ 000) \\ (106\ 000,108\ 000) & (114\ 000,108\ 000) & (122\ 000,108\ 000) \\ (106\ 000,116\ 000) & (114\ 000,116\ 000) & (122\ 000,116\ 000) \end{bmatrix}$$

Ilustración 4-10: Pasos para cada coordenada de la Tercera Caja.

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Con esta matriz se puede observar cuantos son los pasos que se recorre el motor para cada uno de los ejes y así poder dejar una pieza en su cubículo correspondiente.

4.4. Pruebas de tiempo de transporte de la estación

En las pruebas de control se probó el funcionamiento mecánico del prototipo se ha creado un modelo matemático considerando las siguientes variables como: la velocidad a la que recorren los motores, tiempos de recorrido desde el punto de recolección de pieza hasta el punto más lejano y cercano, así como sus distancias respectivas. Con el objetivo de determinar el margen de error del funcionamiento del robot.

Tomando en cuenta que los motores del eje X trabajan a 90 microsegundos por paso y el motor del eje Y trabajan a 100 microsegundos por paso, y partiendo desde el punto medio de la banda principal que se lo ha considerado como (0,0,0). En la Tabla se encuentra los tiempos obtenidos en el recorrido hacia los dos puntos especificados.

Tabla 4-1: Tiempos de recorrido al punto más cercano y lejano

Descripción	Tiempo de Recorrido [min]	Tiempo Promedio de Recorrido [min]
Punto más cercano	01:03,7	01:03,8
	01:03,9	
	01:03,8	
	01:03,7	
	01:04,1	
Punto más lejano	02:01,0	02:01,0
	02:00,9	
	02:01,1	
	02:00,9	
	02:00,9	

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Con los tiempos recolectados se ha procedido a determinar el porcentaje de error que existe en cuanto se demora en recorrer a los dos puntos propuestos, esto se puede observar en la tabla 4-2.

Tabla 4-2: Error porcentual de los tiempos obtenidos.

Descripción	Eje	Velocidad [ms/paso]	Repeticiones	Distancia	Tiempo Promedio de Recorrido [min]	Error (%)
Punto más cercano	X	90	5	30	01:03,8	0,159%
	Y	100				
Punto más lejano	X	90	5	102	02:01,0	0,031%
	Y	100				

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Entre los tiempos obtenidos, con las cinco repeticiones de la secuencia que se realizó a cada punto se obtiene un porcentaje de error, el cual no es considerable ya que está bajo cero. Por ejemplo, cuando va hacia el punto más cercano se obtiene un porcentaje de 0,159% y al más lejano de 0,031%. Con esto se resuelve que la funcionalidad del robot es óptima y no existen retrasos cuando se desplaza de un lugar a otro, no hay atascamientos o alguna obstrucción que cause retardos en el desplazamiento del robot desde el punto (0, 0, 0) hasta las coordenadas de los puntos mencionados.

Con las pruebas ejecutadas se ha verificado el funcionamiento del robot, las bandas transportadoras y el sistema de visión artificial. Los resultados arrojados cumplen con los requerimientos y con los objetivos planteados para llevar a cabo la estación de organización y clasificación de piezas plásticas con visión artificial.

4.5. Pruebas de iluminación, brillo y matiz en la caja de visión

Se espera que dentro de la caja de visión se maneje un ambiente controlado de iluminación, por esta razón con la ayuda de un luxómetro se fue midiendo los luxes para evitar el brillo en las piezas al ser captadas por la cámara, por lo que, se implementó una luz led de 93 luxes y se fue disminuyendo la iluminación hasta lograr un porcentaje de detección apropiado para el trabajo de la estación. En la tabla 4-3 e ilustración 4-11, se observa los colores de las piezas utilizadas y se realizaron 20 observaciones.

Tabla 4-3: Observaciones de las pruebas de iluminación.

COLOR PIEZAS		Rojo			Azul			Verde		
LUXES		93	68	48	93	68	48	93	68	48
OBSERVACIONES	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1
	2	0	0	1	0	1	1	1	1	1
	3	0	1	1	0	0	1	0	1	1
	4	1	1	1	0	0	1	0	1	1
	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	6	0	0	1	1	1	1	1	1	1
	7	0	0	1	1	1	1	1	1	1
	8	0	0	1	1	1	1	1	1	1
	9	0	0	1	1	1	1	0	0	1
	10	0	1	1	1	1	1	0	0	1
	11	0	0	1	0	0	1	0	0	1
	12	0	0	1	0	0	1	0	0	1
	13	0	1	1	0	0	1	1	1	1
	14	0	0	1	0	0	1	1	1	1
	15	1	1	1	0	0	1	1	1	1
TOTAL		3	6	15	6	8	15	9	11	15
PORCENTAJE		20%	40%	100%	40%	53%	100%	60%	73%	100%

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

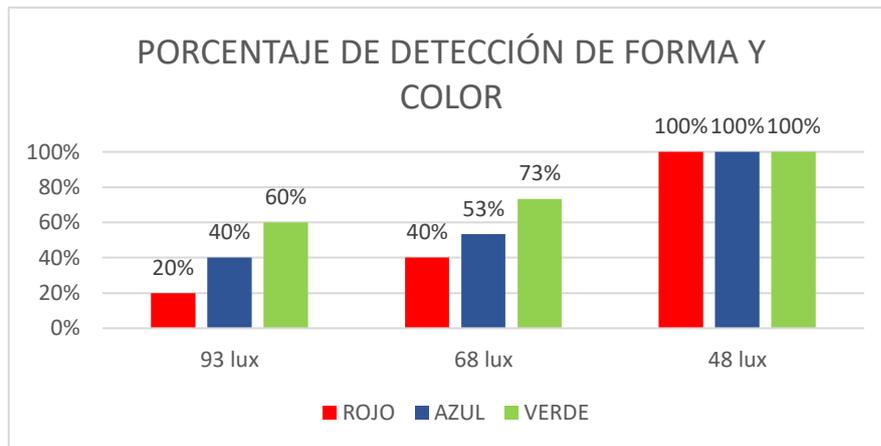


Ilustración 4-11: Porcentaje de detección de forma y color.

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

En la ilustración 4-11, se observa que a 98 luxes se obtuvo mayores problemas con las piezas de color rojo con un porcentaje de detección de 20%, seguido por la pieza azul con un 40% y la pieza verde por un 60%, una de las razones para que no sea detectada es porque se producía demasiado brillo y al digitalizar la imagen obtenida un color cercano al blanco, al disminuir este brillo a 48 luxes se obtiene un porcentaje de 100% de acierto en la detección para los tres colores.

Posteriormente de comprobar el porcentaje de detección de las piezas mediante de la prueba de iluminación, brillo y matiz en el ambiente controlado de la caja de visión se comprueba el algoritmo de detección de forma y color.

Para diferenciar si una pieza es para almacenaje o es un falso positivo se puede observar como en la interfaz gráfica luego de procesar la imagen aparece un gráfico con el Color y Forma que indica el tipo de pieza que es captada, como se indica en la ilustración 4-12.

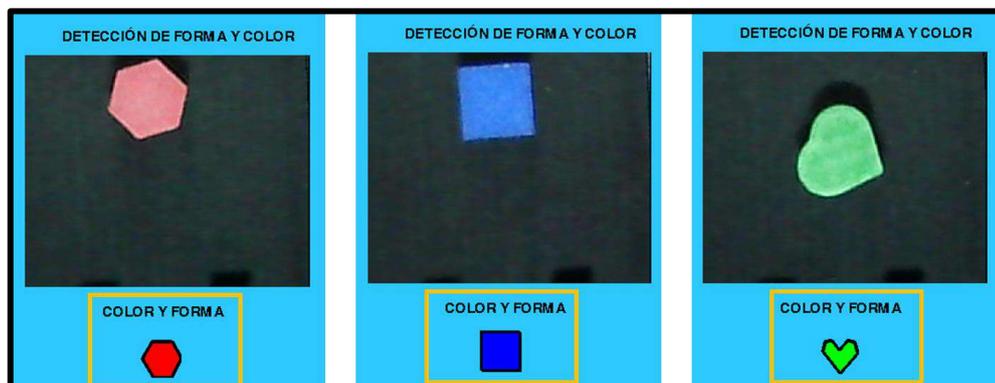


Ilustración 4-12: Resultados de detección de color y forma (piezas a almacenar)

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Mientras que cuando es un desecho el ícono de la figura de la pieza no es visualizado en la interfaz gráfica y las piezas plásticas solo son desechadas como se representa en la ilustración 4-13.



