



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE MECATRÓNICA

**DESARROLLO DE UN MÓDULO EDUCATIVO PARA LA
CLASIFICACIÓN DE OBJETOS UTILIZANDO UN BRAZO
ROBÓTICO Y VISIÓN ARTIFICIAL**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTORES: Cantos Párraga Daniel Issac
Guerrero Flores De Valgaz Genesis Elizabeth
TUTOR: Gavilánez Gamboa Tomás Santiago

Guayaquil - Ecuador
2024

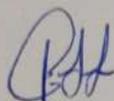
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Cantos Párraga Daniel Issac** con documento de identificación N° **0955017223** y **Guerrero Flores De Valgaz Genesis Elizabeth** con documento de identificación N° **0953190907**; manifestamos que:

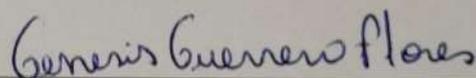
Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo.

Guayaquil, 07 de marzo del año 2024

Atentamente,



Cantos Párraga Daniel Issac
0955017223



Guerrero Flores De Valgaz Genesis
Elizabeth
0953190907

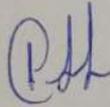
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, **Cantos Párraga Daniel Issac** con documento de identificación N° **0955017223** y **Guerrero Flores De Valgaz Genesis Elizabeth** con documento de identificación N° **0953190907**, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del **Dispositivo Tecnológico: DESARROLLO DE UN MÓDULO EDUCATIVO PARA LA CLASIFICACIÓN DE OBJETOS UTILIZANDO UN BRAZO ROBÓTICO Y VISIÓN ARTIFICIAL**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

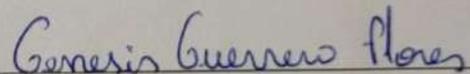
En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo a final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Guayaquil, 07 de marzo del año 2024

Atentamente,



Cantos Párraga Daniel Issac
0955017223



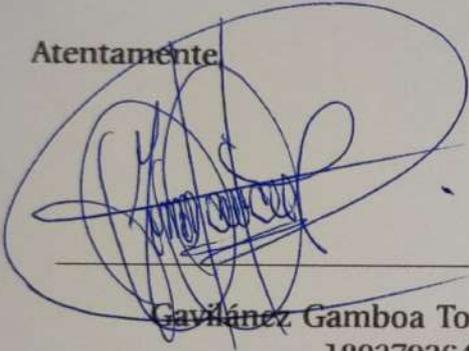
Guerrero Flores De Valgaz Genesis
Elizabeth
0953190907

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Gavilánez Gamboa Tomás Santiago**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DESARROLLO DE UN MÓDULO EDUCATIVO PARA LA CLASIFICACIÓN DE OBJETOS UTILIZANDO UN BRAZO ROBÓTICO Y VISIÓN ARTIFICIAL**, realizado por **Cantos Párraga Daniel Issac** con documento de identificación N° **0955017223** y por **Guerrero Flores De Valgaz Genesis Elizabeth** con documento de identificación N° **0953190907**, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción **Dispositivo Tecnológico** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 07 de marzo del año 2024

Atentamente



Gavilánez Gamboa Tomás Santiago
1802792646

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mi familia, quienes me brindaron su apoyo incondicional para cursar la carrera. Por el deseo de superación, confianza y amor que ellos me transmiten cada día, a fin de poder honrar a mi familia con los conocimientos adquiridos, ellos son mi principal motivación para poder tener un mejor futuro. Este trabajo me lo dedico también a mí, por el esfuerzo y sacrificio que dispuse para culminar la carrera, la misma que en muchas etapas de mi vida parecía ser inalcanzable y hoy con mucho orgullo puedo decir que es una realidad.

Cantos Párraga Daniel Issac

Este trabajo de titulación se lo dedico a mis queridos padres, quienes han sido mi faro y mi apoyo incondicional en cada paso de este arduo camino académico. Su amor y sacrificio han sido la fuerza que me ha impulsado a perseguir y alcanzar mis sueños académicos. A mi familia, por su inquebrantable apoyo durante esta exigente travesía. Y a mis amigos, quienes han sido mis fieles compañeros en los momentos de alegría y desafío, brindándome su amor incondicional desde el inicio hasta el final; siempre han sido mi red de apoyo. A todos ustedes les dedico este trabajo de titulación con profunda gratitud. Gracias por formar parte de mi vida y por inspirarme a alcanzar lo mejor de mí mismo en el ámbito académico..

Guerrero Flores De Valgaz Genesis Elizabeth

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la oportunidad de culminar la carrera; por concederme salud, y todo lo necesario para dar pasos sólidos en cada uno de los peldaños escalados de este proceso. Principalmente le doy gracias por su bondad y amor. Agradezco a los docentes por el esfuerzo, el empeño y la dedicación otorgada en cada una de las clases impartidas, por los proyectos en los que nos permitieron participar y por las experiencias vividas en el transcurso de la carrera. Así también, agradezco a mis compañeros por su apoyo desinteresado en cada momento que lo requerí. Agradezco a mi familia en general, por sus consejos, valores, por el incentivo constante y su ayuda, que me han permitido ser una persona de bien, pero sobre todo por el amor hacía a mí siempre demostrado.

