



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

**IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT ANTROPOMÓRFICO PARA LA
CLASIFICACIÓN DE OBJETOS MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingenieros en
Electromecánica.

Autores:

Balseca Salazar Juan José

Chusin Lema Bryan Nicolás

Tutor Académico:

Ing. MSc. Corrales Bastidas Byron Paúl

LATACUNGA – ECUADOR

2022 – 2023

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Juan José Balseca Salazar y Bryan Nicolás Chusin Lema, declaramos ser autores de la siguiente Propuesta Tecnológica: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT ANTROPOMÓRFICO PARA LA CLASIFICACIÓN DE OBJETOS MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL”**, siendo el Ing. MSc. Byron Paúl Corrales Bastidas el tutor del presente trabajo y exime expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimiento y resultados vertidos en la siguiente Propuesta Tecnológica, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, febrero 2023

.....

Juan José Balseca Salazar

C.C. 172682185-1

.....

Bryan Nicolás Chusin Lema

C.C. 172390085-6

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de tutor de la Propuesta Tecnológica sobre el Título:

“IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT ANTROPOMÓRFICO PARA LA CLASIFICACIÓN DE OBJETOS MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL” de Juan José Balseca Salazar y Bryan Nicolás Chusin Lema, estudiantes de la Carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho informe investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aporte Científicos – Técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, febrero 2023

Tutor:

.....

Ing. MSc. Byron Paúl Corrales Bastidas

C.C. 050234776-8

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe Tecnológico de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi y por la FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS; por cuanto, los postulantes: Juan José Balseca Salazar y Bryan Nicolás Chusin Lema con el Título de Proyecto de Titulación: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT ANTROPOMÓRFICO PARA LA CLASIFICACIÓN DE OBJETOS MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustanciación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, febrero 2023

Para constancia firma:

.....

Lector 1

MSc. Luigi Orlando Freire Martínez

C.C. 050252958-9

.....

Lector 2

MSc. Edwin Homero Moreano Martínez

C.C. 050260750-0

.....

Lector 3

MSc. Jefferson Alberto Porras Reyes

C.C. 070440044-9

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por darme la sabiduría para conllevar mis aprendizajes y siempre bendecirme a cada paso que he dado en mi formación como profesional, agradecer también a mi padre y a mi madre que siempre fueron mi motor para no desmayar y poder conseguir mi meta, no pueden quedar fuera mis hermanos y sobrinos que siempre con una palabra de aliento estaban ahí para que yo siga adelante.

También agradezco a la Universidad Técnica de Cotopaxi, a mis docentes y a mi tutor de tesis por abrirme las puertas y formar parte de tan prestigiosa Institución, por brindarme la oportunidad de compartir los conocimientos necesarios para realizar esta propuesta tecnológica.

Adicionalmente, a mi compañero de Tesis Nicolás Chusin quien me apoyó como compañero y amigo en esta etapa de mi vida.

Juan José

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mis viejitos lindos que partieron al cielo Segundo Salazar y Lucinda Ortíz, a mi Padre Gerardo Balseca, a mi Madre Marlene Salazar, a mis hermanos Fernando y Alexander y a mis sobrinos Mathias y Camila quienes me enseñaron a no rendirme y siempre conseguir mis metas buscando mi felicidad a futuro.

Gracias por todo el apoyo incondicional en todo momento, por inculcarme valores para cumplir mis objetivos planeados y por la oportunidad de crecer profesionalmente les dedico este triunfo y me siento muy feliz de compartirlo con ustedes.

Juan José

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres por guiarme con responsabilidad, esfuerzo y cariño hasta este punto de mi vida, que una meta más es otro orgullo que les puedo brindar, que un consejo de mi padre nunca estuvo demás y un abrazo de mi madre era un empujón en este camino llamado vida.

A mis hermanos por haberme dado todo su apoyo y ser un eje importante en mi vida, que con sus risas y afecto siempre me sentí en casa, que gracias a ellos entendí el valor de la lealtad y la confianza.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi por abrirme las puertas y que con sus docentes formarme como un profesional y una persona de bien y así aportar e impartir conocimiento a la sociedad.

A mis amigos Juan Balseca, Yesenia Escobar, Yandry Barragán, Evelyn Chicaiza y Omar Paredes por apoyarnos entre todos, por estar en las buenas, en las malas y en las peores, porque más que amigos fueron mi segunda familia, aunque estamos en diferentes etapas de este camino nunca dejamos de avanzar para llegar al mismo objetivo.

Bryan Nicolás

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de titulación.

A mi madre Irene Margoth Lema Herrera que con su esfuerzo, cariño y amor llegamos juntos a lograr este objetivo, que un consejo nunca hizo falta, más que mi madre es mi amiga y confidente, ella es el motor de mi vida, y le estaré eternamente agradecido.

A mi padre Luis Guillermo Oña Quinga que con su sabiduría me enseñó desde muy pequeño hacer bien las cosas, a ser responsable, correcto, honesto y valiente, más que un buen padre es un gran maestro no solo en lo académico sino también de la vida, gracias, mamá y papá que supieron guiar mi camino e hicieron de mí una buena persona y un gran profesional.

A mis hermanos Naomi, Sophia e Ethan Oña para que puedan tener un guía más en su camino y que con dedicación, amor y esfuerzo sepan que pueden llegar muy lejos, los amo a todos.

Bryan Nicolás

ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	2
1.2.	EL PROBLEMA.....	2
1.2.1.	Planteamiento del problema.....	2
1.2.2.	Formulación del problema.....	3
1.2.3.	Matriz Causa – Efecto.....	4
1.3.	BENEFICIARIOS	4
1.4.	JUSTIFICACIÓN	4
1.5.	HIPÓTESIS	5
1.6.	OBJETIVOS	5
1.6.1.	Objetivo General.....	5
1.6.2.	Objetivos Específicos	5
1.7.	SISTEMA DE TAREAS	6
2.	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7
2.1.	ANTECEDENTES	7
2.2.	REVOLUCIÓN INDUSTRIAL O LA INDUSTRIA.....	8
2.3.	LA INDUSTRIA 4.0.....	9
2.3.1.	Robótica.....	9
2.3.2.	El robot	9
2.3.3.	Tipos de robot.....	10
2.4.	EL ROBOT ANTROPOMÓRFICO	11
2.4.1.	Partes del robot	11
2.4.2.	Análisis mecánico del robot antropomórfico.....	12
2.4.3.	Análisis eléctrico del robot antropomórfico	14
2.5.	VISIÓN ARTIFICIAL.....	15
2.5.1.	Sistema de visión artificial.....	15
2.5.2.	Funcionamiento de un sistema de visión artificial.....	16
2.5.3.	Aplicaciones de la visión artificial en industrias	16
2.6.	COMUNICACIÓN Y SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN.....	17
2.6.1.	Python	17
2.6.2.	Arduino UNO	18
2.6.3.	Comunicación serial Arduino a Python.....	19
3.	DESARROLLO DE LA PROPUESTA	20
3.1.	METODOLOGÍA.....	20
3.1.1.	Tipos de investigación	20

3.1.2.	Métodos de investigación	20
3.1.3.	Técnicas de investigación	21
3.1.4.	Instrumento de recolección de datos.....	21
3.2.	DECLARACIÓN DE VARIABLES	22
3.2.1.	Variable Dependiente	22
3.2.2.	Variable Independiente	22
3.2.3.	Operaciones de las variables.....	22
3.3.	DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO DIDÁCTICO	22
3.4.	ESTUDIO DE MERCADO	23
3.4.1.	Material para la estructura	23
3.4.2.	Elementos electromecánicos.....	24
3.4.3.	Componentes para el control de dispositivos electromecánicos.....	25
3.4.4.	Dispositivo para visión artificial.....	25
3.4.5.	Procesamiento de datos.....	26
3.5.	ENSAMBLE Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA	27
3.5.1.	Imprimir las piezas que conforman la estructura.....	28
3.5.2.	Ensamble de la estructura	29
3.5.3.	Conexiones del sistema de control.....	30
3.5.4.	Programación del robot antropomórfico y del sistema de visión artificial.....	32
3.6.	CONTROL DEL ROBOT MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL.....	37
3.7.	PRECISIÓN DEL ROBOT EN EL TRABAJO SECUENCIAL	37
3.7.3.	Muestreo Probabilístico	37
3.7.4.	Error Relativo	37
3.7.5.	Matriz de confusión	38
4.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	39
4.1.	ESTRUCTURA DEL ROBOT ANTROPOMÓRFICO.....	39
4.2.	RECONOCIMIENTO MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL.....	40
4.3.	DIAGRAMAS DE FLUJO	41
4.3.1.	Diagrama de flujo de posiciones en Arduino UNO.....	41
4.3.2.	Diagrama de flujo de Python para el reconocimiento de color.....	42
4.3.3.	Diagrama de flujo de Python para el reconocimiento de forma	42
4.4.	PRUEBAS CON VISIÓN ARTIFICIAL	42
4.5.	CONFIABILIDAD	45
4.5.1.	Matriz de confusión	47
4.6.	INTERACCIÓN USUARIO – ROBOT	47

4.7.	PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTO	48
4.7.1.	Presupuesto	48
4.7.2.	Análisis de Impacto	49
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	50
5.1.	CONCLUSIONES	50
5.2.	RECOMENDACIONES.....	51
6.	BIBLIOGRAFÍA	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Matriz Causa efecto.....	4
Figura 2.1. Polar	10
Figura 2.2. Cilíndrico.....	10
Figura 2.3. Cartesiano.....	10
Figura 2.4. SCARA.	11
Figura 2.5. Antropomórfico.....	11
Figura 2.6. Piezas del robot antropomórfico	11
Figura 2.7. Límite plástico y elástico de un material.....	13
Figura 2.8. Esquema cinemático del robot.	13
Figura 2.9. Interfaz de código de Arduino.....	18
Figura 2.10. Comunicación serial Python-Arduino.....	19
Figura 3.1. Diagrama arquitectónico del módulo didáctico.	23
Figura 3.2. Preparación de la pieza a imprimir.....	28
Figura 3.3. Ejecución de impresión 3D.	28
Figura 3.4. Ejemplos de resolución de archivos STL.....	29
Figura 3.5. Armado total del robot antropomórfico	29
Figura 3.6. Conexión del Sistema.....	30
Figura 3.7. Módulo Completo del Robot Antropomórfico.....	31
Figura 3.8. Interfaz de Control	31
Figura 3.9. Ejemplo de código de control de servomotor	32
Figura 3.10. Ejemplo de código de control de motor a pasos	33
Figura 3.11. Ejemplo de código para capturar video en tiempo real.....	35
Figura 3.12. Ejemplo de Comunicación Serial entre Arduino y Python	36
Figura 3.13. Matriz de confusión.....	38
Figura 4.1. Interfaz Principal.....	40
Figura 4.2. Selecciona de objeto deseado.....	41
Figura 4.3. Objeto Clasificado por el Robot.....	41
Figura 4.4. Identificación de la figura cuadrada.	43
Figura 4.5. Objeto Cuadrado atrapado.....	43
Figura 4.6. Identificación de la figura rectangular.	43
Figura 4.7. Objeto Rectangular atrapado.....	43
Figura 4.8. Identificación de la figura triangular.	43
Figura 4.9. Objeto Triangular atrapado.	43
Figura 4.10. Identificación de la figura circular.	43

Figura 4.11. Objeto Circular atrapado.	43
Figura 4.12. Identificación del color Rojo.....	44
Figura 4.13. Objeto Rojo atrapado.	44
Figura 4.14. Identificación del color Verde.....	44
Figura 4.15. Objeto Verde atrapado.	44
Figura 4.16. Identificación del color Amarillo.	44
Figura 4.17. Objeto Amarillo atrapado.....	44
Figura 4.18. Identificación del color Azul.....	44
Figura 4.19. Objeto Azul atrapado.	44
Figura 4.20. Los resultados de precisión obtenidos por el robot antropomórfico.	45
Figura 4.21. Resultados de exactitud de la visión artificial.....	46
Figura 4.22. Resultados de exactitud del Robot Antropomórfico con Visión Artificial.	46
Figura 4.23. Posicionamiento de la pieza en la banda transportadora.....	47
Figura 4.24. Color rojo identificado por la cámara del módulo.	48
Figura 4.25. El robot comandado a clasificar el color rojo seleccionado.....	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Sistemas de tareas por objetivo específico	6
Tabla 2.1. Clasificación de los robots industriales	10
Tabla 3.1. Variable dependiente.	22
Tabla 3.2. Variable independiente.....	22
Tabla 3.3. Selección del tipo de filamento	23
Tabla 3.4. Selección del tipo de motor a pasos	24
Tabla 3.5. Selección del tipo de servomotor	24
Tabla 3.6. Selección del tipo de tarjeta para servomotor y motor a pasos.	25
Tabla 3.7. Selección de la cámara.	25
Tabla 3.8. Selección del dispositivo para recolección de datos.....	26
Tabla 3.9. Inventario de los elementos y explicación de su operatividad en el sistema.....	26
Tabla 3.10. Detalle de impresión de piezas del robot.....	28
Tabla 4.1. Factor de seguridad.....	39
Tabla 4.2. Momento torsor.	39
Tabla 4.3. Grados de libertad.....	40
Tabla 4.4. Selección de Formas.....	43
Tabla 4.5. Selección de Colores.	44
Tabla 4.6. Porcentaje de precisión del movimiento del robot	45
Tabla 4.7. Porcentaje de precisión en el reconocimiento mediante visión artificial	46
Tabla 4.8. Porcentaje de precisión del Robot Antropomórfico con Visión Artificial	46
Tabla 4.9. Matriz de confusión.....	47
Tabla 4.10. Entrenamiento Usuario - Robot.....	47
Tabla 4.11. Presupuesto total.....	48

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TEMA: “IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT ANTROPOMÓRFICO PARA LA CLASIFICACIÓN DE OBJETOS MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL”

Autores: Balseca Salazar Juan José

Chusin Lema Bryan Nicolas

RESUMEN

La presente propuesta tecnológica se enfoca en la implementación de la industria 4.0, es decir, controlar un robot antropomórfico mediante visión artificial para clasificar objetos. Se evidenció que existe una escasa parametrización para controlar servomotores y motores a pasos, motivo por el cual esta propuesta tecnológica tiene como objetivo crear un sistema robótico que utilice visión artificial para la identificación y selección de objetos en entornos industriales, con la finalidad de mejorar su precisión y confiabilidad en cualquier proceso, realizando pruebas de ensayo y error para verificar su funcionamiento.