Ilustración 4-13: Resultados de detección de color y forma (piezas a desechar)

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Comprobando así el correcto funcionamiento de la parte de detección de forma y color de las piezas plásticas.

4.6. Pruebas de iluminación, brillo y matiz para un ambiente exterior

La identificación de espacios llenos y vacíos de los packs se encuentra en un ambiente exterior, por esta razón se han realizado observaciones a distintas iluminaciones para identificar cual es la óptima para obtener un porcentaje de identificación óptimo, por lo que se han llenado los packs con las nueve piezas con su color correspondiente en cada una de las posiciones, en la tabla 4-4 se detalla las observaciones.

Tabla 4-4: Cantidad de piezas observadas en un ambiente exterior.

COLOR PIEZAS		Rojo			Azul			Verde		
LUXES		80	160	320	80	160	320	80	160	320
OBSERVACIONES	1	9	7	4	9	8	6	9	8	6
	2	9	6	5	9	8	5	9	8	6
	3	9	8	4	9	8	5	9	8	6
	4	8	8	4	8	8	5	9	7	6
	5	9	5	5	9	7	6	9	8	7
	6	9	8	5	9	7	6	9	7	7
	7	9	8	6	9	6	6	9	7	7
	8	8	8	5	9	7	5	9	8	6
	9	9	8	5	9	8	5	9	8	7
	10	9	7	5	9	8	6	9	8	7
TOTAL PIEZAS ALMACENADAS		88	73	48	89	75	55	90	77	65
PORCENTAJE		98%	81%	53%	99%	83%	61%	100%	86%	72%

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

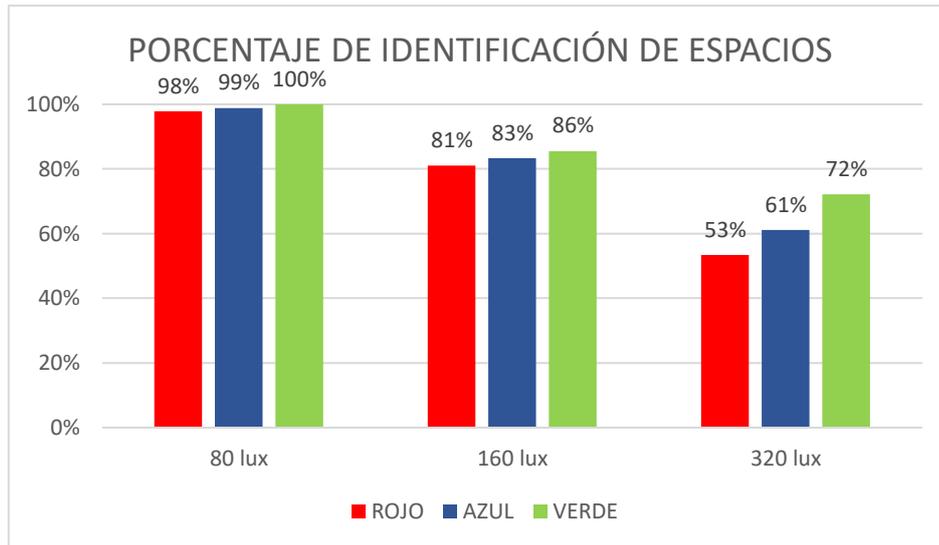


Ilustración 4-14: Porcentaje de identificación de espacios

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Para el ambiente exterior donde se encuentran los cubículos se midió la iluminación se observa en la ilustración 4-14, que a 80 luxes de obtiene un porcentaje de detección para el color rojo de 98%, para el color azul un 99% y el verde un 100%, por lo que se recomienda trabajar a esta cantidad de luxes o menor.

Aplicando la ecuación de eficiencia (4) para la identificación de espacios a las tres diferentes cantidades de iluminación se obtiene que:

$$Eficiencia = \frac{\sum \text{Porcentajes obtenidos}}{100\%} \quad (4)$$

$$Eficiencia_{80 \text{ luxes}} = \frac{98\% + 99\% + 100\%}{3} = 99\%$$

$$Eficiencia_{160 \text{ luxes}} = \frac{81\% + 83\% + 86\%}{3} = 83,33\%$$

$$Eficiencia_{320 \text{ luxes}} = \frac{53\% + 61\% + 72\%}{3} = 62\%$$

Se puede comprobar que a una mayor cantidad de luxes la eficiencia en la identificación de espacios disminuye, por lo que se prevé que se trabaja a un ambiente exterior que no tenga más de 80 luxes y que en el inventario de piezas pueda detectarse la mayor cantidad de piezas almacenadas como se indica en la ilustración 4-15.

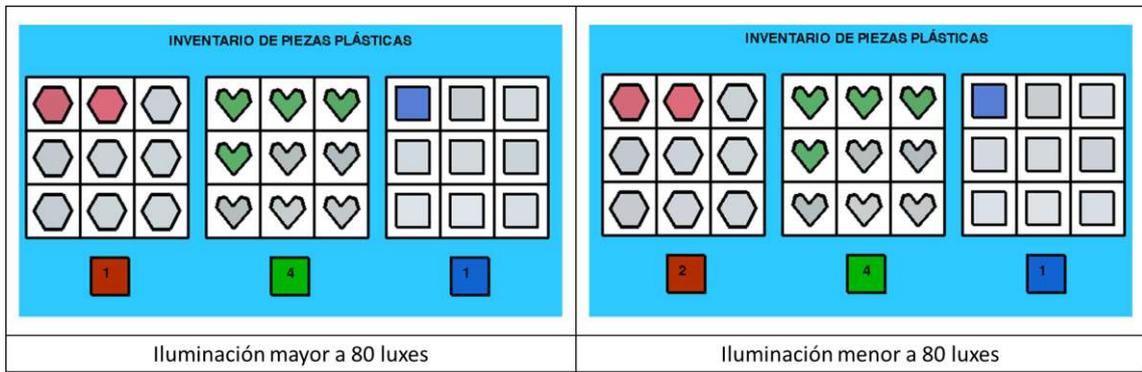


Ilustración 4-15: Detección de color en un ambiente exterior

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

CAPÍTULO V

5. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Se incurrió en algunos gastos para la construcción e implementación del prototipo de organización y clasificación de piezas plásticas dado que se requería de varios materiales y equipos para poder implementarlo, los que serán detallados en este capítulo.

5.1. Análisis de costos en la estructura del robot

En la Tabla 5-1, se observa un detalle de los elementos que se utilizó para la construcción de la estructura principal del robot y las bandas transportadoras.

Tabla 5-1: Costos en la estructura del robot.

Detalle	Cantidad	Costo Uniatrío (\$)	Costo Total (\$)
Soporte de piso SK8 SH8	2	\$ 3,13	\$ 6,26
Soporte de esquina serie 20	55	\$ 0,89	\$ 48,95
Soporte de esquina serie 40	20	\$ 1,56	\$ 31,20
Polea GT2-6mm 20 dientes D-8	8	\$ 2,46	\$ 19,68
Perno allen cabeza plana M5x08	100	\$ 0,09	\$ 9,00
Tuerca T rectangular M5 serie 20	80	\$ 0,18	\$ 14,40
Tuerca T rectangular M5 serie 40	70	\$ 0,40	\$ 28,00
Banda cerrada GT2 6mm 400 mm	4	\$ 3,57	\$ 14,28
Abrazadera de metal para banda	4	\$ 0,45	\$ 1,80
Polea GT2-6mm 20 dientes D-5	3	\$ 2,23	\$ 6,69
Eje liso cromado D8mm	2,25	\$ 14,73	\$ 33,14
Soporte de piso SK10 SH10	2	\$ 3,57	\$ 7,14
Perfil de aluminio T 40x40 E serie 40	4,48	\$ 27,17	\$ 121,72
Perfil de aluminio V 20x20 E serie 20	5,46	\$ 8,21	\$ 44,83
Chumacera de piso 8mm KP08	40	\$ 2,59	\$ 103,60
Acople flexible 5mm-8mm	4	\$ 4,46	\$ 17,84
Rodamiento axial 8mm	4	\$ 1,56	\$ 6,24
Rueda completa de policarbonato	4	\$ 4,00	\$ 16,00
Tuerca T simple serie 20	100	\$ 0,40	\$ 40,00
Elástico para banda	5	\$ 1,50	\$ 7,50
Tornillo sin fin	3	\$ 30,00	\$ 90,00
Tuerca Tornillo sin fin	6	\$ 5,00	\$ 30,00
TOTAL			\$ 698,27

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

El total de los costos de la estructura para la elaboración del prototipo es de \$698,27 dólares americanos.