Cantos Párraga Daniel Issac

Agradezco a Dios, por guiarme y darme fuerzas en cada paso de este viaje académico. También quiero agradecer a mis queridos compañeros de aula, cuya compañía y apoyo han hecho este camino mucho más llevadero y enriquecedor. A mis estimados profesores, quienes con su dedicación y conocimiento han sido fuentes de inspiración y sabiduría durante mi formación académica. A mi tutor, por su orientación y paciencia en cada etapa de este proceso de aprendizaje. Y a mis jefes, por su comprensión y apoyo constante, permitiéndome dedicarme a mis estudios y no obstaculizando mi meta de completar mi carrera. A todos ustedes les estoy profundamente agradecido por contribuir de manera significativa a mi crecimiento personal y profesional. Sin su apoyo y aliento, este logro no sería posible.

Guerrero Flores De Valgaz Genesis Elizabeth

RESUMEN

El presente proyecto de tesis aborda el "Desarrollo de un Módulo Educativo para la Clasificación de Objetos Utilizando un Brazo Robótico y Visión Artificial". Se centra en el desarrollo de un sistema de control para un brazo robótico capaz de clasificar objetos geométricos utilizando visión artificial. La metodología se enfoca en la integración de una Raspberry Pi programada en Python a través de la función Thonny, conectada a periféricos mediante una interfaz HMI. Se destaca el uso de Tkinter para la interfaz gráfica del menú y el control del brazo robótico desde distintos ejes de movimientos. Se diseñaron clases de rutinas independientes para abordar aspectos como la cinemática directa, cinemática inversa y visión artificial. Los resultados muestran una precisión en la posición del efector final del (90% comparado con los resultados del software de simulación). Mientras que el reconocimiento y clasificación de objetos considerando color y forma tuvo una efectividad del 90% y clasificación de objetos 95%. Finalmente, se implementaron tres prácticas de laboratorio en donde se pudieron relacionar los principios matemáticos de la cinemática del robot utilizando el modelo propuesto.

Palabras claves: BRAZO ROBÓTICO, VISIÓN ARTIFICIAL, CLASIFICACIÓN, CINEMÁTICA.

ABSTRACT

This thesis project addresses the "Development of an Educational Module for the Classification of Objects Using a Robotic Arm and Artificial Vision". It focuses on the development of a control system for a robotic arm capable of classifying geometric objects using artificial vision. The methodology focuses on the integration of a Raspberry Pi programmed in Python through the Thonny function, connected to peripherals through an HMI interface. The use of Tkinter stands out for the graphical interface of the menu and the control of the robotic arm from different axes of movement. Separate routine classes were designed to address aspects such as forward kinematics, inverse kinematics, and computer vision. The results show an accuracy in the position of the end effector of 90 % compared to the results of the simulation software. While the recognition and classification of objects considering color and shape had an effectiveness of 90 % and classification of objects 95

Keywords: ROBOTIC ARM, ARTIFICIAL VISION, CLASSIFICATION, KINEMATICS.

Índice

I INTRODUCCIÓN	13
II PROBLEMA	16
III JUSTIFICACIÓN	17
IV OBJETIVOS	18
IV-A Objetivo general	18
IV-B Objetivos específicos	18
V FUNDAMENTOS TEÓRICOS	19
VI INTRODUCCIÓN A LA ROBÓTICA	19
VI-A Definición	19
VI-B Clasificación de robots	19
VI-C CARACTERÍSTICAS DE UN ROBOT	21
VI-C1 Morfología	21
VI-C2 Volumen de trabajo	21
VI-C3 Precisión	22
VI-C4 Capacidad de carga de un sistema manipulador	22
VI-D COMPONENTES DE UN ROBOT	23
VI-D1 Estructura Mecánica	23
VI-D2 Transmisiones y reductores	24
VI-D3 Actuadores	25
VI-D4 Efecto Final	26
VI-D5 Sistemas electrónicos	27
VI-D6 Controlador	27
VI-D7 Dispositivos de entrada y salida de datos	27
VI-E ROBOTS COMERCIALES	29
VI-E1 Robot Cartesiano	29
VI-E2 Robot Cilindrico	30
VI-E3 Robot esférico o polar	30
VI-E4 Robot angular o antropomórfico	30
VI-E5 Robot Scara	31
VI-E6 Robot Puma	31
VI-E7 Robots de servicio y teleoperados	31
VI-F POSICIÓN,ORIENTACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE UN CUERPO RÍGIDO	32
VI-F1 Cinemática directa	33
VI-F2 Matriz de transformación homogénea	33
VI-F3 Denavit Hartenberg	34
VI-F4 Cinemática Inversa	35
VI-G VISIÓN ARTIFICIAL	35
VI-G1 Diagrama de aplicación de visión artificial	35
VI-G2 Etapas del procesamiento de de imagenes	36
VI-G3 Métodos de captación de imágenes	37
VII MARCO METODOLÓGICO	39
VII-A Calibración - Espacio de trabajo	40
VII-B Cinemática	40