El módulo consta de 2 partes, la estructura del robot se encuentra impresa en 3D, la base de madera y el soporte de la cámara es de aluminio, en cuanto a la circuitería se utilizó una placa Arduino UNO para el control de los servomotores y motor a pasos, una tarjeta Raspberry para el procesamiento de datos y en cuanto al código para la visión artificial la cual se desarrolla en Python, para el reconocimiento de objetos se utiliza una cámara web de 720 p la cual es más que suficiente para el proyecto, adicional a ello se aplica una ficha de observación para conocer cuáles son las características del comportamiento y uso del robot, también se plantea una matriz de confusión para conocer la confiabilidad y precisión del robot antropomórfico. Tras realizar 200 ensayos secuenciales, se encontró que el 14% (28 secuencias) fue incorrecto, mientras que el 86% (172 secuencias) fue correcto. El reconocimiento de objetos con visión artificial tuvo un 3.5% de pruebas fallidas y un 96.5% de pruebas exitosas (193 aciertos).

Palabras clave: Electromecánico, Robot Antropomórfico, Visión Artificial, Clasificación de Objetos y Sistema.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

TOPIC: "IMPLEMENTATION OF AN ANTHROPOMORPHIC ROBOT FOR OBJECT CLASSIFICATION USING ARTIFICIAL VISION"

Authors: Balseca Salazar Juan José
Chusin Lema Bryan Nicolas

ABSTRACT

This technological proposal focuses on the implementation of Industry 4.0, that is, to control an anthropomorphic robot by means of artificial vision to classify objects. It was evidenced that there is a scarce parameterization to control servomotors and stepper motors, which is why this technological proposal aims to create a robotic system that uses artificial vision for the identification and selection of objects in industrial environments, to improve its accuracy and reliability in any process, performing trial and error tests to verify its operation.

The module consists of 2 parts, the structure of the robot is printed in 3D, the wooden base and the camera support is made of aluminum, as for the circuitry an Arduino UNO board was used to control the servo motors and stepper motor, a Raspberry card for data processing and as for the code for machine vision which is developed in Python, for object recognition a 720p webcam is used, which is more than enough for the project, in addition to this an observation sheet is applied to know what are the characteristics of the behavior and use of the robot, also a confusion matrix is proposed to know the reliability and accuracy of the anthropomorphic robot. After performing 200 sequential trials, it was found that 14% (28 sequences) were incorrect, while 86% (172 sequences) were correct. Object recognition with computer vision had 3.5% of failed trials and 96.5% of successful trials (193 hits).

Keywords: Electromechanical, Anthropomorphic Robot, Machine Vision, Object Classification and System.

INFORMACIÓN GENERAL

Título: “Implementación de un robot antropomórfico para la clasificación de objetos mediante visión artificial.”

Fecha de inicio: 11 de octubre del 2022

Fecha de finalización: 3 de febrero del 2023

Lugar de ejecución: El proyecto se desarrolla en el Laboratorio de Investigación, Automatización y Control de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, campus Matriz, en la Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga, Parroquia Eloy Alfaro.

Facultad que auspicia: Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas (CIYA)

Carrera que auspicia: Carrera de Ingeniería Electromecánica

Equipo de trabajo:

Tutor:

Nombres y apellidos: Byron Paúl Corrales Bastidas

Cédula: 0502347768

Correo institucional: byron.corrales@utc.edu.ec

Ponente 1:

Nombres y apellidos: Juan José Balseca Salazar

Cédula: 1726821851

Correo institucional: juan.balseca1851@utc.edu.ec

Ponente 2:

Nombres y apellidos: Bryan Nicolás Chusin Lema

Cédula: 1723900856

Correo institucional: bryan.chusin0856@utc.edu.ec

Área de conocimiento:

Se toma como referencia a la norma UNESCO: 07 ingeniería, industrial y construcción / 071 Ingeniería y Profesiones Afines / 0714 Electrónica y automatización.

Línea de investigación:

Procesos industriales

Sub líneas de investigación: Automatización, control y protección de sistemas electromecánicos.

Proyecto: Revolución 4.0.

1. INTRODUCCIÓN

La implementación de un robot antropomórfico con visión artificial para la identificación y clasificación de objetos es un desafío en la robótica actual. Este tipo de robots son capaces de imitar la forma y el movimiento humano, lo que les permite interactuar con el entorno de manera más natural y eficiente.

Para diseñar un robot antropomórfico, es necesario tener en cuenta aspectos como la mecánica, la electrónica y el software. En cuanto al diseño en 3D, se puede utilizar un software de modelado para crear una representación tridimensional del robot, incluyendo sus componentes mecánicos, como servomotores, sensores y cámaras.

Una vez que se tiene el diseño del robot, es necesario programarlo para que pueda realizar tareas específicas utilizando visión artificial, para ello, se pueden manejar lenguajes de programación como Python y Arduino. En cuanto a la programación en Python, se pueden utilizar librerías especializadas en visión artificial, como OpenCV, para realizar tareas como el procesamiento de imágenes y el aprendizaje automático. Con estas librerías, se pueden crear algoritmos que permitan al robot detectar y reconocer objetos en su entorno.

Por otro lado, para controlar los componentes mecánicos del robot, como los servomotores, se puede utilizar Arduino. Este es un lenguaje de programación basado en C++, que se utiliza para controlar dispositivos electrónicos, se pueden crear programas que permitan al robot moverse y actuar de manera autónoma.

Finalmente, para la verificación del buen funcionamiento del robot, por medio de la técnica e instrumento de investigación se logró validar los resultados para medir el tiempo de respuesta del robot, la precisión de sus acciones y su capacidad para completar tareas.

1.2. EL PROBLEMA

1.2.1. Planteamiento del problema

La deficiente clasificación de objetos en entornos industriales como el sector alimenticio o agroquímico, debido a que existe una limitación de los robots tradicionales en la percepción y manipulación de objetos, la cual se da por la falta de capacidad de los robots para imitar la habilidad humana de reconocimiento visual y la falta de flexibilidad en la adaptación a diferentes tipos de objetos. El propósito de esta propuesta tecnológica es desarrollar un robot

antropomórfico con visión artificial capaz de clasificar objetos de manera eficiente, superando las limitaciones actuales y mejorando la productividad en los diferentes entornos industriales, se hace énfasis en que existe un desconocimiento en el control de servomotores y motores paso a paso en robots antropomórficos, debido a la complejidad en el manejo de estos dispositivos.

En la actualidad no existen diversos modelos de robots a nivel nacional, porque dentro del mercado comercial son muy costosos para adquirirlos, motivo por el cual las industrias optan por utilizar maquinaria convencional excluyéndose así de la industria 4.0. Por esta razón la Facultad de Ciencias de Ingeniería y Aplicadas (CIYA) de la Universidad Técnica de Cotopaxi propone una mejora al robot antropomórfico tradicional, como la inserción de visión artificial para la clasificación de objetos.

Un enfoque para abordar esta problemática es el uso de robots antropomórficos equipados con visión artificial, su ventaja es que tienen una estructura física similar a la humana, lo que permite adaptarse mejor a entornos diseñados para el uso humano y realizar tareas que requieren habilidades cognitivas similares a las humanas, como la identificación y clasificación de objetos.

El uso de robots en entornos industriales ha sido una herramienta clave para mejorar la eficiencia y productividad en diversas tareas. Sin embargo, los avances tecnológicos en el campo de la robótica presentan limitaciones en cuanto a la capacidad de los robots para imitar la facultad humana en el reconocimiento visual y la flexibilidad en la adaptación a diferentes tipos de objetos.

1.2.2. Formulación del problema

Deficiente parametrización para el manejo de servomotores y motores paso a paso aplicado a robots antropomórficos controlados mediante el empleo de visión artificial en aplicaciones de clasificación de objetos.

1.2.3. Matriz Causa – Efecto

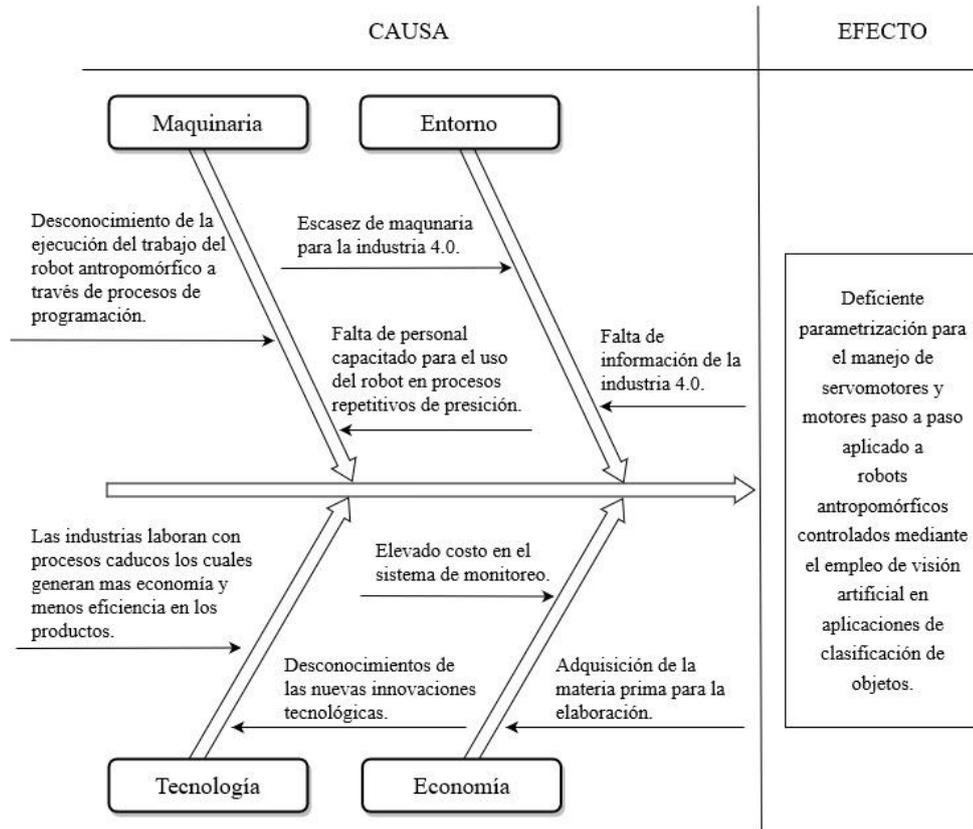


Figura 1.1. Matriz Causa efecto.

1.3. BENEFICIARIOS

- Beneficiarios directos

Los estudiantes de la Facultad de CIYA de la Universidad Técnica de Cotopaxi

- Beneficiarios indirectos

Toda la comunidad científica

1.4. JUSTIFICACIÓN

La presente propuesta tecnológica tiene la finalidad de implementar tecnología de la industria 4.0 a las máquinas industriales tradicionales con el fin de mejorar su eficiencia y precisión al realizar los trabajos requeridos, cabe recalcar que mediante esta tecnología se facilita el trabajo en áreas específicas en las que se necesita mayor precisión y alta eficiencia sin la intervención del ser humano dado que mediante la visión artificial no hace falta la presencia de cualquier operador.

Por otro lado, quienes se benefician de este proyecto son los estudiantes de la facultad de CIYA de la universidad técnica de Cotopaxi y personas externas quienes necesiten alguna referencia

sobre el proyecto o quienes hagan uso de este prototipo, por lo cual se debe hacer énfasis en la implementación de un sistema de visión artificial a sistemas tradicionales.

La puesta en marcha de este proyecto es de suma importancia, ya que permite evidenciar la deficiente parametrización en el manejo del robot antropomórfico mediante la visión artificial para clasificar objetos, recalcando que dicha actividad mejora la realización de trabajos en áreas donde se requiera mucha precisión, por ello se hace énfasis en que este proyecto es viable dentro de la innovación tecnológica o industrial.

Adicional a ello, en lo que concierne a su ensamble y funcionamiento no hace falta invertir en equipos costosos, debido a que la identificación y clasificación objetos mediante visión artificial se logra realizar con una tarjeta Raspberry Pi 4 y un módulo Arduino UNO, obteniendo una mejora en la eficiencia de cualquier proceso industrial.

Finalmente, la metodología que se empleó para lograr cumplir el objetivo propuesto es aplicar una ficha de observación y una matriz de confusión, mismas que son aplicadas al prototipo obteniendo como resultados datos de precisión y funcionalidad previos a un análisis y con ellos ofrecer una solución a los sistemas tradicionales.

1.5. HIPÓTESIS

Con la implementación de un robot antropomórfico permitirá la clasificación de objetos mediante la visión artificial.

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. Objetivo General

Implementar un prototipo de robot antropomórfico que utilice tecnología de visión artificial para la clasificación de objetos en cualquier proceso industrial.

1.6.2. Objetivos Específicos

- Analizar los contenidos teóricos y conceptuales en los que se enmarca la Industria 4.0, el robot antropomórfico y la visión artificial.
- Diseñar un sistema de clasificación de objetos utilizando visión artificial e implementarlo en el robot antropomórfico diseñado previamente.
- Realizar pruebas del funcionamiento del robot registrando los datos y conocer el valor de confiabilidad.

1.7. SISTEMA DE TAREAS**Tabla 1.1.** Sistemas de tareas por objetivo específico

Objetivos Específicos	Actividades (tareas)	Resultados Esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Analizar los contenidos teóricos y conceptuales en los que se enmarca la industria 4.0, el robot antropomórfico y la visión artificial.	-Investigación, recolección, análisis, síntesis y argumentación de los conceptos teóricos.	Elaboración del marco teórico de la industria 4.0, el robot antropomórfico y la visión artificial.	Investigación bibliográfica
Diseñar un sistema de clasificación de objetos utilizando visión artificial e implementarlo en el robot antropomórfico diseñado previamente.	-Ensamblaje del prototipo del robot antropomórfico. - Programación en Python para el procesamiento de datos y en Arduino para el control de los servomotores y los motores paso a paso.	Elaboración de pruebas del funcionamiento del robot mediante la visión artificial para la clasificación de objetos.	Observación, método deductivo y Software de programación (Python y Arduino)
Realizar pruebas del funcionamiento del robot registrando los datos y conocer el valor de confiabilidad.	- Realizar pruebas del reconocimiento de objetos y el movimiento del robot antropomórfico.	Verificación del funcionamiento del Robot Antropomórfico con visión artificial.	Ficha de observación y tablas de registros cuantitativos.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. ANTECEDENTES

Martín Guillermo realizó una investigación la cual tiene como finalidad crear un prototipo de brazo robótico controlado por un microcontrolador Arduino, el objetivo de este brazo es extraer piezas de una impresora 3D.