5.2. Análisis de costos en equipos del prototipo

Se puede apreciar en la tabla 5-2, una descripción de los equipos que se utilizaron y conforman parte del hardware del prototipo.

Tabla 5-2: Costos en equipos del prototipo.

Detalle	Cantidad	Costo Uniatrío (\$)	Costo Total (\$)
Kit Raspberry Pi	1	\$ 100,00	\$ 100,00
Kit Arduino Mega	1	\$ 25,00	\$ 25,00
Shield CNC	1	\$ 16,50	\$ 16,50
Controladores A4988	4	\$ 3,50	\$ 14,00
Controladores TB6600	4	\$ 23,00	\$ 92,00
Módulo Relé Arduino	1	\$ 3,50	\$ 3,50
Sensor de proximidad E18-D50NK	8	\$ 8,00	\$ 64,00
Finales de carrera	2	\$ 1,00	\$ 2,00
Puente H	1	\$ 3,50	\$ 3,50
Fuente de alimentación AC/DC	1	\$ 30,00	\$ 30,00
Motores Nema 17	8	\$ 16,00	\$ 128,00
Actuador Lineal	1	\$ 86,60	\$ 86,60
Ventosa	1	\$ 12,00	\$ 12,00
Generador de Vacío	1	\$ 36,50	\$ 36,50
Cámara web ARGON	2	\$ 23,40	\$ 46,80
TOTAL			\$ 660,40

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

El total de los costos de los equipos para el hardware del prototipo es de \$660,27 dólares americanos.

5.3. Análisis de costos varios

En la tabla 5-3, se observa un detalle de los costos varios en los que se encuentra elementos electrónicos y eléctricos tales como cables de alimentación o de comunicación serial para controladores. También se incluye a la mesa que se utilizó de soporte para el robot, gastos de transporte, entre otros.

Tabla 5-3: Costos varios.

Detalle	Costo Total (\$)
Elementos electrónicos	\$ 100,00
Elementos de conexión eléctrica	\$ 200,00
Herramientas de trabajo	\$ 100,00
Gastos Varios	\$ 100,00
Transporte	\$ 100,00
TOTAL	\$ 600,00

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

El total de los costos de varios para la elaboración del prototipo es de \$600,00 dólares americanos.

5.4. Análisis de costos totales

Luego de analizar los costos de la estructura, equipos y varios se presenta el costo total de implementación del prototipo de organización y clasificación de piezas plásticas con visión artificial y son presentados en la tabla 5-4.

Tabla 5-4: Costos varios.

Detalle	Costo Total (\$)
Costo de estructura	\$ 698,27
Costos de equipos	\$ 660,40
Otros costos	\$ 600,00
TOTAL	\$ 1.958,67

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

El costo total para la elaboración del prototipo es de \$1.958,67 dólares americanos.

5.5. Comparación de precios entre el prototipo de la estación con equipos comerciales

Se puede encontrar en el mercado prototipos o equipos de características similares al prototipo implementado, para lo cual se ha buscado robots con similitudes y se detalla en la tabla 5-5.

Tabla 5-5: Comparación de precios con artefactos similares al prototipo.

Artefacto	Reconocimiento Visión Artificial	Estructura Principal	Interfaz Gráfica	Sistema de Control	Implementos adicionales	Costo
Estación de clasificación y organización	SI	SI	SI	SI	SI	\$ 1.958,67
Cartesiano robot XYZ guía lineal para impresoras	NO	SI	NO	NO	NO	\$ 652,54
UMot-robot cartesiano, pórtico automático de colocación y recogida	NO	SI	NO	SI	NO	\$ 1.981,00

Fuente:(UMOT 2014; CCM 2010)

Realizado por: Mejía D., Gamboa J., 2023.

Revisando en detalle las diferencias entre los otros dispositivos similares se concluye el robot cartesiano construido tiene un precio menor y cuenta con características como reconocimiento con visión artificial, su estructura, una interfaz gráfica para el monitoreo y control del equipo, sistema de control de hardware e implementos adicionales tales como bandas transportadoras, mesa de soporte y las piezas que reconoce el robot, mientras que los otros prototipos encontrados en el mercado tienen carencias.

CONCLUSIONES

En la actualidad se ha llevado a cabo el uso de diferentes tipos de robots en la industria, especialmente en procesos de logística de almacenamiento donde se puede reemplazar la mano de obra con manipuladores funcionales como medios mecánicos, logrando un proceso más eficiente y automatizado, para el presente trabajo se eligió el robot cartesiano al cual se añadió el uso de Visión Artificial empleada para la determinación de forma, color e identificación de espacios.

Se utilizó un robot cartesiano para trasladar piezas de un lugar a otro con tres grados de libertad o ejes, donde el área de trabajo es limitada, también se realizó un plano horizontal donde las piezas son recogidas desde una banda transportadora principal en la etapa de clasificación hasta ser colocadas en compartimientos o almacenamientos en la etapa de organización, se requirió de precisión en todo el proceso donde la tolerancia estimada es $\pm 0,25$ mm para los elementos estructurales y el error porcentual de tiempo de transporte al punto más cercano es de 0,159% y al más lejano 0,031%.

Se realizó una interfaz gráfica mediante el Software PyGame interactiva y de fácil manejo que sirve de comunicación entre la máquina y el usuario además de informar el proceso en tiempo real. Mediante el uso de la librería Open CV se pudo capturar la imagen y procesarla, también se utilizó Numpy para la identificación de piezas plásticas y SQ Lite para la generación de la base de datos.

Se codificó el algoritmo de visión artificial mediante Python para la identificación de las piezas plásticas donde se analizó nueve piezas de las cuales tres son las que deben de ser almacenadas y las demás se consideraron como desperdicios siendo enviadas al final de la banda transportadora, luego de realizar pruebas de iluminación, brillo y matiz en el algoritmo se obtuvo una eficiencia del 100% a 48 luxes para la caja de visión o ambiente controlado y del 99% a 80 luxes para un ambiente exterior.

Tras el análisis esfuerzo – deformación realizado en el software SolidWorks se obtuvo que al aplicar una fuerza de 12 N repartida entre las superficies de contacto se obtuvo un coeficiente de mayor a 1, concluyendo que tanto la varilla roscada y los ejes sólidos de soporte para el eje X, tiene una leve deformación al aplicar esa magnitud, por lo tanto, se validó la funcionalidad de estos en el prototipo.

Para finalizar, mediante la interfaz gráfica se realiza un seguimiento en tiempo real del proceso desde la etapa de clasificación, pasando por la etapa de transporte terminando en la etapa de organización donde se guarda la cantidad de piezas que son identificadas y almacenadas generando una base de datos que se imprime cada cierto tiempo, controlando también que los almacenamientos ya completos sean despachados y se inserte un nuevo almacenamiento.

RECOMENDACIONES

Ampliar el estudio del arte para maximizar los campos de aplicación de la estación.

Considerar las acciones previas antes de la ejecución del proceso estipulado en el manual de usuario dado que se requiere precisión para que la máquina funcione correctamente dentro de un espacio reducido.

Controlar la presión de salida de aire del compresor para potenciar la succión y de esta manera las piezas plásticas a ser transportadas estén sujetas durante el trayecto.

Realizar la correcta lubricación de los ejes roscados minimizando la fricción y evitando daños futuros en los elementos móviles de los ejes X y Y.

Mantener una iluminación controlada, sin exceder el número de luxes para evitar que el exceso de luz presente un brillo en la cámara detectado como color blanco.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ALQADI, Z., NADER, J., ZAHRAN AL BALQA, B., et. al.**, Analysis of Color Image Filtering Methods Analysis of Color Image Features Extraction using Texture Methods View project A methodology to analyze objects in digital image using matlab View project Analysis of Color Image Filtering Methods. *Article in International Journal of Computer Applications* [en línea], vol. 174, no. 8, [consulta: 14 febrero 2023]. DOI 10.5120/ijca2017915449. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/319815286>.
2. **AMAO, S.D., CALLAÑAUPA, H.W., LIMA, A., et. al.** Visión artificial. [en línea]. S.l.: [consulta: 19 febrero 2023]. Disponible en: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/64522930/VISION_ARTIFICIAL-libre.pdf?1601057164=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DVISION_ARTIFICIAL.pdf&Expires=1676876484&Signature=Sz8pGjTfcuq9ceKmsK4hPy1KDJpTQ38nG9ZCVtf4i2ZJj8geb9nVb0TSlSEb7JSH20IsWeczKlxqP-jB7SPL7gTyPWqQUu2Xua91eEp8~P10Sia2tJpDkquZauGsGn5ov7mi58GlrU2zQOdplznuEO1Zv1BvtKqVtrQpknJU6eTZUfS1Ingqx87q7v1r8kgq~Ac3xM8OxUkFU9VpacVcTenN7Lxgc1ITks5x4scYEcfMtlDEBItDAnIuZtohhY0UJEeEgsz~eMx8Ic17mJQ~RgzKv8pwi13QMSP3g70M-g6QxLoaS4fb~Arq63PZy4JDnP0hrrT6QYrOA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA.
3. **ANDHARE, P. & RAWAT, S.**, Pick and place industrial robot controller with computer vision. *Proceedings - 2nd International Conference on Computing, Communication, Control and Automation, ICCUBEA 2016* [en línea], [consulta: 27 marzo 2023]. DOI 10.1109/ICCUBEA.2016.7860048. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7860048>.
4. **ANDRÉS, J., ZAMBRANO, L., RAMOS VELANDIA, M.A., et. al.** Visión artificial y comunicación en robots cooperativos omnidireccionales. *Ingeciencia* [en línea], vol. 1, no. 1, [consulta: 18 febrero 2023]. ISSN 2500-929X. Disponible en: http://editorial.ucentral.edu.co/ojs_uc/index.php/Ingeciencia/article/view/159.
5. **ARDUINO.CL**, ¿Qué es Arduino? | Arduino.cl - Compra tu Arduino en Línea. [en línea]. [Consulta: 21 febrero 2023]. Disponible en: <https://arduino.cl/que-es-arduino/>.
6. **ARTIFICIAL, V.**, Aplicación práctica de la visión artificial en el control de procesos industriales. Visión Artificial - PDF Descargar libre. [En línea]. Gobierno de España:

[consulta: 19 febrero 2023]. Disponible en: <https://docplayer.es/46276037-Aplicacion-practica-de-la-vision-artificial-en-el-control-de-procesos-industriales-vision-artificial.html>.

7. **ATENCIÓN SIFUENTES, A.J. & HUALLPARIMACHI CAÑAVI, R.,** *Diseño e implementación de un sistema de recuperación y almacenamiento automatizado mediante controladores lógicos programables para la industria* [en línea]. Trabajo de investigación. Lima: Universidad Tecnológica de Perú. [consulta: 4 mayo 2023]. Disponible en: https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/1805/Andres%20Atencio_Roberto%20Huallparimachi_Trabajo%20de%20Investigacion_Bachiller_2018.pdf?sequence=4&isAllowed=y.
8. **BEN-ARI, M. & MONDADA, F.,** Robots and Their Applications. *Elements of Robotics* [en línea], [consulta: 17 mayo 2023]. DOI 10.1007/978-3-319-62533-1_1. Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-62533-1_1.
9. **BRICOGEEK,** Motor paso a paso NEMA 17 / 3.2Kg/cm Pololu 1200 | BricoGeek.com. [en línea]. [consulta: 22 mayo 2023]. Disponible en: <https://tienda.bricogeek.com/motores-paso-a-paso/546-motor-paso-a-paso-nema-17-32kg-cm.html>.
10. **CÁNOVAS PÉREZ, D.,** *Diseño de actuadores lineales para dispositivos protésicos robotizados* [en línea]. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena. [consulta: 26 marzo 2023]. Disponible en: <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/8471/tfg-candis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
11. **CARRERA, A.,** Industria 4.0 en el Ecuador. [En línea]. [consulta: 5 junio 2023]. Disponible en: <https://sanfranciscoglobal.org/industria-4-0-en-el-ecuador/>.
12. **CARROD,** Sensor de Proximidad Infrarrojo E18-D80NK – Carrod. [en línea]. [consulta: 21 abril 2023]. Disponible en: <https://www.carrod.mx/products/sensor-de-proximidad-infrarrojo-e18-d80nk>.
13. **CASTILLO SUÁREZ, J. & RICOLFE VIALA, C.,** *Sistema seleccionador de botellas mediante visión artificial en raspberry PI* [en línea]. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. [consulta: 19 febrero 2023]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/158714/Castillo%20-%20Sistema%20seleccionador%20de%20botellas%20mediante%20visi%c3%b3n%20artificial%20en%20Raspberry%20pi.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

- 14. CCM**, Cartesian robot XYZ guía lineal para impresoras|Guías lineales| - AliExpress. [en línea]. [consulta: 4 mayo 2023]. Disponible en: https://es.aliexpress.com/item/33009846906.html?spm=a2g0o.productlist.main.9.70ec2NM22NM2b1&algo_pvid=b22a2f0c-a214-41e0-8284-e0c576abb75f&algo_exp_id=b22a2f0c-a214-41e0-8284-e0c576abb75f-4&pdp_npi=3%40dis%21USD%211666.0%211666.0%21%21%21%21%40211bd8be16832672895655696d07c3%2167040987472%21sea%21EC%210&curPageLogUid=Byvoj8X2rugc
- 15. CUERVO, G., LAURA, C., ESPINOSA, C. & ORTIZ, S.Á.**, Prototipo de CNC controlado por arduino. [en línea], [consulta: 21 febrero 2023]. Disponible en: http://repositorio.pascualbravo.edu.co:8080/bitstream/pascualbravo/465/1/Rep_IUPB_Tec_Mec_Ind_CNC_Controlado.pdf.
- 16. DE OLIVEIRA, B.Q., FARIAS, J.L., FERREIRA, R.K., DE OMERA LOPES, et. al.** Vista do tipos e aplicações de sensores na robótica. *Caderno de Graduação-Ciências* [en línea], vol. 4, [consulta: 4 mayo 2023]. ISSN 2316-3135. Disponible en: <https://periodicos.set.edu.br/fitsexatas/article/view/4403/2253>.
- 17. DÍAZ GARCÍA, L.**, *Integración de visión artificial en un robot industrial* [en línea]. Madrid: Universidad Politécnica Comillas. [consulta: 17 mayo 2023]. Disponible en: <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/22556>.
- 18. DOMÍNGUEZ MÍNGUEZ, T.**, *Visión Artificial APLICACIONES Prácticas con OPENCV - PHYTON* [en línea]. Primera. S.l.: s.n. [consulta: 19 febrero 2023]. ISBN 978-84-267-3347-4. Disponible en: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=FE1OEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT5&dq=formas+de+comunicaciones+para+visi%C3%B3n+artificial&ots=3yEnJIYnV-&sig=w7RggO5Q99FAwmn-dPpli7Lp4F8#v=onepage&q&f=true>.
- 19. DUY CONG, V., LE DUC, H., LE HOAI, P. & DANG ANH, D.**, Design and Development of Robot Arm System for Classification and Sorting Using Machine Vision. *HCM City University of Technology* [en línea], [consulta: 27 marzo 2023]. DOI 10.5937/fme2201181C. Disponible en: https://www.mas.bg.ac.rs/_media/istrazivanje/fme/vol50/1/19_v.d._cong_et_al_.pdf.