Los resultados obtenidos cumplen su función correctamente, ya que extrae las piezas de impresoras 3D siempre y cuando sea dentro de especificaciones marcadas al inicio y logrando así una programación eficaz del Arduino, para obtener una correlación entre el modelo digital y el prototipo fabricado [1].

Idrovo y Valencia realizaron una investigación la cual tiene como objetivo diseñar e implementar un sistema de reconocimiento y manipulación de frutas utilizando visión artificial y brazo robótico enfocado a la industria de alimentos.

Finalmente, los resultados obtenidos cumplen adecuadamente en trabajo de empaquetamiento de frutas, por cada fruta realiza un tiempo de 4 segundos, optimizando de esta forma el proceso. En la parte de visión artificial desarrollaron una aplicación siendo capaz de realizar un reconocimiento en tiempo real extrayendo la posición y orientación de las frutas adaptando la información a la cinemática del robot [2].

Puca y Rosado llevaron a cabo una investigación que tenía como finalidad desarrollar un sistema de visión por computadora para detectar y clasificar empaques por colores, que plantea como objetivo “Diseñar un sistema de visión por computadora encargado de la detección de colores para la clasificación de empaques”.

A modo de conclusión este prototipo de robot en su implementación logra integrar un sistema propio que se utiliza mediante visión artificial, se mantiene funcional un prototipo a escala y logra incluir bases de datos en proyectos automatizados y su ejecución logra un crecimiento económico de empresas [3].

Suárez, Gómez, Gallego y Ramírez realizaron una investigación que tienen como objetivo realizar una comunicación serial entre Python y Arduino, mediante el uso de los lenguajes de programación Java y Python. Este sistema de integración permite transmitir y receptar datos por medio del software Python, con el fin de realizar el movimiento del brazo robótico por un Arduino.

Por último, los resultados obtenidos son la comunicación serial entre Python y Arduino ejecutadas en el encendido de leds y el manejo de servomotores [4].

2.2. REVOLUCIÓN INDUSTRIAL O LA INDUSTRIA

La Revolución Industrial fue un proceso que tuvo lugar en Europa a partir de mediados del siglo XVIII, caracterizado por cambios significativos en los ámbitos económico, social y tecnológico, la cual se originó en Inglaterra. Se ha sugerido que la economía prerrevolucionaria se basaba en el mundo de la agricultura y la artesanía, pero se necesitaban herramientas para desarrollar la producción, logrando así cuatro eras hasta la actualidad:

La primera revolución industrial o la Industria 1.0.

Los avances y el uso de nuevos materiales como el acero y el carbón dieron paso al desarrollo del vapor, la hilatura y los telares. Además, se desplegaron los barcos y el transporte marítimo para crear nuevos puestos de trabajo y la influencia del capital cambió, dando lugar al famoso éxodo rural, en el que las ciudades pasaban de vivir al campo [5].

La Segunda Revolución Industrial o la Industria 2.0

Entre 1870 y 1914 hubo una expansión espectacular de la industrialización en más países como Estados Unidos y Japón, lo que cambió la naturaleza y el crecimiento económico. El desarrollo tecnológico en energías, materiales, sistemas de transporte y comunicaciones generó cambios que afectaron los sistemas laborales, educativos y científicos. La forma en que la dirección empresarial organizaba el trabajo cambió, lo que condujo al surgimiento de lo que se considera la primera era de globalización. [6].

La tercera revolución industrial o la Industria 3.0

La era industrial del siglo XX se basó en nuevas tecnologías e innovaciones de la información y la comunicación lideradas por Estados Unidos, Japón y la Unión Europea. La transición a vehículos eléctricos y pilas de combustible ha aumentado la productividad, pero también plantea desafíos en términos de progreso y automatización digital. El progreso requiere enfrentar estos desafíos para convertirlo en realidad. [7].

La Cuarta Revolución Industrial o la Industria 4.0

Se centra en el desarrollo de fábricas inteligentes que buscan aumentar la eficiencia de producción mediante el uso de tecnología avanzada. Se espera que la implementación de

sistemas automatizados y la digitalización de la producción generen nuevas oportunidades laborales y mejoren la competitividad de las empresas en los mercados globales. En este sentido, se espera que los nuevos avances generen ocupaciones enfocadas en el análisis de datos relacionados con la producción, el desarrollo de tecnología, las capacidades digitales o el comercio dedicado a nuevos productos. Además, en el ámbito de la gestión, se espera que la creatividad y la generación de nuevas ideas y productos sean clave para anticipar un mercado en constante evolución. [8].

2.3. LA INDUSTRIA 4.0

La industria 4.0 representa una evolución en la forma en que las empresas realizan sus operaciones, impulsada por el uso de tecnologías avanzadas, como el Internet de las cosas, la inteligencia artificial y la robótica. Este cambio se ha denominado la Cuarta Revolución Industrial y se originó principalmente en Alemania y Estados Unidos. Haciendo la industria más eficiente. Por ello, Internet, la inteligencia artificial, la realidad virtual y el análisis de datos masivos se visualizan como las herramientas desarrolladas hoy que nos permiten establecer nuevos paradigmas hacia una visión más global y expansiva de los procesos automatizados [8].

2.3.1. Robótica

La robótica en la Industria 4.0 ha creado un amplio y apasionante campo multidisciplinar que busca digitalizar el sector industrial, a través de un alto grado de integración y conectividad entre los medios de producción y la fluidez de la comunicación, con el objetivo principal de crear fábricas inteligentes. Para ello, se requiere conectarse a una serie de robots, los cuales brindan un excelente desempeño en los procesos productivos [9].

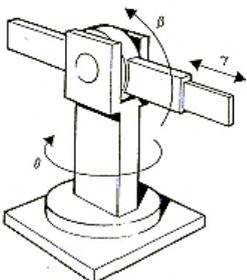
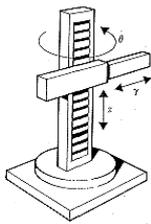
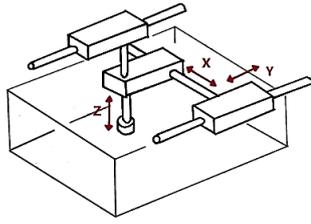
2.3.2. El robot

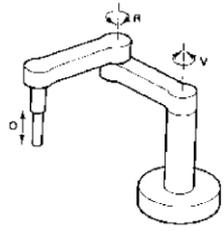
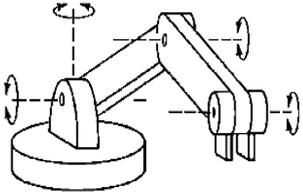
son entidades artificiales que pueden ser mecánicas o virtuales. Por lo general, los robots están compuestos por sistemas electromecánicos que les permiten realizar diversas funciones, como moverse, manipular objetos, controlar brazos robóticos y mostrar comportamientos inteligentes. Aunque no existe un consenso universal acerca de qué máquinas pueden ser consideradas robots, los expertos sugieren que las máquinas robóticas suelen tener la capacidad de realizar algunas o todas estas tareas: movimiento, control de brazos robóticos, percepción táctil, manipulación del entorno y exposición de conductas inteligentes. [9].

2.3.3. Tipos de robot

La configuración y funcionamiento de un robot están condicionados por las tres primeras articulaciones, las cuales establecen una disposición en los tres ejes principales que definen la posición de la herramienta, sin dejar de lado la importancia de considerar el área y las coordenadas. De acuerdo con estas características, existen diversos tipos de robots fundamentales: polar o esférico, cilíndrico, cartesiano, SCARA y antropomórfico, los cuales se detallan en la tabla 2.1. [10].

Tabla 2.1. Clasificación de los robots industriales

Clasificación del Robot	
<p>Robot esférico o polar</p> <p>La disposición de los ejes de giro en la primera y segunda articulación es contraria, mientras que la tercera es de deslizamiento. Esto permite que el robot realice dos tipos de giros y un movimiento lineal, lo que posibilita su ubicación en el espacio mediante el sistema de coordenadas polares, tal como se evidencia en la Figura 2.1 [10].</p>	 <p>Figura 2.1. Polar</p>
<p>Robot cilíndrico</p> <p>Presenta una articulación en su base que permite el giro en un solo punto y dos movimientos perpendiculares para ubicar con precisión un punto en el espacio. Este sistema de coordenadas cilíndricas, de uso sencillo, resulta muy útil para la tarea. Cabe destacar que el robot se desenvuelve sin inconvenientes en entornos de trabajo sin obstáculos, tal como se ilustra en la Figura 2.2. [10].</p>	 <p>Figura 2.2. Cilíndrico</p>
<p>Robot cartesiano</p> <p>Dispone de tres articulaciones deslizantes, las cuales permiten ubicar con precisión los puntos de trabajo en las coordenadas cartesianas X, Y, Z. Dichos ejes se encuentran en ángulos rectos entre sí, son de alta velocidad, exactitud y fácil manejo, así como también pueden abarcar una gran área de trabajo y soportar una alta capacidad de carga, tal como se evidencia en la Figura 2.3. [10].</p>	 <p>Figura 2.3. Cartesiano.</p>

<p>Robot SCARA</p> <p>Posee un par de juntas rotativas y una junta prismática, siendo su ubicación fijada a través de la coordenada “zeta”, en el plano “equis” y “ye” y la variable “pe”. Su principal cometido radica en el ensamblaje y colocación de elementos electrónicos gracias a su gran nivel de precisión, tal y como se ejemplifica en la ilustración 2.4. [10].</p>	 <p>Figura 2.4. SCARA.</p>
<p>Robot angular o antropomórfico</p> <p>se caracteriza por su diseño antropomórfico que le permite replicar los movimientos de un brazo humano. Su estructura se compone de cuatro ejes, donde el primero representa el torso, el segundo el brazo, el tercero el antebrazo y el cuarto la muñeca. De este modo, su movilidad se basa en tres articulaciones de tipo rotativo, las cuales son controladas por medio de coordenadas angulares, tal y como se exhibe en la figura 2.5. [10].</p>	 <p>Figura 2.5. Antropomórfico.</p>

2.4. EL ROBOT ANTROPOMÓRFICO

Para adquirir una comprensión más sólida de las diversas capacidades y labores que puede ejecutar un robot industrial, resulta de gran relevancia conocer sus diversos componentes, lo cual se puede apreciar en la Figura 2.6.

2.4.1. Partes del robot

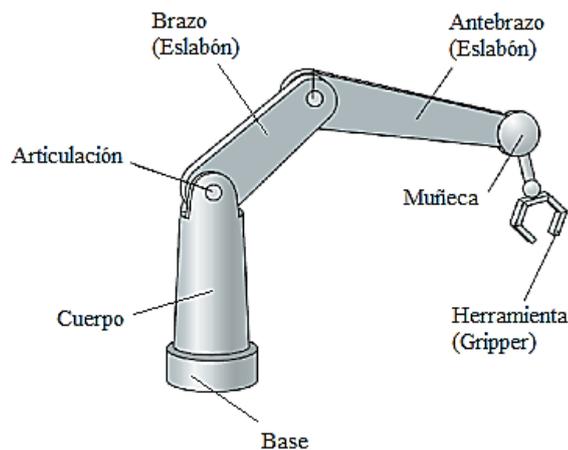


Figura 2.6. Piezas del robot antropomórfico

A continuación, se describen las partes del robot antropomórfico [11]:

- **Base:** La base es la parte inferior del robot, que tiene como función sostener las articulaciones, los eslabones y la herramienta.
- **Eslabones:** Este dispositivo consiste en unir diferentes piezas rígidas para crear una cadena.
- **Articulaciones:** Es la conexión entre dos eslabones, esta conexión permite unir varios elementos para formar una estructura que permite movimientos lineales o rotacionales.
- **Muñeca:** Este elemento esencial dentro de la estructura del robot posibilita su movilidad en diversas direcciones, tales como:
 - Elevación
 - Desviación
 - Giro

Gracias a la capacidad de efectuar estos movimientos, el robot puede llevar a cabo distintas tareas con una mayor eficiencia y precisión.

- **Abrazadera:** es un componente fundamental que permite al robot llevar a cabo una amplia variedad de tareas, específicamente en el ámbito de la sujeción. Las pinzas son las herramientas más habituales utilizadas para manipular objetos, debido a que se adaptan fácilmente a la geometría de las piezas. En general, se utilizan pinzas de dos tipos: paralelas o angulares. Ambas opciones ofrecen un alto nivel de precisión y confiabilidad, lo que facilita el trabajo del robot y aumenta su capacidad de realizar tareas con éxito. [11].

2.4.2. Análisis mecánico del robot antropomórfico

2.4.2.1. Momento *Torsor*

Es la medida de la cantidad de movimiento de rotación, es decir, el trabajo realizado por la fuerza que hace girar un objeto y se llama momento de fuerza en relación con un punto específico [12].

2.4.2.2. Factor de seguridad

Para asegurar la estabilidad estructural, es necesario garantizar que las cargas a las que se somete la estructura sean soportadas adecuadamente. Esto implica que la estructura debe ser capaz de resistir las fuerzas a las que se somete durante su funcionamiento normal, sin exceder

los límites de esfuerzo permitidos o el máximo que puede soportar, como se muestra en la Figura 2.7 [12].

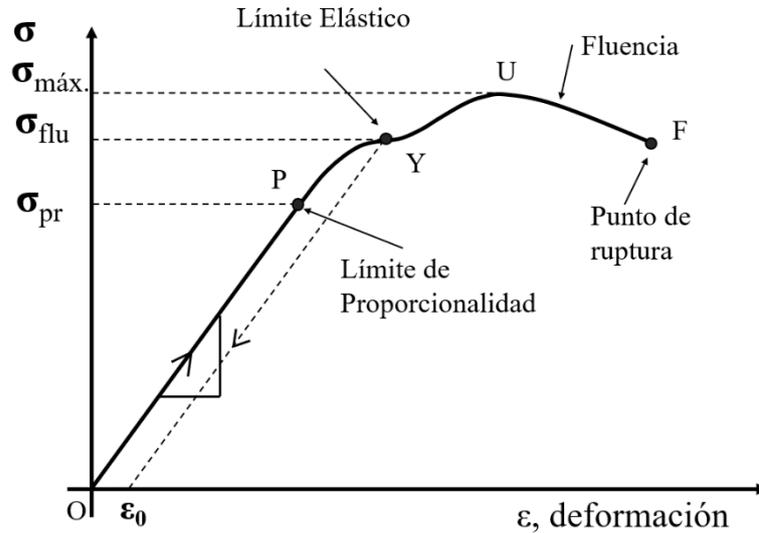


Figura 2.7. Límite plástico y elástico de un material

2.4.2.3. Diagrama cinemático

Mediante esta representación gráfica se pueden mostrar de manera simplificada las diferentes partes que conforman un mecanismo, destacando únicamente las dimensiones que son relevantes para el movimiento de este. De este modo, es posible visualizar de forma clara y concisa las variables que inciden en la función principal del mecanismo, al igual que sucede con los esquemas de circuitos eléctricos o los diagramas de tuberías. Es importante que estos esquemas se dibujen a una escala proporcional al tamaño real del mecanismo, como se ilustra en la figura 2.8. [12].