- 20. ESCOBAR CARRIÓN, L.E.,** *Desarrollo de algoritmo para visión artificial aplicada a robots cooperativos en proceso de clasificación y distribución de sustancias químicas.* Quito: Universidad Tecnológica Israel.
- 21. ESCUDERO SERRANO, M.J.,** *Logística de almacenamiento 2.ª edición - ESCUDERO SERRANO, MARÍA JOSÉ - Google Libros* [en línea]. 2. Madrid: Ediciones Paraninfo. [consulta: 17 mayo 2023]. ISBN 8428340773, 9788428340779. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=vcSPDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.
- 22. ETERNAL MACHINERY AMERICA,** Válvulas de Solenoide (5/2 & 5/3) Serie V • V5221/V5222/V5322. [en línea]. [consulta: 24 abril 2023]. Disponible en: <https://rodavigo.net/datos/13128/21213128019.pdf>.
- 23. FAROOQI, A., BIN YUSOFF, N., SIONG CHUNG -, L., ZHANG, R., et. al.** Integrating Vision System to a Pick and Place Cartesian Robot You may also like Automatic Pick-and-Place Packaging System with Vacuum Lifter Inspecting spring clamp dimensions with machine vision Integrating Vision System to a Pick and Place Cartesian Robot. *Journal of Physics: Conference Series* [en línea], vol. 2107, [consulta: 27 marzo 2023]. DOI 10.1088/1742-6596/2107/1/012037. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2107/1/012037/pdf>.
- 24. FESTO,** Toberas de aspiración. *Industrias Asociadas* [en línea], [consulta: 20 abril 2023]. Disponible en: <https://www.industriasasociadas.com/wp-content/uploads/2018/10/vn-generador-de-vacio-festo-industrias-asociadas.pdf>.
- 25. GANGURDE, S.,** Modelo de color HSV en gráficos por computadora - GeeksforGeeks. *GeeksforGeeks* [en línea]. [consulta: 22 marzo 2023]. Disponible en: <https://www.geeksforgeeks.org/hsv-color-model-in-computer-graphics/>.
- 26. GARCÍA GONZALES, A.,** Arduino Mega: Características y Capacidades - Panama Hitek. *PANAMAHITEK* [en línea]. [consulta: 16 abril 2023]. Disponible en: <https://panamahitek.com/arduino-mega-caracteristicas-capacidades-y-donde-conseguirlo-en-panama/>.

- 27. GARCÍA, V.**, Descripción del driver A4988 – Electrónica Práctica Aplicada. *Electrónica Práctica Aplicada (EPA)* [en línea]. [consulta: 17 abril 2023]. Disponible en: <https://www.diarioelectronicohoy.com/blog/descripcion-del-driver-a4988>.
- 28. GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, I.J., GRANILLO-MACÍAS, R., et. al.** Competencias del ingeniero industrial en la Industria 4.0. *Revista electrónica de investigación educativa* [en línea], vol. 22, [consulta: 17 mayo 2023]. ISSN 1607-4041. DOI 10.24320/REDIE.2020.22.E30.2750. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1607-40412020000100130&lng=es&nrm=iso&tlng=es.
- 29. GUERRERO, S., ECHEVERRI, A. & YUNDA, L.**, Implementación de un sistema de visión artificial para el control de calidad en área superficial de piñones industriales. [en línea]. Cali: [consulta: 19 febrero 2023]. Disponible en: <https://scholar.archive.org/work/df7at53b6vcdvcegowehs55iije/access/wayback/http://revista.susc.edu.co/index.php/Ingenium/article/download/136/122>.
- 30. HANDSON TECHNOLOGY**, Handson Technology User Manual 3-Axis CNC/Stepper Motor Shield for Arduino. [en línea], [consulta: 21 febrero 2023]. Disponible en: www.handsontec.com.
- 31. INESEM**, Curso Robótica Industrial | INESEM Business School. *INESEM Business School* [en línea]. [Consulta: 14 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.inesem.ec/Curso-Superior-En-Robots-Industriales-Implantacion-Componentes-Y-Programacion>.
- 32. INFORMÁTICA Y SISTEMAS**, Visión artificial. [en línea]. [consulta: 19 febrero 2023]. Disponible en: http://tecnologiainformaticasistemas.blogspot.com/2016/12/VisionArtificial_12.html.
- 33. INTRODUCCIÓN A LA VISIÓN ARTIFICIAL** Una guía para la automatización de procesos y mejorar la calidad. , [sin fecha].
- 34. KUMAR SAHA, S.**, *Introducción a la robótica* [en línea]. México: McGraw Hill. [consulta: 21 febrero 2023]. ISBN 978-607-15-0313-8. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/36580>.

35. **MATHWORKS**, Computer vision - MATLAB & Simulink. [en línea]. [consulta: 20 febrero 2023]. Disponible en: <https://la.mathworks.com/discovery/computer-vision.html>.
36. **MINISTERIO DE PRODUCCIÓN**, *Estatuto orgánico de gestión organizacional por procesos del ministerio de producción, comercio exterior, inversiones y pesca reforma* [en línea]. 11 enero 2021. Quito: Acuerdo Ministerial Nro. 21 001 . [consulta: 23 mayo 2023]. Disponible en: https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/02/ACUERDO-MINISTERIAL-21_001-Estatuto-Organico-Reformado-MPCEIP.pdf.
37. **NAVARRO, F.**, *Celda robotizada con visión artificial para el empaquetado de cápsulas de café* [en línea]. Valencia: Universitat Politècnica de València. [consulta: 27 marzo 2023]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/184589>.
38. **NI**, Visión artificial y procesamiento de imágenes con CompactRIO: El mejor controlador de usos múltiples - NI. [en línea]. [consulta: 19 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.ni.com/es-cr/shop/compactrio/what-are-compactrio-controllers/machine-vision-and-image-processing-with-compactrio--the-ultimat.html>.
39. **NOVATRONICEC**, Motor paso a paso 42-34 Creality NEMA17 – Novatronic. [en línea]. [consulta: 22 mayo 2023]. Disponible en: <https://novatronicec.com/index.php/product/motor-paso-a-paso-42-34-creality-nema17/>.
40. **OLIVARES, Q., CALERO JUÁREZ, A.E., ABRAHAM, J.D., et. al.** Tesis facultad de ciencias e ingeniería escuela profesional de ingeniería electrónica con mención en telecomunicaciones Implementación de un sistema CNC elaborado con RAEE para dibujar circuitos PCB PRESENTADO POR Implementación de un sistema CNC elaborado con RAEE para dibujar circuitos PCB. [en línea], [consulta: 21 febrero 2023]. Disponible en: www.uch.edu.pe.
41. **ORANGEPI**, Orange Pi en español, la alternativa a Raspberry Pi. *Shenzhen Xunlong Software CO., Limited* [en línea]. [consulta: 17 mayo 2023]. Disponible en: <https://orangepiweb.es/>.
42. **PEÑA MERINO, J.M.Y.**, *Sistema de detección y conteo de vehículos utilizando visión artificial* [en línea]. Piura: Universidad Nacional de Piura / UNP. [consulta: 29 marzo 2023]. Disponible en: <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/1311/CIE-PE%2091->

MER-17.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

43. **PROMETEC**, Módulo controlador de motores L298N | Tienda y Tutoriales Arduino. [en línea]. [consulta: 17 abril 2023]. Disponible en: <https://www.prometec.net/l298n/>.
44. **RAJ, H.**, Matlab | RGB image representation - GeeksforGeeks. *GeeksforGeeks* [en línea]. [consulta: 21 marzo 2023]. Disponible en: <https://www.geeksforgeeks.org/matlab-rgb-image-representation/>.
45. **RASPBERRY PI**, Raspberry Pi trademark rules and brand guidelines - Raspberry Pi. *raspberrypi.com* [en línea]. [consulta: 22 marzo 2023]. Disponible en: <https://www.raspberrypi.com/trademark-rules/>.
46. **RASPBIAN**, FrontPage - Raspbian. *Raspbian* [en línea]. [consulta: 2 abril 2023]. Disponible en: <https://www.raspbian.org/FrontPage>.
47. **REY-BALTAR DE LA RICA, Á.**, *Diseño y análisis de un actuador lineal electromecánico antibloqueante* [en línea]. Bilbao: Universidad del País Vasco. [consulta: 26 marzo 2023]. Disponible en: <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/59694/TFM%20Rey-Baltar%20c3%81lvaro.pdf?sequence=3&isAllowed=y>.
48. **RODRÍGUEZ CRUZ, Y. & TELLEZ SALAMANCA, W.**, *Universidad Santo Tomás* [en línea]. Tunja: universidad Santo Tomás. [consulta: 17 mayo 2023]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/47516/2022WilliamTellez%2cYeisonRodr%c3%adguez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
49. **RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, C.L.**, *Diseño y construcción de un robot cartesiano con un control de posición punto a punto* [en línea]. Bogotá: Universidad Libre. [consulta: 17 mayo 2023]. Disponible en: <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11249/DISE%c3%91O%20Y%20CONSTRUCCI%c3%93N%20DE%20UN%20ROBOT%20CARTESIANO%20CON%20UN%20CONTROL%20DE%20POSICI%c3%93N%20PUNTO%20A%20PUNTO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
50. **ROJAS, E.M.**, Machine Learning: análisis de lenguajes de programación y herramientas para desarrollo. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação* [en línea], vol. 28, [consulta: 7 mayo 2023]. Disponible en:

https://media.proquest.com/media/hms/PFT/1/OSI9G?_s=0YUFKn6ytousiHI6R2Cxp730dfI%3D.

51. **SAN MARTIN, S.**, Efecto Venturi y sus características - Epidor. *EDIPOR* [en línea]. [consulta: 20 abril 2023]. Disponible en: <https://epidor.com/blog/efecto-venturi-y-sus-caracteristicas/>.
52. **SUCAR, L.E.**, Visión Computacional Computational Intelligence for Energy Domain View project SmartSDK (European Commission) Communications Networks, Content and Technology View project. [en línea], [consulta: 13 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/267295870>.
53. **THE PI HUT**, Raspberry Pi Models | The Pi Hut. <https://thepihut.com> [en línea]. [consulta: 22 marzo 2023]. Disponible en: <https://thepihut.com/blogs/raspberry-pi-roundup/raspberry-pi-comparison-table>.
54. **TIMOTION**, ¿Qué es un actuador lineal eléctrico y cómo elegirlo? - TiMOTION. *Timotion* [en línea]. [consulta: 26 marzo 2023]. Disponible en: <https://www.timotion.com/es/news-and-articles/part-1-what-is-an-electric-linear-actuator-and-how-to-choose-it>.
55. **UMOT**, Umot-robot Cartesiano, Pórtico Automático De Colocación Y Recogida, 3 Ejes, Xyz, Lineal, Para Máquina Cnc - Guías Lineales - AliExpress. [en línea]. [consulta: 4 mayo 2023]. Disponible en: <https://es.aliexpress.com/i/4000009533452.html>.
56. **VAL, C.G.**, *Robot Cartesiano de tres ejes controlado por computadora* [en línea]. S.l.: Pontificia Universidad Católica Argentina. [consulta: 21 febrero 2023]. Disponible en: <https://repositorio.uca.edu.ar/bitstream/123456789/11220/1/robot-cartesiano-tres-ejes.pdf>.
57. **VARGAS BAEZA, V.**, Sistema de visión artificial para el control de calidad en piezas cromada. [en línea], [consulta: 22 enero 2023]. Disponible en: <http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/7250>.
58. **VIERA MAZA, G.I.**, Procesamiento de imágenes usando OpenCV aplicado en Raspberry Pi para la clasificación del cacao. *Universidad de Piura* [en línea], [consulta: 21 febrero 2023]. Disponible en: <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/2916>.

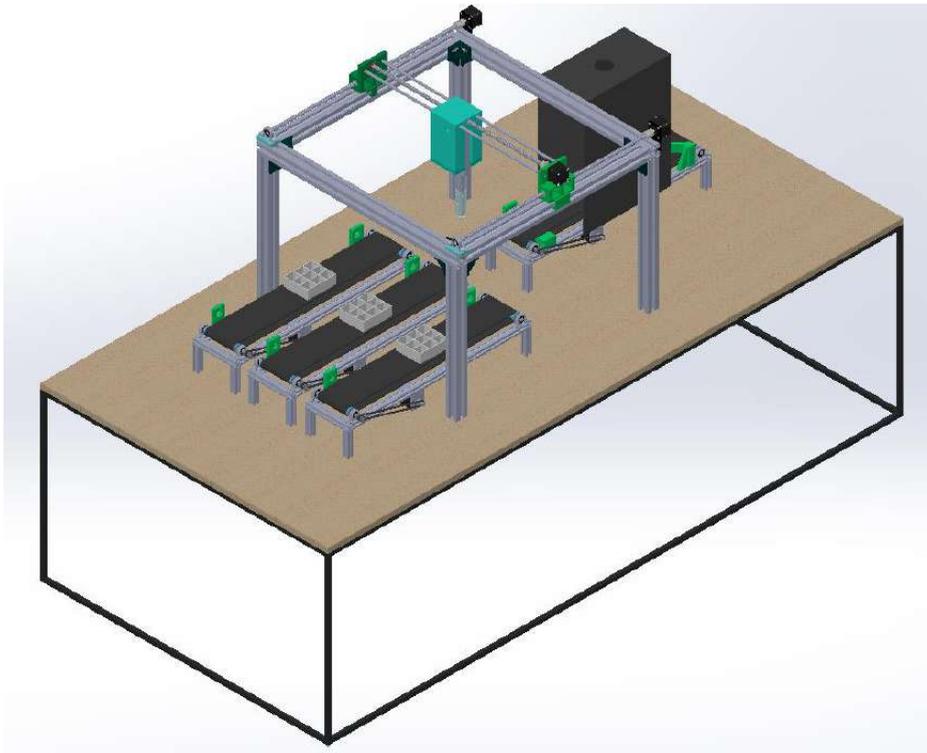
- 59. VINCENT BABIN & CLÉMENT GOSSELIN**, Mechanisms for Robotic Grasping and Manipulation. *Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems* [en línea], [consulta: 14 mayo 2023]. DOI <https://doi.org/10.1146/annurev-control-061520-010405>. Disponible en: <https://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev-control-061520-010405>.
- 60. WENZHOU GANGYUAN ELECTRONICS CO., L.**, Micro Interruptor con rodillo. [en línea]. [consulta: 24 abril 2023]. Disponible en: https://es.gangyuantech.com/roller-lever-arm-micro-switch_p1023.html.

ANEXOS

ANEXO A: MANUAL DE USUARIO

MANUAL DE USUARIO

ESTACIÓN DE CLASIFICACIÓN Y ORGANIZACIÓN DE PIEZAS PLÁSTICAS



Contenido

- 1 Introducción 3
- 1.1 Objetivo..... 3
- 1.2 Requerimientos..... 3
- 2 Opciones del Sistema 3
- 2.1 Conexión de Elementos Periféricos 3
- 2.2 Ingreso a la Interfaz Gráfica 4
- 2.3 Interfaz Gráfica 5
- 2.4 Trayectoria del eje Axial desde el punto inicial hasta los cubículos 6
- 2.5 Coordenadas de pasos para los cubículos 7
- 2.6 Inicio de la Estación 8
- 2.7 Entrada de Packs 8
- 2.8 Entrada de Piezas Plásticas 8
- 3 Recomendaciones 9

Introducción

3.9. Objetivo

Implementar una estación para clasificación y organización de piezas plásticas basada en un robot cartesiano y visión artificial.

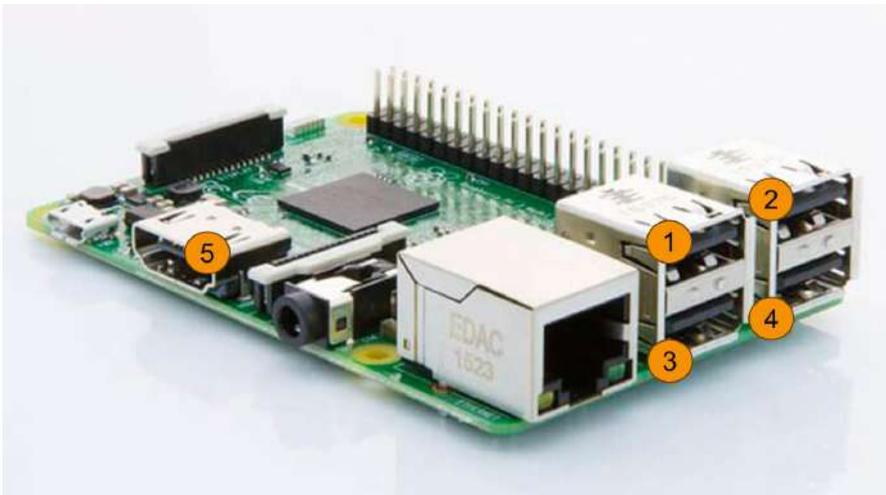
3.10. Requerimientos

- Estación de clasificación y organización.
- Tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3 Model B.
- Cámara web ARGOM Tech HD 720p.
- Arduino Mega 2560 Rev3.
- Extensor USB.
- Monitor.
- Teclado.
- Mouse.