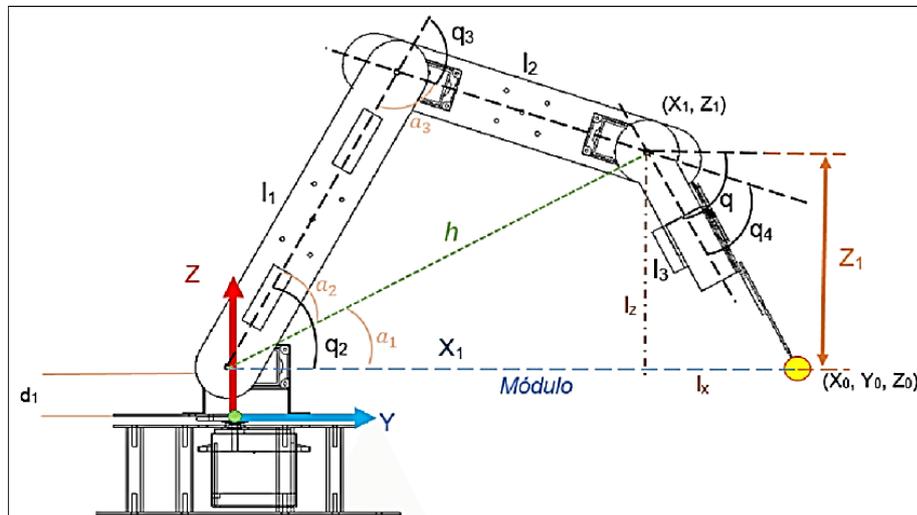


Figura 2.8. Esquema cinemático del robot.

2.4.2.4. Movilidad

La habilidad para moverse se relaciona directamente con la cantidad de grados de libertad que presentan las articulaciones, lo que se expresa mediante el símbolo M. Esta característica se encuentra directamente relacionada con la disposición de los eslabones, lo que a su vez determina la cantidad de grados de libertad que posee el mecanismo completo. [12].

2.4.3. Análisis eléctrico del robot antropomórfico

2.4.3.1. Servomotores

Un servomotor es un tipo de motor eléctrico que se utiliza para controlar posición y velocidad, se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones, como robots, sistemas de control de posición en maquinaria industrial, juguetes y aviones controlados por radio. Un servomotor recibe una señal de control desde un microcontrolador y se posiciona en un ángulo específico en respuesta a esa señal [13].

2.4.3.2. Motores DC

Los motores DC (corriente directa) son un tipo de motor eléctrico que funciona mediante la aplicación de corriente directa en sus terminales, los motores DC se pueden controlar fácilmente con un circuito electrónico, lo que permite regular su velocidad y dirección de giro [13].

2.4.3.3. Driver de Servomotor

El PCA9685 es un controlador PWM de 16 canales que regula la intensidad de la corriente eléctrica en aplicaciones que necesitan una señal periódica de control. Se usa para controlar velocidades de motores, brillo de leds, posición de servos, entre otros. Funciona como un conversor analógico-digital y permite control preciso y sencillo de señales PWM a través de un bus de comunicación como I2C [13].

2.4.3.4. Puente H

Un puente H es un circuito electrónico que se utiliza para controlar el funcionamiento de un motor de corriente continua (DC). Es un tipo de controlador de motor que permite la regulación de la velocidad y el sentido de giro del motor [13].

2.4.3.5. Fuente de alimentación

Una fuente de alimentación es un dispositivo electrónico que proporciona una tensión eléctrica constante a un circuito o dispositivo. Las fuentes de voltaje se utilizan para alimentar dispositivos electrónicos y para suministrar energía a los circuitos eléctricos [13].

2.4.3.6. Regulador de Voltaje

Un regulador de voltaje en electrónica es un circuito diseñado para mantener una tensión constante en su salida, independientemente de las variaciones en la tensión de entrada o la corriente que se está suministrando [13].

2.4.3.7. Motor a pasos

Los motores paso a paso son un tipo de motor eléctrico que utiliza pulsos eléctricos para realizar movimientos controlados y precisos en pequeños pasos. Su capacidad de ser controlados con precisión los hace ideales para aplicaciones que requieren un alto grado de exactitud en los movimientos [14].

2.4.3.8. Driver de Motor a Pasos

Un controlador de motor de pasos es un dispositivo electrónico que regula la velocidad y posición de un motor de pasos de manera precisa. Genera pulsos y ajusta la velocidad y posición del motor basado en las entradas [14].

2.5. VISIÓN ARTIFICIAL

Según la Asociación de Imagen Automatizada (AIA), la visión artificial cubre todas las aplicaciones industriales y no industriales en las que una combinación de hardware y software proporciona instrucciones de funcionamiento para que la máquina realice sus funciones en función de la adquisición y el procesamiento de imágenes. Aunque la visión por computadora industrial utiliza muchos de los mismos algoritmos y técnicas que la educación académica y las aplicaciones militares del gobierno, sus limitaciones son diferentes [15].

2.5.1. Sistema de visión artificial

Los sistemas de visión artificial incluyen componentes y métodos para la obtención, procesamiento y análisis de la información, las cámaras capturan imágenes en tiempo real, estas

imágenes son enviadas a la unidad de procesamiento, la cual se encarga de tomar decisiones para ejecutar todos los comandos y movimientos [15].

- a. Sensor óptico
- b. Unidad de procesamiento
- c. Comunicación

2.5.2. Funcionamiento de un sistema de visión artificial

Se debe cumplir un conjunto de condiciones y requisitos para que un sistema de visión artificial funcione correctamente [15].

- a. **Iluminación:** La iluminación debe ajustarse constantemente para que los cambios en la luz detectados por el sistema de visión del receptor se deban a cambios en el objeto bajo inspección y no a cambios en la fuente de luz.
- b. **Puesta en escena:** Este es un proceso mecánico de colocar un objeto a inspeccionar frente a una cámara (puede haber sensores fotoeléctricos que indiquen si el objeto está colocado correctamente).
- c. **Cámaras:** Los que se utilizan para visión artificial son especiales y más caros. Por ejemplo, es preferible utilizar píxeles físicos cuadrados para obtener mediciones más precisas y un obturador avanzado.
- d. **Procesador de imágenes:** Esto se puede hacer desde un ordenador conectado a la cámara, o desde la propia cámara en el caso de modelos inteligentes que pueden analizar las imágenes y proporcionar los propios resultados.
- e. **Comunicación:** El sistema de procesamiento de imágenes está conectado a otros sistemas, como la gestión de inventarios, compras o información comercial.

2.5.3. Aplicaciones de la visión artificial en industrias

Los sistemas de visión artificial son muy versátiles y aplicables a muchas industrias y procesos, como, por ejemplo:[15].

- a. **Electrónica:** Fabricación y montaje de conectores, soldadura de circuitos integrados y componentes electrónicos, lectura de códigos.
- b. **Automoción:** Inspección de calidad y fabricación de llantas, líneas de freno, embragues, cojinetes, tableros, fusibles y neumáticos.

- c. **Embalaje:** Etiquetado, colocación de componentes, confirmación de impresión, fecha de producción, confirmación de contenido, confirmación de cantidad de llenado.
- d. **Salud:** Lectura y verificación de envases, ampollas, agujas y jeringas, viales de vidrio, lentes de contacto, analizadores y radiografías.
- e. **Logística:** Detección de mercancías peligrosas, recogida/embalaje de robots, paletización, reconocimiento de caracteres (número de serie).

2.6. COMUNICACIÓN Y SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN

2.6.1. Python

Python es un lenguaje de programación de alto nivel, interpretado, de propósito general. Es conocido por su sintaxis legible y sencilla, lo que facilita la escritura de código. Es utilizado en una amplia variedad de aplicaciones, como el desarrollo web, ciencia de datos, inteligencia artificial, análisis de datos, automatización y mucho más [16].

2.6.1.1. Pyserial

Pyserial es una biblioteca de Python que permite acceder al puerto serial de un sistema operativo para enviar y recibir datos a través de él. Esta biblioteca es muy útil para desarrollar aplicaciones que se comuniquen con dispositivos electrónicos, como microcontroladores, sensores, actuadores y otros dispositivos que utilizan la comunicación serie. Pyserial ofrece una interfaz sencilla para configurar y usar el puerto serial, y soporta varios sistemas operativos, como Windows, Linux y macOS. Esta biblioteca es muy popular en proyectos de robótica, automatización, control de procesos y otros campos que involucran el uso de dispositivos electrónicos controlados por computadora [16].

2.6.1.2. OpenCV

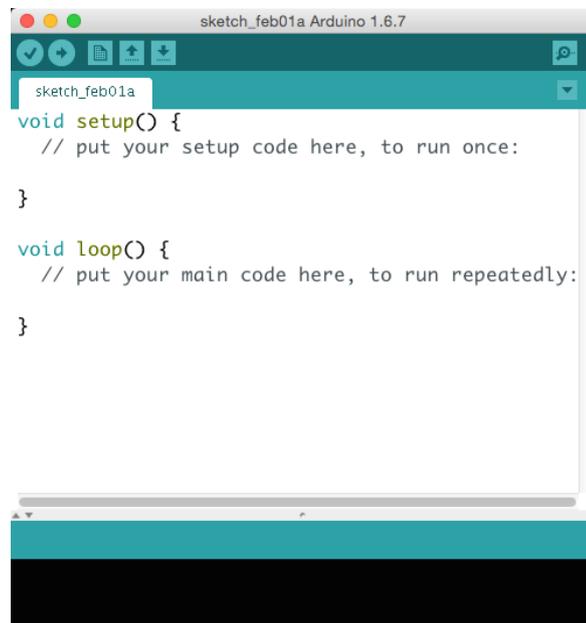
OpenCV es una biblioteca de visión por computadora de código abierto que proporciona un conjunto de herramientas y funciones para el procesamiento y análisis de imágenes y vídeos. Estas herramientas se utilizan para desarrollar aplicaciones de visión artificial en tiempo real para diversos fines, como la detección de objetos, el reconocimiento de patrones, la identificación de rostros, el seguimiento de objetos, la calibración de cámaras, la segmentación

de imágenes, entre otros. OpenCV se utiliza en una variedad de campos, incluyendo la robótica, la automatización, la seguridad, la medicina, la realidad virtual y aumentada, entre otros [16].

2.6.2. Arduino UNO

Arduino es una plataforma de desarrollo de hardware y software libre que permite a los usuarios crear proyectos interactivos con sensores, actuadores y otros componentes electrónicos. La plataforma consta de una placa de desarrollo, conocida como la "tarjeta Arduino", y un software de programación integrado (IDE) que se utiliza para escribir y cargar el código en la tarjeta.

El uso de Arduino se ha popularizado significativamente en diversos proyectos relacionados con la robótica, automatización, arte interactivo, entre otras aplicaciones, tal como se puede observar en la Figura 2.9. [16].



```
sketch_feb01a Arduino 1.6.7
sketch_feb01a
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
}
void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
}
```

Figura 2.9. Interfaz de código de Arduino

2.6.2.1. Adafruit_PWMServoDriver

La librería Adafruit_PWMServoDriver sirve para controlar uno o varios servomotores utilizando el chip controlador PCA9685. Permite configurar la frecuencia y el ciclo de trabajo de las señales PWM, así como establecer la posición de los servomotores mediante una señal PWM específica para cada uno. En resumen, esta librería facilita el control de servomotores utilizando un microcontrolador o una placa como Arduino o Raspberry Pi [16].

2.6.2.2. SoftwareSerial

La librería SoftwareSerial de Arduino sirve para crear puertos serie adicionales en pines digitales de entrada/salida del microcontrolador. Esto permite la comunicación serial con dispositivos externos, como otros microcontroladores, módulos de radio o dispositivos Bluetooth, sin necesidad de utilizar los puertos serie hardware RX y TX que pueden estar reservados para otros usos. La librería implementa un protocolo serial por software que emula el comportamiento del hardware UART, lo que facilita la programación y la integración de múltiples dispositivos en un mismo proyecto [16].

2.6.2.3. Stepper

La librería “Stepper.h” de Arduino es una librería estándar que permite controlar motores a pasos de manera sencilla en proyectos de electrónica y robótica, la librería proporciona una serie de funciones para controlar los motores a pasos y facilita el cálculo del número de pasos necesarios para mover el motor a una posición determinada. Al utilizar la librería “Stepper.h”, se puede establecer la velocidad del motor, el número de pasos por revolución, el sentido de giro y el número de pasos que debe moverse para alcanzar una posición deseada.

2.6.3. Comunicación serial Arduino a Python

La comunicación serial entre Arduino y Python se puede realizar mediante el uso de una biblioteca de Python llamada "pyserial". La biblioteca permite a Python enviar y recibir datos a través del puerto serial de una computadora. La utilización de esta biblioteca es muy sencilla, ya que cuenta con dos secciones que permiten el envío y la recepción de datos de forma clara y ordenada, como se puede apreciar en la Figura 2.10. [17].

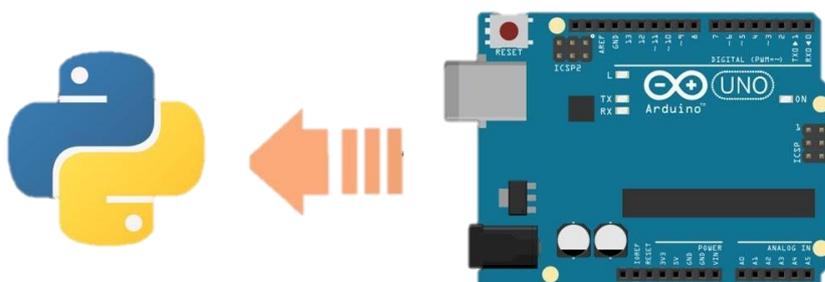


Figura 2.10. Comunicación serial Python-Arduino

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

3.1. METODOLOGÍA

3.1.1. Tipos de investigación

Para llevar a cabo esta investigación se aplicó el enfoque mixto porque parte de una recolección de información que se fue observando durante todo el proceso de prueba y error del funcionamiento del robot obteniendo una visión más panorámica de los resultados deseados, junto con el análisis estadístico de la confiabilidad del robot, lo que permitió obtener una comprensión más profunda y precisa de los resultados deseados.