Opciones del Sistema

3.11. Conexión de Elementos Periféricos

La tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3 Model B cuenta con 4 puertos USB 2.0 y un módulo de conexión HDMI en los que es posible conectar los elementos periféricos y van según el siguiente orden en los puertos:

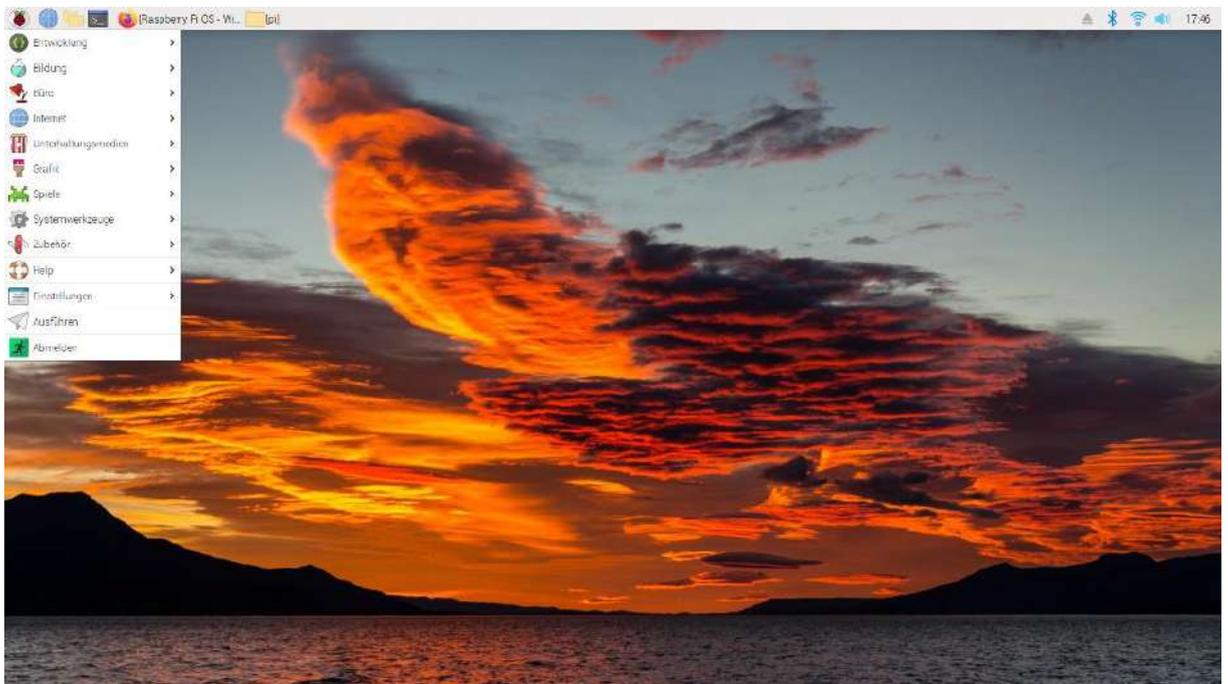


1. Cámara web de la caja de visión para detección de forma y color.
2. Cámara web de para la identificación de espacios vacíos.
3. Arduino Mega 2560 Rev3.

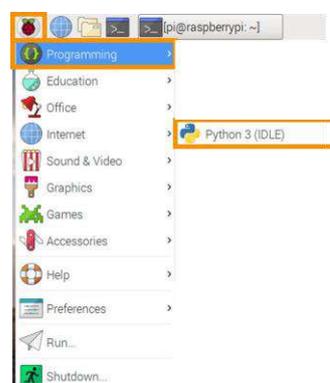
4. Extensor USB para el mouse y teclado.
5. Monitor con cable de conversión de VGA a HDMI.

3.12. Ingreso a la Interfaz Gráfica

Se debe conectar la tarjeta Raspberry Pi a una fuente de 110 V y se empieza a inicializar la pantalla, en el monitor se observa la pantalla de inicio del Sistema Operativo de la Raspberry Pi 3.



Para iniciar con el programa se debe abrir el programa IDLE Python. Para esto nos dirigimos con el mouse hacia el icono de Raspberry > Programming > IDLE Python.



Una vez inicializado el programa se busca en archivos reciente al archivo tesis_10_interfaz.

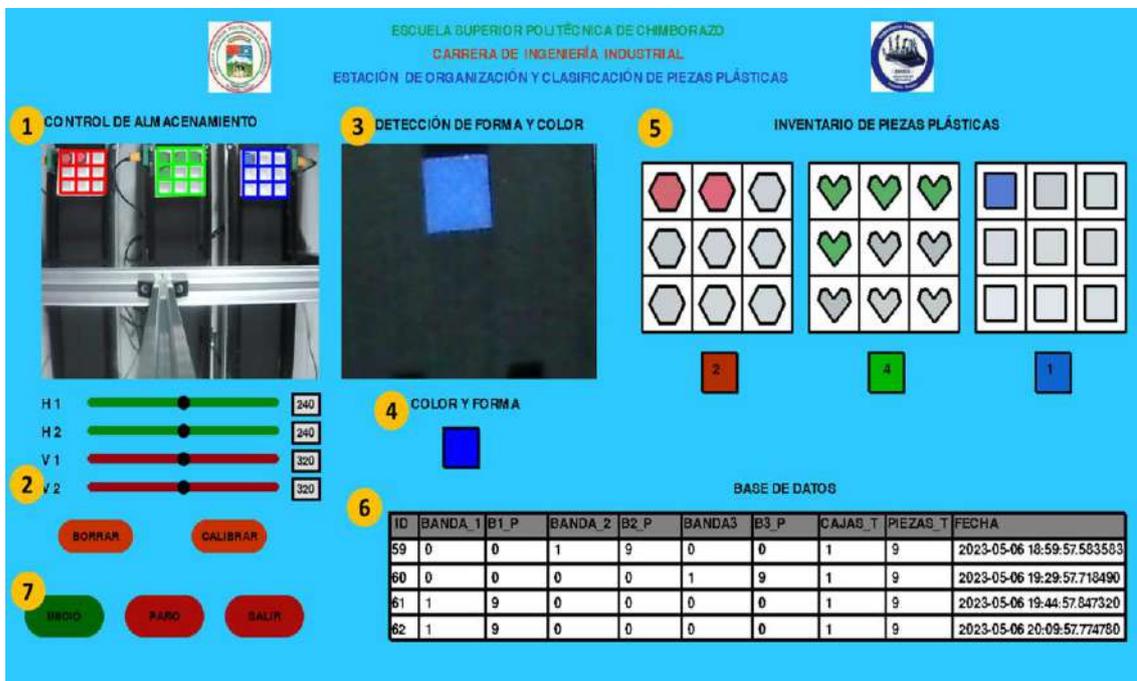
Para ingresar a la interfaz gráfica se da un clic en **Run**.



Se presenta el siguiente programa.

3.13. Interfaz Gráfica

La interfaz gráfica cuenta con los siguientes botones y áreas de visualización.



8. Control de almacenamiento: En esta sección es posible visualizar la imagen que es captada por la cámara web ubicada sobre las tres bandas que llevan a las cajas, también se observa cómo se forman los cubículos que son calibrados para cada una de las cajas.

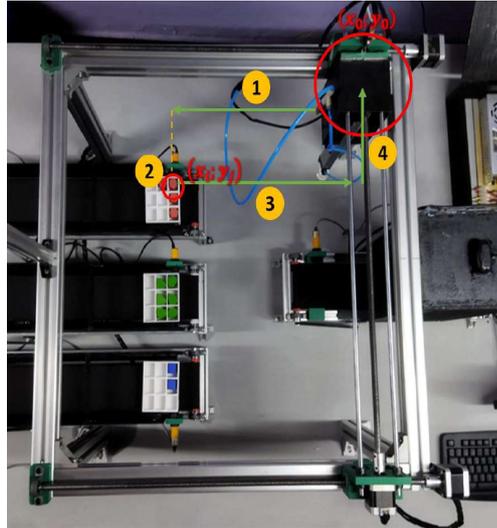
9. Calibración de posición de cajas: Con la ayuda de sliders es posible variar los lados de los rectángulos que coinciden con las cajas sobre las bandas, se puede variar el borde superior con la slider H1, el borde inferior con H2, el borde izquierdo con V1 y el borde derecho con V2. Una vez que se tenga una caja calibrada se da clic en el botón de Calibrar y se procede a

realizar el mismo procedimiento con el siguiente rectángulo. Si se desea eliminar toda la calibración y volver a empezar se da clic en el botón Borrar.

- 10. Detección de forma y color:** Se puede visualizar en este recuadro el tipo de pieza que se encuentra sobre la banda principal, para tomar una captura y luego se analiza que color y forma corresponde.
- 11. Color y forma:** Si es una de las piezas que son almacenadas se indica el gráfico de la forma y color de la pieza que es identificada en la banda principal, si es un falso positivo no se indica un gráfico.
- 12. Inventario de piezas plásticas:** En esta sección se indica por medio de Ilustración s los espacios que son ocupados en los cubículos de las cajas con su forma y color respectivo para cada banda. También se indica el conteo de las piezas almacenadas en los cubículos.
- 13. Base de datos:** Se visualiza la base de datos creada con el ID de cada registro, las cajas almacenadas que han sido almacenadas en cada banda y el total de las tres bandas, las piezas plásticas que han sido puestas en cada caja y su total y la fecha y hora en la que ha finalizado la jornada de trabajo de la caja, es decir cuando se genera el registro.
- 14. Botones de control:** Se cuenta con tres botones de control, el botón de Inicio que arrana el funcionamiento del prototipo, Paro para detener a todo el proceso y Salir que cierra a la interfaz gráfica.

3.14. Trayectoria del eje Axial desde el punto inicial hasta los cubículos

El eje axial parte de las coordenadas (0,0) identificadas por los finales de carrera que se encuentran ubicados tanto en el eje X y Y, posteriormente cuando se realiza la detección de forma y color el actuador se dirige hasta el centro de la banda principal y regresa al punto (0,0). En este momento debe de recorrer al punto (x_i, y_j) , la ventosa suelta a la pieza plástica y se produce un cambio de giro en los motores PaP del eje Y hasta llegar al final de carrera de este eje, al final para volver al punto inicial se invierte el giro del motor PaP del eje X hasta finalmente activar el final de carrera del eje X.



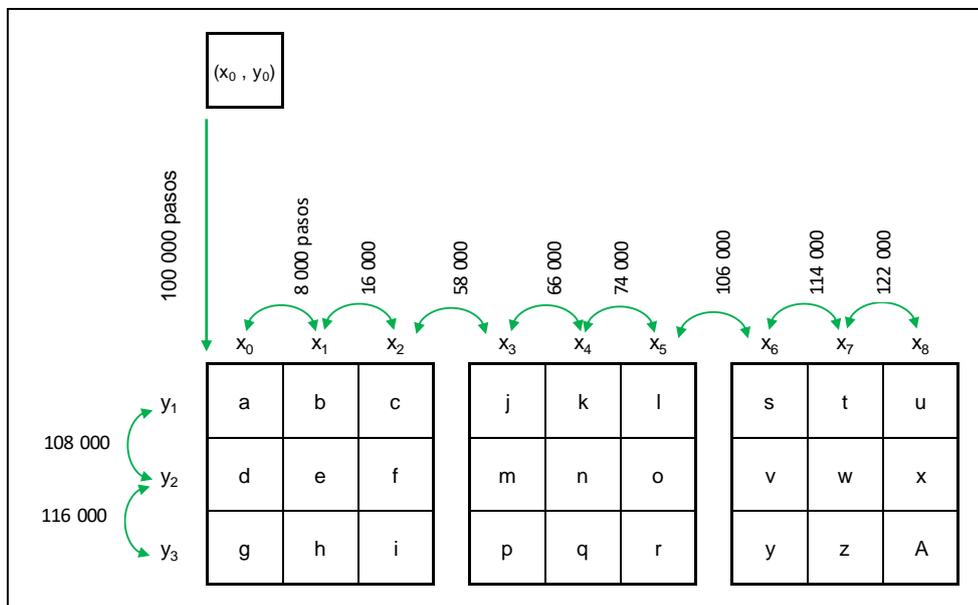
3.15. Coordenadas de pasos para los cubículos

Se parte de las coordenadas x_0, y_0 , hasta llegar al primer cubículo en las Para llegar a la coordenada (x_0, y_1) se debe de recorrer 100 000 pasos en el eje Y, mientras que las coordenadas de X se mantienen en 0, dentro de la primera caja entre cada cubículo se recorren 8 000 pasos para X y Y.

El modelo matemático (3) para los espacios que se encuentran dentro de las cajas está dado por la ecuación:

$$(x_i, y_j) = (x_{i-1} + 8\,000 ; y_{i-1} + 8\,000) \quad (3)$$

Donde $i = 0,1,2,3 \dots$



3.16. Inicio de la Estación

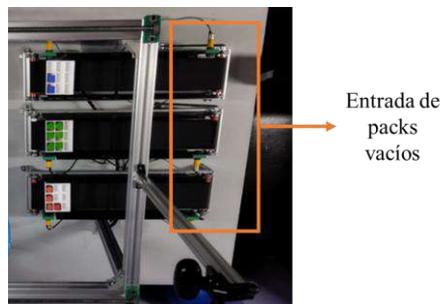
Una vez conectada la fuente que da energía a la estación, se da un clic en la interfaz gráfica sobre el botón de Inicio.



De esta forma se activa los motores y controladores de la estación y empiezan a trabajar las bandas transportadoras.

3.17. Entrada de Packs

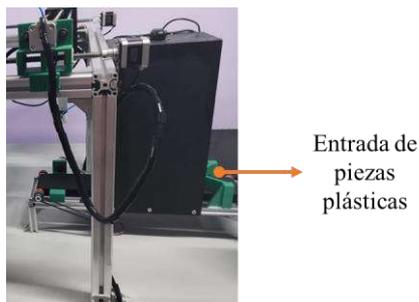
Los packs son colocados antes de iniciar el programa en las bandas transportadoras, al encender la estación empiezas a trabajar los sensores y al detectar que se encuentra en su lugar los packs estos avanzan hacia el punto donde las piezas van a ser almacenadas.



Se debe tomar en cuenta que al despachar un pack que ha sido llenado por completo este regresa al punto de entrada de packs, se lo debe de retirar y reemplazarlo por un pack vacío.

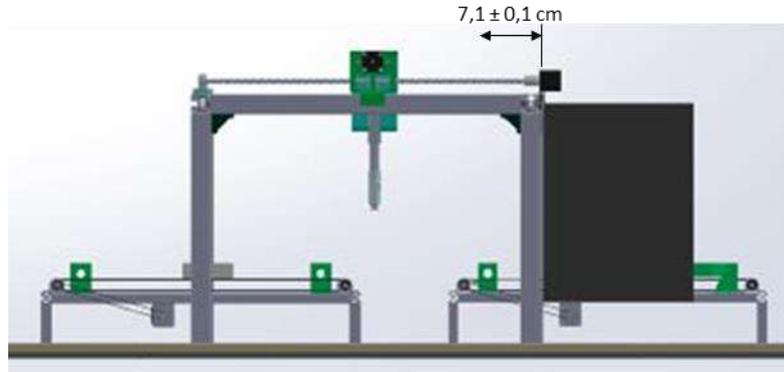
3.18. Entrada de Piezas Plásticas

Cuando se encuentren los tres packs en su lugar la banda principal empieza a funcionar y se debe colocar una pieza en la entrada de la banda para que pueda ser reconocida y posteriormente almacenada.



Recomendaciones

- Verificar que los motores del eje Y se encuentren alineados y nivelados con la ayuda de un calibrador medir la distancia desde el soporte del motor hacia el carro de movimiento del eje Y.



- Lubricar los tornillos sin fin de la estación con aceite lubricante.
- Comprobar que la estación no se encuentre desnivelada con la ayuda de un nivel.

ANEXO B: PLANOS DEL PROTOTIPO