En lo que respecta a los tipos de investigación utilizados en la presenta propuesta tecnológica se consideró la investigación bibliográfica para obtener información de fuentes digitales, tales como artículos científicos, tesis de grado e investigaciones relacionadas con el tema en específico. A partir de ello se aplica la investigación exploratoria, la cual se enfoca en analizar una situación o problema específico relacionado con el uso de la robótica industrial y la realidad virtual, este proceso permite tener un análisis detallado del entorno y del control del brazo antropomórfico, obteniendo los grados de libertad necesarios para su correcto funcionamiento.

Finalmente, se utiliza la investigación descriptiva para analizar el control del brazo antropomórfico mediante la visión artificial para reconocer, seleccionar y clasificar objetos; consiguiendo así resultados confiables de su funcionamiento.

3.1.2. Métodos de investigación

Los métodos que se utilizaron en esta investigación fue el deductivo y analítico, mismos que permitieron obtener información y resultados verificados de una manera sistemática, organizada y planificada logrando así comprender de una mejor manera el problema planteado.

El método deductivo está enfocando en el entrenamiento de la visión artificial mediante el desarrollo de un prototipo de brazo robótico. Este sistema es específico en cuanto a la cantidad de grados de libertad, el tipo de actuadores o servomotores utilizados. Es importante destacar que la programación es esencial para la comunicación entre el entorno y el robot, y se requieren lenguajes de programación como Arduino IDE y Python para el procesamiento de imágenes y la comunicación de la máquina.

Por otro lado, se utilizó el método analítico como un apoyo para la investigación que se está realizando, partiendo de un análisis previo del robot antropomórfico y con ello lograr establecer cuáles son las causas, los comportamientos, las características y los efectos en el funcionamiento de este; teniendo como resultado una propuesta de mejora para garantizar el reconocimiento eficaz de los objetos.

3.1.3. Técnicas de investigación

En lo que respecta a las técnicas de investigación se plantean las siguientes: observación directa, simulación y medición, para obtener información y conocimiento sobre la propuesta tecnológica.

Se aplica la observación directa ya que el investigador está en contacto con el objeto de estudio, ofreciendo así una descripción detallada del funcionamiento del robot en base a su precisión y tiempo de respuesta, obteniendo una tabla de datos donde se recoja toda la información.

La técnica de simulación se divide en dos etapas: la eléctrica y la programación, para evaluar su funcionamiento. En la parte eléctrica, la cual se lleva a cabo en el software de Proteus, donde se determina el valor y número de cada componente electrónico, para posteriormente realizar la impresión en una placa de baquelita, y en la programación del robot, utilizando el software de Arduino para crear el código de control para los servomotores y motor paso a paso, y el software Python para codificar el programa de visión artificial.

Finalmente, la técnica de medición se divide en dos categorías, la distancia y el tiempo. Por parte de la distancia se mide la precisión del robot al momento de recoger y dejar el objeto, de acuerdo con el tiempo este se clasifica en dos, el primer tiempo medido es el que tarda la cámara en reconocer el objeto, que se estima entre 1 a 2 segundos, y el segundo tiempo medido es el que tarda el robot en completar un ciclo de trabajo en 2 ángulos diferentes: un ángulo de 45° que se estima en 22 segundos y un ángulo de 90° que se evalúa en 24 segundos.

3.1.4. Instrumento de recolección de datos

A partir de la técnica de la observación se plantea como instrumento una ficha de datos cualitativos, misma que se realizó a partir de características que fueron percibidas ante el funcionamiento del robot dentro del entorno al realizar pruebas prácticas, los datos obtenidos permitieron conocer que tan sencillo es el uso y el manejo del robot.

Seguidamente, en la técnica de medición se plantea una tabla de datos, en donde se registrará dos variables que son la distancia y el tiempo, este último se divide en dos, el tiempo de reconocimiento por parte de la cámara y el tiempo de un ciclo de trabajo del robot. Todos los datos se pueden observar en el Anexo F.

3.2. DECLARACIÓN DE VARIABLES

3.2.1. Variable Dependiente

Clasificación de objetos.

3.2.2. Variable Independiente

Robot Antropomórfico con Visión Artificial.

3.2.3. Operaciones de las variables

Tabla 3.1. Variable dependiente.

Variable	Unidad	Instrumentos
Clasificación de objetos	Número de aciertos.	Registro en observación de errores.

Tabla 3.2. Variable independiente.

Variable	Unidad	Instrumentos
Robot Antropomórfico con Visión Artificial.	Número de aciertos en el reconocimiento de objetos.	Registro en observación de errores.

3.3. DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO DIDÁCTICO

Este proyecto está enfocado en desarrollar un prototipo de robot antropomórfico con visión artificial en la vida real. El robot está diseñado en CAD e impreso en 3D con filamento de ácido poliláctico (PLA), el desarrollo de la programación para el control de los servomotores y motor a pasos se realiza en el software de Arduino y para el procesamiento de imágenes en el software de Python, permitiendo así una interfaz amigable para la interacción con el usuario, lo que lo convierte en una tecnología complementaria en el campo de la robótica, como se muestra en la figura 3.1.

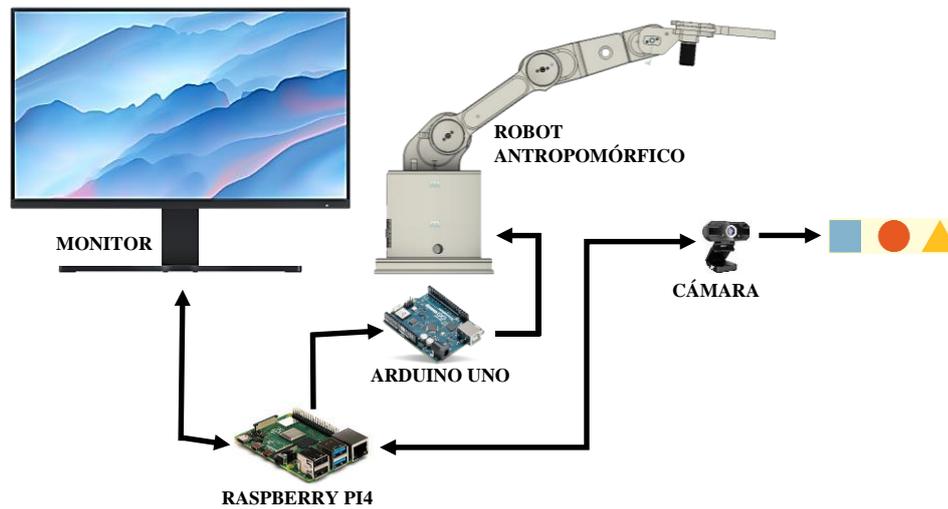


Figura 3.1. Diagrama arquitectónico del módulo didáctico.

3.4. ESTUDIO DE MERCADO

La elección de los componentes del proyecto se llevó a cabo investigando en el mercado e identificando las características y requisitos necesarios. Se dividieron en 5 grupos importantes:

- Material para la estructura.
- Elementos electromecánicos.
- Componentes para el control de elementos electromecánicos.
- Dispositivo para visión artificial.
- Procesamiento de datos.

3.4.1. Material para la estructura

El material utilizado en la construcción del robot debe ser resistente y ligero para soportar las cargas y movimientos del robot. Para ello, se están considerando tres opciones de biopolímeros como el PLA, ABS y PETG para su fabricación, como se aprecia en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Selección del tipo de filamento

	PETG	ABS	PLA
Rigidez	Baja	Media	Muy alta
Facilidad de impresión	Alta	Muy baja	Muy alta
Temperatura de impresión °C	230-250	220-240	200-215
Temperatura de la cama de impresión °C	60-90	90-110	0-40
Calidad de impresión	Alta	Media	Muy alta
Precio USD	25 a 30	20 a 25	20 a 25

Después de evaluar las opciones de materiales, se decidió usar ácido poliláctico (PLA) para la construcción del robot por su resistencia y ligereza. Se establecieron criterios específicos para la elección de filamentos, que se describen en el Anexo A.

3.4.2. Elementos electromecánicos

Los actuadores son componentes importantes que controlan aspectos como el rango de actuación, el torque y la posición angular del robot. Deben ser ejes de rotación para los eslabones. Se están considerando dos opciones: servomotor y motor a pasos, como se visualiza en las tablas 3.4 y 3.5.

Tabla 3.4. Selección del tipo de motor a pasos

	NEMA	SUNWIND	CMZ
Ángulo de paso (°)	1.8	1.8	1.8
Voltaje (V)	3.9	4.2	3.5
Corriente (A)	3	3.3	3.5
Torque (Kg*cm ²)	15	10	12
Peso (Kg)	0.8	1	1.2
Costo USD	80 ~	105 ~	100 ~

Después de evaluar las opciones de actuadores, se decidió usar NEMA por ser el que mejor cumple con los requisitos de rango de actuación, torque y mecanismo sensorial. Se establecieron criterios específicos para la elección del motor paso a paso, que se describen en el Anexo A.

Tabla 3.5. Selección del tipo de servomotor

	SPT	MAVILOR	ARO
Voltaje (V)	3.3-5.0	5.5	7.4
Corriente (A)	3.5	3	4
Torque (Kg*cm ²)	35	25	20
Peso (g)	71	90	87
Costo USD	35 ~	40 ~	55 ~

Se ha decidido usar STP como actuador para el proyecto debido a que cumple con los requisitos de rango de movimiento, torque y mecanismo sensorial necesarios para monitorear la posición angular del robot. Los criterios específicos para la elección se encuentran detallados en el Anexo A.

3.4.3. Componentes para el control de dispositivos electromecánicos

Se evaluaron diferentes opciones de microcontroladores para el control del robot con el objetivo de lograr el mejor rendimiento. Las opciones consideradas son Arduino UNO, Arduino MEGA y ESP32, cada una con diferentes características y capacidades a considerar, como se demuestra en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6. Selección del tipo de tarjeta para servomotor y motor a pasos.

	Arduino UNO	Arduino MEGA	ESP32
Pines digitales	14	54	16
Pines analógicos	6	16	18
Compatibilidad con Hardware	Compatible	Compatible	Compatible
Costo	Bajo	Medio	Alto

Se ha elegido utilizar el Arduino UNO como microcontrolador para el robot debido a su buena relación costo-beneficio, versatilidad, facilidad de uso y capacidad para trabajar con módulos de bajo costo y cualquier sistema operativo de computación. Además, se consideraron los pines digitales y analógicos y la programación basada en C++. Los criterios específicos para la selección están detallados en el Anexo A.

3.4.4. Dispositivo para visión artificial

Para el reconocimiento de objetos mediante la forma y el color, se han evaluado diferentes opciones de cámaras disponibles en el mercado para su uso en el proyecto, como se muestra en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7. Selección de la cámara.

	Cámara 720p a 30 fps	Cámara 1080p a 30 fps	Cámara 1080p a 60 fps
Compatibilidad	Compatible	Compatible	Compatible
Resolución	Buena	Muy buena	Excelente
Longitud (m)	5 ~	10 ~	15 ~
Costo	Baja	Media	Alta

La cámara HD C270 fue elegida por su relación costo-beneficio, resolución nítida y fluido en pantalla panorámica, así como por su corrección de iluminación automática que produce colores

reales y naturales. La selección de la cámara se basó en consideraciones específicas que se describen en detalle en el Anexo A.

3.4.5. Procesamiento de datos

Para el procesamiento de datos recolectados por la cámara, se han evaluado varias opciones de equipos informáticos, incluyendo el Raspberry Pi 4, una laptop y una computadora de escritorio, y se han seleccionado alternativas para su uso en el proyecto, como se muestra en la tabla 3.8.

Tabla 3.8. Selección del dispositivo para recolección de datos.

	Raspberry Pi 4	Computadora
Compatibilidad	Compatible	Compatible
Procesamiento de datos	Procesos específicos	Varias tareas al mismo tiempo
Uso	Fácil	Fácil
Costo	Bajo	Alto

La Raspberry Pi 4 fue elegida después de una investigación de mercado como una opción económica y fácil de usar para realizar tareas comunes de un ordenador. La selección de la tarjeta se basó en consideraciones específicas detalladas en el Anexo A.

Tabla 3.9. Inventario de los elementos y explicación de su operatividad en el sistema.

Materiales	Descripción
Tarjeta Raspberry Pi 4	Es computadora de bajo costo y bajo consumo de energía, cuenta con un procesador de cuatro núcleos Cortex-A72, un puerto Ethernet Gigabit, conectividad WiFi y Bluetooth 5.0, y salidas de video y audio HDMI. También cuenta con conectores USB 3.0 y USB-C para alimentación.
Arduino Uno	Es una placa electrónica programable diseñada para controlar dispositivos electrónicos de forma autónoma o interactuar con otros dispositivos mediante una variedad de sensores y actuadores.
Fuente AC-DC	Separa la salida de voltaje de corriente alterna (CA) de la salida de voltaje de corriente continua (CC). Las dos salidas de la fuente de alimentación se regulan de forma síncrona y continua.

Modulo LM2596	Módulo encargado de controlar el voltaje de salida para alimentar a los actuadores.
Motor a pasos (CC)	Actuador electromecánico montado en la base del robot es un dispositivo que transforma energía eléctrica en movimiento rotativo de 360 grados.
Controlador para Motor a Pasos (TB6600)	Este controlador permite controlar los movimientos del motor a pasos el cual va en la base del robot para generar el giro que sea necesario.
Servomotores	Actuador electromecánico acoplado como eje rotacional de los eslabones.
Controlador para Servomotor (PCA9685)	Se puede utilizar para controlar la velocidad de motores, la luminosidad de leds, la posición de servos, entre otros.
Filamento PLA	La estructura del robot se construye mediante la impresión 3D de este material.
Componentes eléctricos varios	El conjunto de elementos incluye terminales de tornillo, dispositivos para ajustar la potencia eléctrica, conductores, luces LED, botones pulsadores, puertos USB y un convertidor de corriente alterna a corriente continua.
Cámara	Captura video en tiempo real y las envía a la computadora para que procese la información y comande los movimientos del robot.

3.5. ENSAMBLE Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA

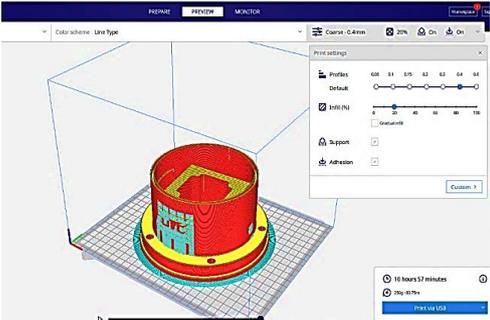
La fabricación del robot antropomórfico implica los siguientes pasos:

- Imprimir las piezas que conforman la estructura.
- Ensamblar la estructura a partir de las piezas impresas.
- Realizar las conexiones necesarias para el sistema de control.
- Programación del robot antropomórfico y del sistema de visión artificial

3.5.1. Imprimir las piezas que conforman la estructura.

Es fundamental tener en cuenta el diseño integral del robot antropomórfico al llevar a cabo el proceso de impresión 3D, incluyendo los movimientos rotacionales en la base y los eslabones. Se utiliza ácido poliláctico (PLA), un biopolímero resistente y fácil de trabajar, y se imprimen las piezas utilizando una impresora 3D y el programa Ultimaker Cura, basado en el diseño creado en Fusion 360, como se muestra en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10. Detalle de impresión de piezas del robot

Impresión del Robot	
<p>Ultimaker Cura</p> <p>Dentro del proceso de impresión, se configuraron los parámetros de velocidad de impresión y temperatura de la boquilla para garantizar una impresión precisa y resistente de las piezas.</p>  <p style="text-align: center;">Figura 3.2. Preparación de la pieza a imprimir.</p>	<p>Impresión de la pieza</p> <p>Se estableció una velocidad de impresión de 60 mm/s y una temperatura de la boquilla de 200 °C. Además, se configuró el tipo de material de impresión como PLA y se utilizó el software Ultimaker Cura para llevar a cabo la impresión.</p>  <p style="text-align: center;">Figura 3.3. Ejecución de impresión 3D.</p>

Es importante exportar el modelo en formato STL para imprimir en 3D ya que es el formato estándar para prototipos rápidos. Este formato utiliza triángulos para definir la forma y la resolución mejora con triángulos más pequeños.



Figura 3.4. Ejemplos de resolución de archivos STL.

3.5.2. Ensamble de la estructura

Para unir las piezas del robot, se utilizan servomotores como ejes de giro. Los servomotores con mayor torque (35 kgf*cm) se encuentran en los eslabones uno y dos para manejar la carga necesaria. En los eslabones tres y en el gripper, se utilizan servomotores con menor torque (13 kgf*cm). Para soportar el peso total del robot, se coloca un motor paso a paso (30 kgf*cm) en la base, como se aprecia en la figura 3.5.



Figura 3.5. Armado total del robot antropomórfico

Para fijar los actuadores a los eslabones, se utilizan elementos de sujeción que unen el eje del actuador y el eslabón con dos tornillos. Estos elementos vienen con el servomotor, pero debido a los movimientos y vibraciones, se pueden aflojar. Por eso, se recomienda reforzarlos con tornillos adicionales para cada actuador, brindando mayor estabilidad y seguridad.

3.5.3. Conexiones del sistema de control

La conexión principal va a una fuente de alimentación de 12 voltios, que proporciona el voltaje necesario para la placa de Arduino UNO, la tarjeta Raspberry Pi 4 y el controlador del motor a pasos. Los cuatro servomotores del robot antropomorfo se conectan a la placa de Arduino UNO, el módulo LM2596 se conecta al controlador del motor a pasos, la tarjeta Raspberry Pi 4 se utiliza como ordenador para el procesamiento de datos, en donde se conecta el Arduino UNO a través de un cable USB, así como a una cámara y un monitor mediante VGA respectivamente, adicionalmente se utiliza otra tarjeta de Arduino UNO para conectar un Motor DC para controlar el movimiento de la banda transportadora, como se muestra en la figura 3.6.

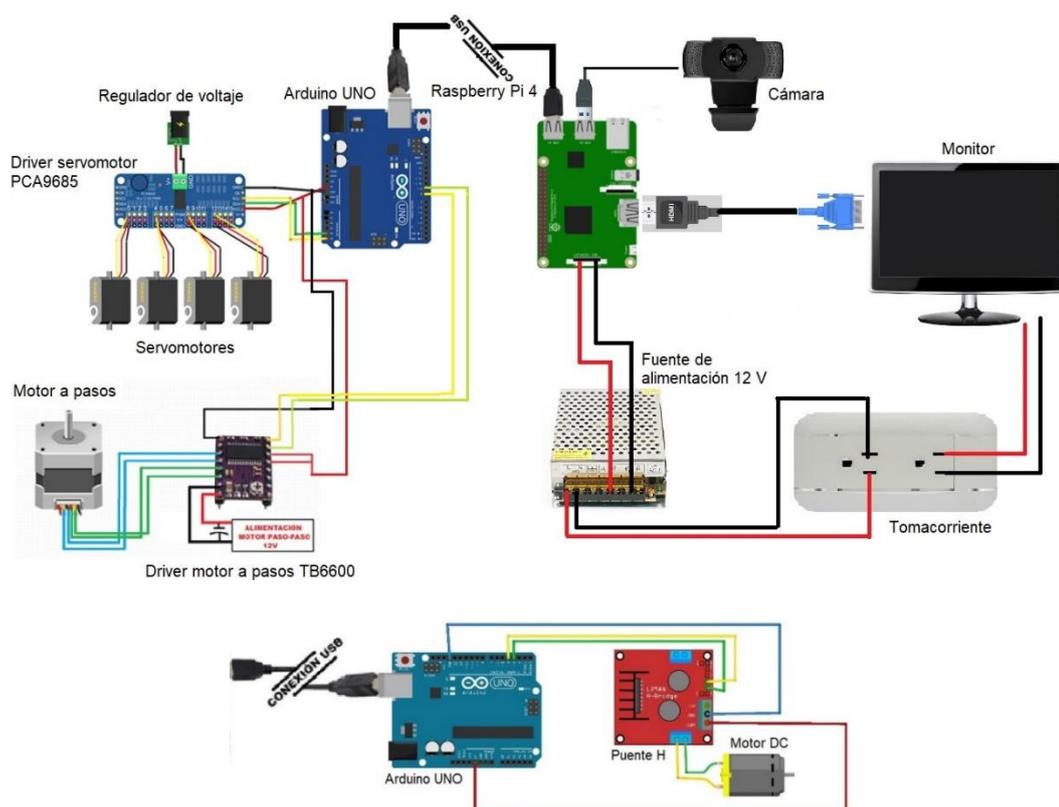


Figura 3.6. Conexión del Sistema

Estos componentes están montados en una base de madera de color blanco, la única conectividad externa de esta configuración se encuentra en las entradas USB de la tarjeta Raspberry Pi 4, que se utilizan para conectar la placa Arduino, la cámara y el teclado. Además, se incluye una salida VGA para conectar un monitor.

En la Figura 3.7. se muestra cómo queda finalmente ensamblado el módulo del robot antropomórfico para clasificar objetos mediante visión artificial.



Figura 3.7. Módulo Completo del Robot Antropomórfico

La interfaz de control del sistema consiste en un conjunto de botones que permiten al usuario activar la cámara y seleccionar entre cuatro opciones de color o forma, la misma que está diseñada para ser intuitiva y fácil de usar. El sistema utiliza la cámara para capturar imágenes del entorno, el algoritmo de reconocimiento de objetos los identifica y luego envía una señal al robot para seleccionar el objeto deseado, como se muestra en la figura 3.8. Los planos electrónicos se encuentran en el Anexo B.



Figura 3.8. Interfaz de Control

3.5.4. Programación del robot antropomórfico y del sistema de visión artificial

3.5.4.1. Programación de control de servomotores y motor a pasos en Arduino

Para controlar un servo motor en Arduino Uno, se debe seguir los siguientes pasos:

- Conectar el cable rojo del servo al pin 5V de Arduino, el cable marrón al pin GND y el cable amarillo al pin digital que desees utilizar.
- Importar la librería “Servo.h” en el código de Arduino.
- Crear un objeto Servo y asigna el pin digital al que está conectado el servo utilizando el método “attach()”.
- Utiliza el método “write()” para establecer la posición del servo en grados (entre 0 y 180).

Aquí hay un ejemplo de código básico:

```
#include <Servo.h>

Servo miServo;

void setup() {
  miServo.attach(9); // El servo está conectado al pin digital 9
}

void loop() {
  miServo.write(90); // Mueve el servo a la posición de 90 grados
  delay(1000);
  miServo.write(0); // Mueve el servo a la posición de 0 grados
  delay(1000);
}
```

Figura 3.9. Ejemplo de código de control de servomotor

Este código moverá el servo a 90 grados y luego a 0 grados, repitiéndose continuamente, se puede ajustar la posición y el tiempo de retardo según se necesite.

Para controlar un motor a pasos en Arduino Uno, se debe seguir los siguientes pasos:

- Conectar el motor a los pines adecuados de la tarjeta controladora de motor a pasos.
- Importar la librería “Stepper.h” en el código de Arduino.
- Crear un objeto “Stepper” y asignar el número de pasos por revolución y los pines al que está conectado el motor utilizando el constructor de la clase.
- Utilizar el método “setSpeed()” para establecer la velocidad del motor en rpm.
- Utilizar el método “step()” para mover el motor a una posición determinada.

Aquí hay un ejemplo de código básico:

```
#include <Stepper.h>

const int numPasosPorRev = 200; // Número de pasos por revolución del motor
const int pin1 = 8; // Conecta el cable amarillo del motor al pin digital 8
const int pin2 = 9; // Conecta el cable rojo del motor al pin digital 9
const int pin3 = 10; // Conecta el cable verde del motor al pin digital 10
const int pin4 = 11; // Conecta el cable azul del motor al pin digital 11

Stepper miMotor(numPasosPorRev, pin1, pin2, pin3, pin4);

void setup() {
  // No hay necesidad de configurar los pines como salida, ya que la librería lo
  miMotor.setSpeed(60); // Establece la velocidad del motor en 60 rpm
}

void loop() {
  miMotor.step(100); // Mueve el motor 100 pasos en una dirección
  delay(1000);
  miMotor.step(-100); // Mueve el motor 100 pasos en la dirección opuesta
  delay(1000);
}
```

Figura 3.10. Ejemplo de código de control de motor a pasos

Este código moverá el motor a pasos 100 pasos en una dirección y luego 100 pasos en la dirección opuesta, repitiéndose continuamente. Se puede ajustar el número de pasos y el tiempo de retardo según se necesite.

3.5.4.2. Programación de reconocimiento mediante visión artificial en Python

Para programar una interfaz en Python para visión artificial con la librería OpenCV en tiempo real, se debe seguir los siguientes pasos:

- Instalar Python en el ordenador si no se tiene instalado.
- Instalar la librería OpenCV en Python. Instalar mediante el administrador de paquetes pip con el comando “pip install opencv-python”.
- Instalar una biblioteca para crear interfaces de usuario gráficas en Python. Algunas opciones populares son tkinter, PyQt, wxPython o PySide.
- Crear una ventana de interfaz de usuario que incluya los elementos necesarios para el proyecto de visión artificial, como botones, campos de entrada o visualización de imágenes.
- Programar la funcionalidad de la interfaz de usuario utilizando la librería OpenCV. Se puede utilizar las funciones de OpenCV para capturar video en tiempo real y aplicar los filtros y técnicas de visión artificial que se necesite.

Aquí hay un ejemplo básico de código para capturar video en tiempo real con OpenCV y mostrarlo en una ventana de interfaz gráfica utilizando tkinter:

```

import cv2
import tkinter as tk
from PIL import Image, ImageTk

# Crear ventana de interfaz de usuario
ventana = tk.Tk()
ventana.title("Interfaz OpenCV")

# Crear un objeto de captura de video
captura = cv2.VideoCapture(0)

# Función para actualizar el video en la ventana de interfaz de usuario
def actualizar_video():
    ret, frame = captura.read()
    if ret:
        frame = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2RGB)
        imagen_pil = Image.fromarray(frame)
        imagen_tk = ImageTk.PhotoImage(imagen_pil)
        label.config(image=imagen_tk)
        label.image = imagen_tk
        ventana.after(10, actualizar_video)

# Mostrar video en la ventana de interfaz de usuario
label = tk.Label(ventana)
label.pack()
actualizar_video()

# Iniciar bucle de eventos de la interfaz de usuario
ventana.mainloop()

```

Figura 3.11. Ejemplo de código para capturar video en tiempo real

En este ejemplo, se utiliza OpenCV para capturar video desde la cámara, se convierte a formato RGB y se muestra en una ventana de tkinter. La función “actualizar_video()” se llama periódicamente utilizando la función “after()” de tkinter para actualizar el video en tiempo real en la ventana de interfaz de usuario.

Este es solo un ejemplo básico de cómo se puede crear una interfaz gráfica con OpenCV y tkinter en Python para visión artificial en tiempo real.

3.5.4.3. Comunicación Serial Arduino - Python

Para realizar una comunicación serial entre Arduino y Python en una Raspberry Pi, se debe seguir los siguientes pasos:

- Conectar el Arduino a la Raspberry Pi mediante un cable USB.
- Abrir la terminal de la Raspberry Pi y verificar en qué puerto se ha conectado el Arduino utilizando el siguiente comando:

“ls /dev/tty*”

- Esto mostrará una lista de los puertos disponibles. Buscar el puerto que comienza con "ttyUSB" y anotar el número (por ejemplo, /dev/ttyUSB0).
- Instalar PySerial en la Raspberry Pi si aún no está hecho. PySerial es una librería de Python que permite comunicarse con dispositivos serie, como el Arduino. Puede instalarse PySerial utilizando el siguiente comando:

“pip install pyserial”

- Crear un script de Python que abra el puerto serie, envíe datos al Arduino y reciba respuestas.

Aquí tienes un ejemplo básico:

```
import serial

# Abre el puerto serie
puerto = serial.Serial('/dev/ttyUSB0', 9600, timeout=1)

# Envía un mensaje al Arduino
puerto.write(b'Hola Arduino!')

# Espera una respuesta del Arduino
respuesta = puerto.readline().decode('utf-8')

# Muestra la respuesta del Arduino en la consola
print(respuesta)

# Cierra el puerto serie
puerto.close()
```

Figura 3.12. Ejemplo de Comunicación Serial entre Arduino y Python

En este ejemplo, se utiliza la función “Serial()” de la librería PySerial para abrir el puerto serie en el que está conectado el Arduino. Luego, se envía un mensaje al Arduino utilizando la función “write()” y se espera una respuesta del Arduino utilizando la función “readline()”. Finalmente, se muestra la respuesta en la consola y se cierra el puerto serie.

Es importante que el baudrate (9600 en este ejemplo) coincida con el valor utilizado en el sketch de Arduino que envía los datos.

Carga un sketch en el Arduino que reciba los datos enviados desde la Raspberry Pi y envíe respuestas. Por ejemplo, un sketch que lea los datos enviados por el puerto serie y envíe una respuesta.

3.6. CONTROL DEL ROBOT MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL

Con los datos recopilados y ya procesados en Python, se procede a enviar un comando de respuesta a Arduino UNO para que este pueda controlar los servos del robot antropomórfico. El objetivo es lograr que el robot realice el movimiento correcto, ya sea mediante la detección de un color específico o el reconocimiento de una forma determinada.

Para lograr esto, se utilizan algoritmos de procesamiento de imagen para analizar la información recopilada y determinar la acción correcta a realizar. Una vez que se ha determinado la acción correcta, se envía el comando correspondiente a Arduino UNO, que a su vez activa los servos del robot para llevar a cabo el movimiento deseado.

3.7. PRECISIÓN DEL ROBOT EN EL TRABAJO SECUENCIAL

3.7.3. Muestreo Probabilístico

La metodología de muestreo probabilístico consiste en seleccionar individuos al azar para determinar la probabilidad de ciertos ensayos. Esta técnica se aplica en poblaciones que se consideran infinitas, es decir, cuyo tamaño es desconocido y no tiene fin, de esta forma, se pueden realizar inferencias precisas sobre la población, con un alto grado de confianza.

3.7.4. Error Relativo

En un robot con visión artificial, el error relativo puede ser una métrica importante para medir la precisión de la localización y detección de objetos. Los sistemas de visión artificial más precisos tendrán un error relativo más bajo, lo que los hace más adecuados para aplicaciones críticas, como se muestra en la siguiente Ecuación (3.5):

- Error relativo

$$\overrightarrow{E_{RE}} = \frac{V_R - V_M}{V_R} \times 100\% \quad (3.5)$$

Donde:

\overline{E}_{RE} = Error Relativo [Adimensional]

V_R = Valor Real [Adimensional]

V_M = Valor Medido [Adimensional]

3.7.5. Matriz de confusión

La matriz de confusión es una herramienta que se puede utilizar para analizar los resultados de cómo funcionan los algoritmos de aprendizaje supervisado. Esta matriz siempre se muestra en forma de tabla, cada columna muestra el número previsto de cada clase y cada fila muestra el número real de instancias de cada clase, como se muestra en la figura 3.13.

		Predicción	
		Positivo	Negativo
Realidad	Positivo	VP (Verdaderos Positivos)	FN (Falsos Negativos)
	Negativo	FP (Falsos Positivos)	VN (Verdaderos Negativos)

Figura 3.13. Matriz de confusión

3.7.5.1. Índice de la matriz de confusión

Los indicadores de cómo interpretar la matriz se pueden dividir en dos grupos: exactitud y precisión.

- Exactitud

Una métrica básica que muestra qué tan cerca están los datos arrojados desde la matriz de los datos reales. Cuanto más cercana sea la coincidencia mayor será la precisión, por lo que la matriz puede interpretarse como lo suficientemente precisa.

- Precisión

Consiste en la relación entre el número de predicciones correctas y el número total de predicciones. Es decir, obtener la precisión de los datos correctos y compararlos con los datos totales devueltos (ya sean precisos o no). Al igual que con la métrica anterior, cuanto mayor sea la precisión, con mayor precisión se puede interpretar la matriz.

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. ESTRUCTURA DEL ROBOT ANTROPOMÓRFICO

Para el modelado y ensamblado del robot antropomórfico se utilizó el software de Fusion 360, en el cual, se obtuvieron datos como el factor de seguridad, el momento torsor y el diagrama de movilidad o el número de grados de libertad, los mismo que se recopilaron del estudio de la propuesta tecnológica de Casa y Zapata, los cuales se detallan de manera resumida en la tabla 4.1, 4.2 y 4.3 [13].

Tabla 4.1. Factor de seguridad.

INDICADOR	PIEZA	VARIABLE	VALOR
FACTOR DE SEGURIDAD POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS	Pinza	Carga Sometida	F = 0.981 N
		Factor de seguridad	$\eta = 23.75$
	Eslabón 3	Carga Sometida	F = 1.88 N
		Factor de seguridad	$\eta = 23.44$
	Eslabón 2	Carga Sometida	F = 4.365 N
		Factor de seguridad	$\eta = 2.4648$
	Eslabón 1	Carga Sometida	F = 7.61 N
		Factor de seguridad	$\eta = 9.81$
	Tapa base	Carga Sometida	F = 9.57 N
		Factor de seguridad	$\eta = 10.98$
	Base	Carga Sometida	F = 11.48 N
		Factor de seguridad	$\eta = 8.2549$

Tabla 4.2. Momento torsor.

INDICADOR	PIEZA	VARIABLE	VALOR
MOMENTO TORSOR	Pinza	Carga	F = 0.981 N
		Distancia	d = 110.79 mm
		Momento torsor	$\tau = 1.108 \text{ kgf-cm}$
	Eslabón 3	Carga	F = 1.88 N
		Distancia	d = 162.965 mm
		Momento torsor	$\tau = 4.752 \text{ kgf-cm}$
	Eslabón 2	Carga	F = 4.365 N
		Distancia	d = 150.72 mm
		Momento torsor	$\tau = 23.106 \text{ kgf-cm}$
	Eslabón 1	Carga	F = 7.61 N

		Distancia	d = 153.60 mm
		Momento torsor	$\tau = 24.643 \text{ kgf-cm}$
	Base	Carga	F = 9.57 N
		Distancia	d = 82.0 mm
		Momento torsor	$\tau = 34.147 \text{ kgf-cm}$

Tabla 4.3. Grados de libertad.

DIAGRAMA DE MOVILIDAD O NÚMERO DE GRADOS DE LIBERTAD	
Se puede utilizar la ecuación de Gruebler, que implica considerar los eslabones y las uniones que conforman el sistema, la cual se calcula mediante la fórmula que esta denotada por: $\text{GDL} = 3(n - 1) - 2j_p - j_h$	Reemplazo de valores $\text{GDL} = 3(6 - 1) - 2(5) - 0$ $\text{GDL} = 3(6 - 1) - 2(5) - 0$ $\text{GDL} = 5$ Por lo tanto, el robot antropomórfico tiene cinco grados de movilidad

4.2. RECONOCIMIENTO MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL

El reconocimiento de objetos mediante visión artificial utiliza Python como lenguaje de programación para crear una interfaz accesible para el usuario. El proceso implica la selección del objeto a ser identificado de una colección variada, y el sistema realiza el trabajo de clasificación automáticamente. La implementación de Python permite una mayor facilidad de uso y comprensión, incluso para aquellos con conocimientos básicos de programación.

En la figura 4.1 podemos observar la interfaz gráfica del robot antropomórfico y sus opciones a clasificar.



Figura 4.1. Interfaz Principal.

Se selecciona la opción por la que se desea clasificar y así encender la cámara y a continuación estarán disponibles 4 opciones de color o forma según se haya seleccionado, una vez seleccionado el software de Python identificara el objeto a clasificar como se muestra en la figura 4.2.



Figura 4.2. Selección de objeto deseado.

El robot procederá a clasificar la pieza seleccionada de manera precisa como se muestra en la figura 4.3.



Figura 4.3. Objeto Clasificado por el Robot.

4.3. DIAGRAMAS DE FLUJO

4.3.1. Diagrama de flujo de posiciones en Arduino UNO

Aquí los parámetros se encuentran establecidos para el color o forma que se requiera seleccionar, solo se debe esperar la señal del sistema de visión artificial para ejecutar los movimientos. El diagrama de flujo se puede visualizar en el Anexo C.

4.3.2. Diagrama de flujo de Python para el reconocimiento de color

Para la programación del reconocimiento de color mediante visión artificial en Python primero se debe capturar una imagen utilizando una cámara, después se debe convertir la imagen a un formato que pueda ser procesado por Python usando la librería OpenCV, a continuación se definen los rangos de color de interés, se filtra la imagen para obtener únicamente los píxeles que estén dentro de los rangos de color definidos, finalmente se debe dibujar un rectángulo o un contorno alrededor de los objetos detectados. Dependiendo del color seleccionado se enviará el comando correcto para cada color. En el diagrama de flujo se puede observar en el Anexo C.

4.3.3. Diagrama de flujo de Python para el reconocimiento de forma

Para la programación del reconocimiento de formas mediante visión artificial en Python primero se debe capturar una imagen utilizando una cámara, después se debe convertir la imagen a un formato que pueda ser procesado por Python usando la librería OpenCV, a continuación, se debe aplicar un filtro de borde para resaltar los contornos de los objetos en la imagen, se detecta los contornos en la imagen utilizando la función "findContours" de OpenCV, y finalmente identificar las formas geométricas de interés (por ejemplo, utilizando la función "approxPolyDP" para aproximar los contornos y clasificarlos según su número de lados), seguido a esto se debe dibujar un polígono o un contorno alrededor de las formas detectadas, dependiendo de la forma seleccionada se enviará el comando correcto para cada forma. El diagrama de flujo se puede visualizar en el Anexo C.

4.4. PRUEBAS CON VISIÓN ARTIFICIAL

Se comprueba la precisión al identificar formas y colores por medio de la cámara y los comandos enviados al robot para que realice los movimientos correctos, como se muestra en la tabla 4.4 y la tabla 4.5.

Tabla 4.4. Selección de Formas.

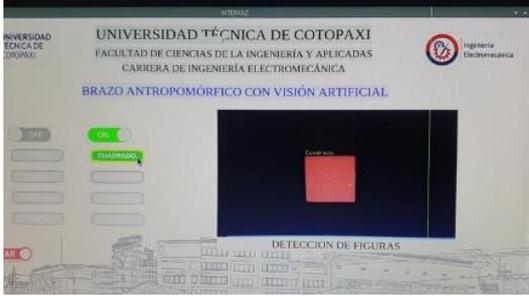
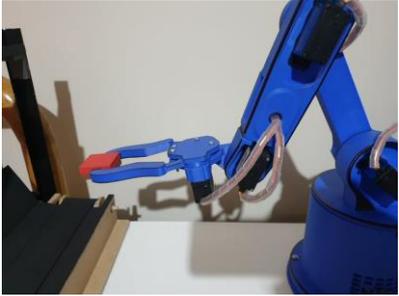
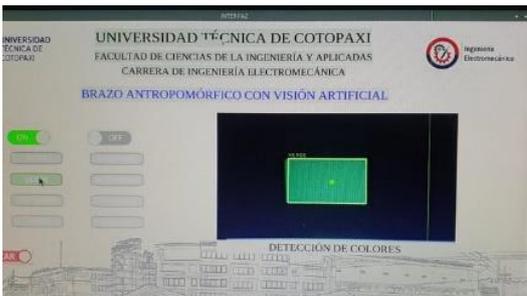
Interfaz	Entorno Físico
 <p>Figura 4.4. Identificación de la figura cuadrada.</p>	 <p>Figura 4.5. Objeto Cuadrado atrapado.</p>
 <p>Figura 4.6. Identificación de la figura rectangular.</p>	 <p>Figura 4.7. Objeto Rectangular atrapado.</p>
 <p>Figura 4.8. Identificación de la figura triangular.</p>	 <p>Figura 4.9. Objeto Triangular atrapado.</p>
 <p>Figura 4.10. Identificación de la figura circular.</p>	 <p>Figura 4.11. Objeto Circular atrapado.</p>

Tabla 4.5. Selección de Colores.

Interfaz	Entorno Físico
 <p>Figura 4.12. Identificación del color Rojo.</p>	 <p>Figura 4.13. Objeto Rojo atrapado.</p>
 <p>Figura 4.14. Identificación del color Verde.</p>	 <p>Figura 4.15. Objeto Verde atrapado.</p>
 <p>Figura 4.16. Identificación del color Amarillo.</p>	 <p>Figura 4.17. Objeto Amarillo atrapado.</p>
 <p>Figura 4.18. Identificación del color Azul.</p>	 <p>Figura 4.19. Objeto Azul atrapado.</p>

4.5. CONFIABILIDAD

En el contexto de evaluar la precisión del robot antropomórfico en tareas repetitivas, se utilizó la técnica de muestreo probabilístico para tomar una muestra de 200 ensayos consecutivos, utilizando la ecuación 3.5. Estos ensayos se registraron con ayuda del software de contabilidad Excel, y los resultados obtenidos se presentan en las tablas 4.6 y 4.7. Este proceso permite obtener una estimación precisa de la precisión del robot en su tarea repetitiva, basándose en la teoría estadística y en la selección aleatoria de la muestra.

Tabla 4.6. Porcentaje de precisión del movimiento del robot

DATOS	N° de PRUEBAS	%
Total	200	100
Exactitud	172	86
Inexactitud	28	14

Se debe destacar que los resultados correspondientes a la tabla 4.6 se presentan en la figura 4.20.

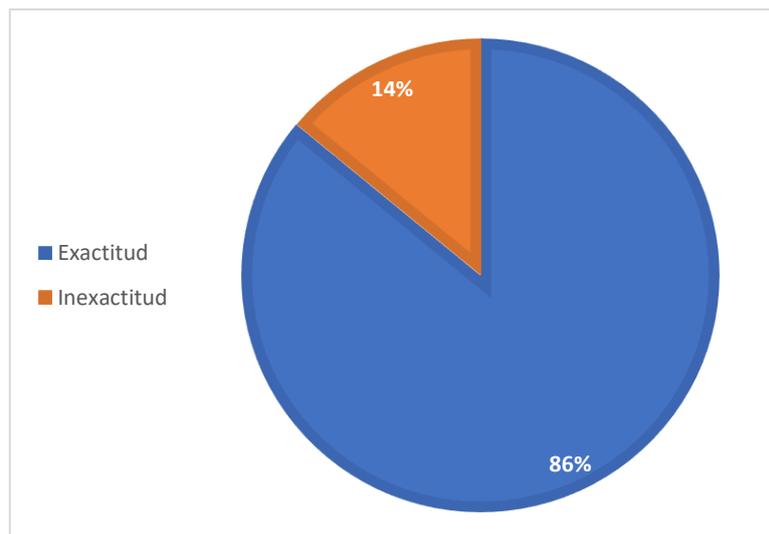


Figura 4.20. Los resultados de precisión obtenidos por el robot antropomórfico.

Tabla 4.7. Porcentaje de precisión en el reconocimiento mediante visión artificial.

DATOS	N° de PRUEBAS	%
Total	200	100
Exactitud	193	96.5
Inexactitud	7	3.5

Se debe destacar que los resultados correspondientes a la tabla 4.7 se presentan en la figura 4.21.

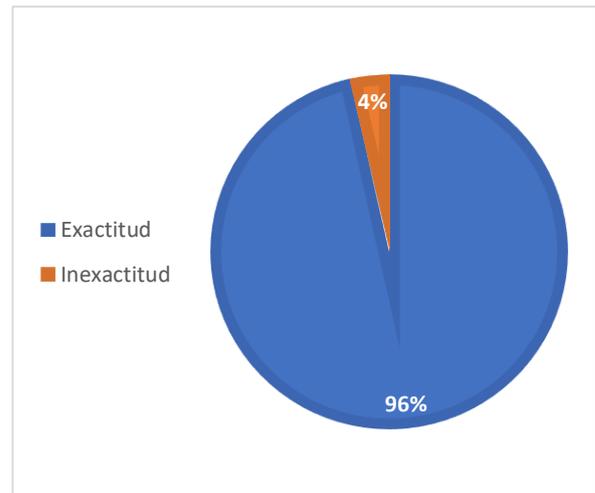


Figura 4.21. Resultados de exactitud de la visión artificial.

Análisis: La evaluación de la precisión tanto del Robot Antropomórfico como de la visión artificial se basa en una ficha de observación que incluye 200 ensayos de pruebas secuenciales, de ello, el porcentaje resultante para los movimientos repetitivos del robot antropomórfico da 28 secuencias fallidas equivalente al 14%, mientras que el 86% muestra 172 secuencias exactas, y para el reconocimiento de objetos mediante visión artificial da un 3.5% que significa un total de 7 pruebas fallidas y un 96.5% en pruebas con éxito que representa un total de 193 aciertos.

Tabla 4.8. Porcentaje de precisión del Robot Antropomórfico con Visión Artificial.

DATOS	%
Total	100
Exactitud	91.25
Inexactitud	8.75

Se debe destacar que los resultados correspondientes a la tabla 4.8 se presentan en la figura 4.22.

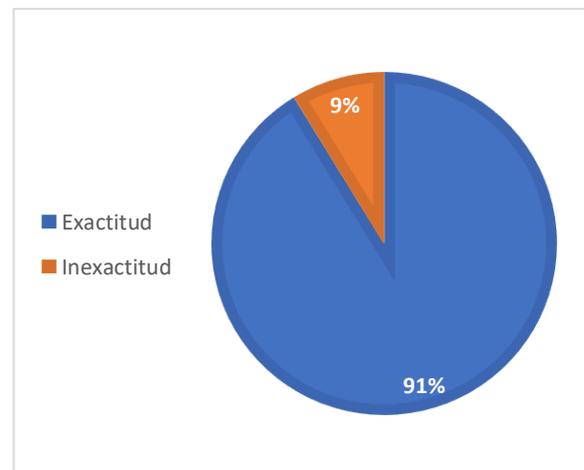


Figura 4.22. Resultados de exactitud del Robot Antropomórfico con Visión Artificial.

Por lo tanto, el Robot Antropomórfico con Visión Artificial tiene una confiabilidad de un 91.25%, en trabajos repetitivos.

4.5.1. Matriz de confusión

En esta matriz se determinará los verdaderos y falsos / positivos y los verdaderos y falsos negativos con los datos arrojados en los ensayos prácticos del robot antropomórfico, como se muestra en la tabla 4.9.

Tabla 4.9. Matriz de confusión

		PREDICCIÓN	
		ROBOT ANTROPOMÓRFICO	VISIÓN ARTIFICIAL
REALIDAD	ROBOT ANTROPOMÓRFICO	172	28
	VISIÓN ARTIFICIAL	7	193

El Anexo D contiene la memoria que registra los datos obtenidos mediante muestreo para llevar un control contable.

4.6. INTERACCIÓN USUARIO – ROBOT

El usuario tiene la opción de clasificar objetos mediante dos categorías:

- Clasificación por Formas
- Clasificación por Colores

Los siguientes pasos funcionan de la misma manera tanto para objetos por color y objetos por forma. El proceso para el encendido del módulo se encuentra en el Anexo E.

Tabla 4.10. Entrenamiento Usuario - Robot

Entrenamiento Usuario - Robot	
Memoria gráfica	Descripción
 <p>Figura 4.23. Posicionamiento de la pieza en la banda transportadora.</p>	<p>Paso 1</p> <p>Se debe posicionar centradamente el objeto en la banda para que la cámara pueda reconocerlo, ya sea por color o por forma.</p>

 <p>Figura 4.24. Color rojo identificado por la cámara del módulo.</p>	<p>Paso 2</p> <p>La cámara reconocerá el objeto y comandará al robot a realizar los movimientos necesarios para que recoja la pieza.</p>
 <p>Figura 4.25. El robot comandado a clasificar el color rojo seleccionado.</p>	<p>Paso 3</p> <p>El robot tomará la pieza y la pondrá en el lugar que se haya establecido previamente por el programador y así las veces que el objeto seleccionado pase por la cámara.</p>

4.7. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTO

4.7.1. Presupuesto

El presupuesto del proyecto de investigación comprende todos los gastos asociados al mismo. En el Anexo G se proporciona un desglose detallado de los costos de cada elemento utilizado:

Tabla 4.11. Presupuesto total.

Presupuesto total	Precio T. (\$)
Elementos de manipulación	330,80
Elementos de señalización	72,50
Componentes de construcción para el prototipo	60,00
Componentes de interconexión	56,35
Actuadores	180,00
Componentes del soporte estructural	22,00
Elementos de la tarjeta de circuito impreso	10,95
Programas informáticos	0,00
Total	732,6

4.7.2. Análisis de Impacto

El proyecto de construcción del robot antropomórfico con visión artificial es muy prometedor. A pesar de que los componentes necesarios para su construcción no se encuentran disponibles en las tiendas de la ciudad de Latacunga, estos se han obtenido en otras localidades a precios asequibles.

Este prototipo ha causado un gran impacto en investigadores y estudiantes de carreras técnicas, y se espera que funcione como una herramienta valiosa para impulsar la interacción con la industria 4.0. Además, se espera que este robot antropomórfico inspire la creación de nuevos proyectos de desarrollo y permita a la robótica liderar en su campo. Con una inteligencia artificial sofisticada y una visión artificial avanzada, este robot puede ser utilizado en una amplia gama de aplicaciones, desde la investigación hasta la industria y la educación.

4.7.2.1. Impacto Práctico

Busca tener un impacto práctico en su uso y ser presentado a los usuarios finales. Se busca fomentar la orientación hacia la robótica y responder a las interrogantes sobre la viabilidad operacional de la tecnología propuesta. Además, permitirá la exploración de nuevas áreas de aplicación y desarrollo en la robótica, y abre la puerta a la posibilidad de resolver problemas y desafíos en diversos campos, como la medicina, la industria y la agricultura. La combinación de la antropomorfía y la visión artificial permitirá una interacción más fluida y natural entre el robot y su entorno, lo que a su vez permitirá una mejor eficiencia y eficacia en tareas específicas.

El robot antropomórfico, gracias a su diseño y construcción, no solo destaca por su eficiencia en cuanto al hardware se refiere, sino que también por la sofisticación en su parte de software. La programación en Python permite visualizar en tiempo real lo capturado por la cámara de visión artificial, identificando con precisión los objetos deseados. Además, el uso de Arduino como controlador permite al robot ejecutar movimientos con precisión y rapidez. Este avanzado diseño y tecnología convierten al robot antropomórfico en una herramienta innovadora y poderosa en el campo de la robótica. Muchos de los usuarios finales que se acercan a este proyecto pueden sentir desinterés o desconocimiento en la robótica, pero tras experimentar el funcionamiento perfecto del robot antropomórfico, es probable que desarrollen un gran interés en el campo. Es por ello por lo que se espera que este proyecto sea un catalizador en el campo de la robótica y un incentivo para nuevos desarrollos.

4.7.2.2. Impacto Tecnológico

El proyecto del robot antropomórfico requiere de una combinación de hardware y software de alta calidad y accesibilidad para garantizar su funcionamiento óptimo. Gracias a la creciente demanda de robótica en Ecuador, se cuenta con la disponibilidad total de las piezas y componentes necesarias para construir el hardware, lo que lo hace accesible para la realización de la propuesta tecnológica. Por otro lado, el software se basará en los programas de Arduino y Python, ampliamente utilizados en la industria robótica, para controlar y visualizar la información capturada por el robot antropomórfico en tiempo real.

Además, el uso de programas como Arduino y Python en el desarrollo del software hace que este proyecto sea compatible con los sistemas actuales y futuros en el ámbito de la robótica. Esto hace que el proyecto sea atractivo e innovador para el mercado y los usuarios finales.

4.7.2.3. Impacto Epistemológico

Además del conocimiento en robótica industrial, el desarrollo del proyecto también brinda la oportunidad de adquirir habilidades en programación y diseño mecánico, utilizando herramientas como Python y software de diseño en 3D para la construcción de un robot antropomórfico con funciones avanzadas. Con ello, se pueden explorar nuevas aplicaciones de la robótica en diferentes industrias y mejorar procesos productivos. La tecnología 4.0 también permite la integración de inteligencia artificial y aprendizaje automático para mejorar la precisión y eficiencia en los movimientos del robot.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Como resultado de la investigación se logró identificar que tan eficiente es la implementación del robot antropomórfico para la clasificación de objetos, debido a que se evidenció mediante la encuesta que de los 100 estudiantes el 70.8% tiene una dificultad para controlar servomotores y motores paso a paso mediante visión artificial.
- Mientras tanto la integración de visión artificial en un brazo antropomórfico tiene como finalidad añadir la capacidad de detectar e identificar objetos por color y forma independientemente de las condiciones lumínicas.
- Por otro lado, al realizar pruebas secuenciales que consta de 200 ensayos para verificar la exactitud del Robot Antropomórfico y de la visión artificial como resultado en

porcentajes se obtuvo que en movimientos repetitivos del robot antropomórfico tiene 28 secuencias fallidas equivalentes al 14%, mientras que el 86% muestra 172 secuencias exactas; y para el reconocimiento de objetos mediante visión artificial se obtuvo un 3.5% equivalente a 7 pruebas fallidas y un 96.5% en pruebas exitosas que representa 193 aciertos.

- En resumen, se utilizó un enfoque de investigación cuantitativa con observación directa para validar los resultados. Se logró una confiabilidad del 91.25% en el reconocimiento de objetos mediante visión artificial del robot antropomórfico.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se sugiere ampliar la investigación sobre sensores que se puedan implementar en la pinza del robot antropomórfico.
- Es importante la capacitación de las personas encargadas de controlar y operar el robot para asegurar un manejo adecuado y eficiente de los motores, aumentando la eficiencia y precisión en la clasificación de objetos.
- Se debe prestar atención al ensamblaje del robot antropomórfico, asegurándose de que se cumpla con los grados de libertad necesarios para su correcto funcionamiento.
- Se debe tomar en cuenta que el área de trabajo tenga la iluminación óptima para el buen funcionamiento del robot antropomórfico.
- Se sugiere realizar evaluaciones exhaustivas del rendimiento y la precisión del brazo antropomórfico con visión artificial para clasificar objetos. Esto puede incluir la creación de un sistema de monitoreo en tiempo real y la realización de pruebas en diferentes entornos y condiciones.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] G. A. Martín, «Diseño, desarrollo y fabricación del prototipo de un brazo robótico articulado controlado por Arduino para la extracción de piezas en impresoras 3D,» Universidad Politécnica de Valencia, Valencia - España, 2018.
- [2] Á. Valencia, "Diseño e implementación de un sistema de reconocimiento y manipulación de frutas utilizando visión artificial y brazo robótico industrial.", Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, 2016.
- [3] V. E. R. R. Andrés Manuel Puca Flores, «Diseño de un prototipo brazo robótico con sistema de visión por computador para la clasificación de empaques por colores,» 1, El Milagro, 2020.
- [4] D. Suárez, A. Gómez, Y. Gallego y J. Ramírez, "Integración de los sistemas embebidos Raspberry Pi y Arduino para el manejo de un brazo robótico mediante una aplicación Android.", Épsilon, vol. 1, n.º 25, diciembre de 2015.
- [5] Anonimo, «Economipedia.com,» Cuarta Revolución Industrial, 10 11 2018. [En línea]. Available: <https://economipedia.com/definiciones/cuarta-revolucion-industrial.html>. [Último acceso: 05 12 2022].
- [6] I. Jáuregui-Lobera, «Guerra química en la I y II Guerras Mundiales,» Instituto de Ciencias de la Conducta y Universidad Pablo de Olavide de Sevilla. España, 2019.
- [7] I. Gomez Lencina, A. Fila, J. B. Balduzzi y Peña, «El Trabajo en la era de la Tercera Revolución Industrial,» Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, 2019.
- [8] A. Sánchez-Castañeda, «La cuarta revolución industrial (Industria 4.0),» Universidad Nacional Autónoma de México - Instituto de Investigaciones Jurídicas, 2019.
- [9] G. F. G. S. Henry Xavier Muñoz Zatizabal, «CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLAJE DE UN BRAZO ROBOT A ESCALA,» Guayaquil , 2018.
- [10] R. Madrigal y E. Idiarte, Robot industriales manipuladores. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya, 2018.
- [11] N. Y. G. GARCÍA, «Diseño y simulación de un gripper para la manipulación,» Bogotá, 2019.
- [12] C. Casa, D. Zapata, "Implementación de un prototipo de robot antropomórfico para la introducción a la industria 4.0, mediante un entorno 3D de realidad virtual", Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, 2022.

- [13] K. Morales, C. Hoyos y J. García, "Diseño y optimización de la estructura mecánica de un brazo robótico antropomórfico desarrollado con fines educativos", *UIS Ingenierías*, vol. 18, n.º 4, 2019.
- [14] J. Huertas, "Diseño y prototipado electrónico del hardware de control para motores paso a paso", Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2017.
- [15] E. Jiva, "Desarrollo de la tele operación de robots industriales y colaborativos mediante técnicas avanzadas de visión artificial", Valencia, 2019.
- [16] R. Agudo, F. Gómez, "Diseño e implementación de robot móvil multitarea con visión artificial y programación en lenguaje Python para la Universidad Politécnica Salesiana", Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, 2022.
- [17] E. Machado y H. Coto, "Sistema de adquisición de datos con Python y Arduino", *Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo*, n.º 3, 2017.