VII-B1 Simulación	44
VII-B2 Visión Artificial	45
VII-B3 Software	48
VII RESULTADOS	51
IX PRESUPUESTO Y GASTOS	55
X CRONOGRAMA Y ACTIVIDADES A DESARROLLAR	56
XI CONCLUSIONES	57
XII RECOMENDACIONES	58
XIII ANEXOS	61

Índice de figuras

1	Instalación de Robots Industriales Anuales 2017-2022 y 2023-2026.	14
2	Instalaciones anuales de robots industriales. 15 mercados más grandes 2022.	14
3	Algunos tipos de robots actualmente existentes.	21
4	Robot Cartesiano.	22
5	Robot Cilíndrico.	22
6	Precisión.	22
7	Estructura mecánica y elementos constituidos de un robot.	23
8	Distintos tipos de articulaciones para robots.	24
9	Tipos de actuadores.	25
10	Sistema de Control.	28
11	Elementos de entrada y salida.	28
12	Dispositivos de entrada y salida de datos.	29
13	Robot Cartesiano.	29
14	Robot Cilíndrico.	30
15	Robot Esférico o polar.	30
16	Robot Angular o antropomórfico.	31
17	Robot Scara.	31
18	Robot serial manipulador equivalente a un brazo humano.	32
19	Algunos tipos de robots actualmente existentes.	32
20	Diagrama de aplicación de visión artificial.	36
21	Secuencia del proceso.	36
22	Etapas de la visión artificial.	37
23	Sistema.	39
24	Diagrama de flujo de proceso.	39
25	Esquema cinemático del manipulador de 5 DOF.	40
26	Matriz Homogénea	42
27	Eslabones de referencia para cinemática inversa de posición.	42
28	Proyección del último eslabón para determinar coordenadas de la muñeca.	43
29	Resultados del modelado de la cinemática directa.	45
30	Implementación del Sistema.	46
31	Representación esquemática del funcionamiento del sistema de visión artificial.	46
32	Captura de imágenes utilizando la cámara web.	47
33	Imagen Binarizada.	48
34	Imágenes resultado de la aplicación del algoritmo de canny.	48
35	Pantalla Principal.	49
36	Ventana de Cinemática Directa.	49
37	Ventana Cinematica Inversa.	50
38	Ventana Visión Artificial.	50
39	Medición de la posición Final.	52
40	Detección.	52
41	Encuesta 1.	53
42	Encuesta 2.	54
43	Encuesta 3.	54
44	Guia 1	61
45	Guia 2	62
46	Guia 3	63

Índice de tablas

I	Clasificación de Robot según la AFRI.	19
II	Clasificación de robots industriales en generaciones.	20
III	Clasificación de robots según T.M. Knasel.	20
IV	Sistemas de transmisión para robots.	25
V	Tipos de Sujección.	27
VI	Parámetros de Denavit-Hartenberg.	41
VII	Comparación entre coordenadas teóricas y reales.	51
VIII	Porcentaje de error en las coordenadas X, Y y Z en la cinemática Directa.	51
IX	Condiciones para clasificar las figuras.	52
X	Resultados de las pruebas.	53
XI	Cotización de Gastos de desarrollo. Elaborado por Autores.	55
XII	Cronograma de Actividades	56

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, bajo la influencia de factores como la epidemia global y los cambios geopolíticos, la integración de robots e inteligencia artificial está provocando cambios sin precedentes. Este fenómeno es parte de tendencias globales más amplias, desde la reducción de la fuerza laboral global hasta el aumento del comercio electrónico y la necesidad urgente de sostenibilidad de la cadena de suministro [1].

Al mismo tiempo, la robótica y la inteligencia artificial se han convertido en componentes fundamentales del desarrollo tecnológico, que abren nuevos horizontes en diversos campos de aplicación. Se han observado algunos trabajos que mezclan el concepto de manipulación de objetos utilizando brazos robóticos ayudados por visión artificial. Estos esfuerzos han dado lugar a avances significativos en varias áreas de aplicación, mejorando la eficiencia y precisión en tareas que van desde la fabricación hasta la asistencia en el entorno médico [1].

La Federación Internacional de Robótica enfatiza que los robots industriales y de servicios brindan soluciones efectivas para la automatización, liberando a los trabajadores de tareas sucias, tediosas y peligrosas, y cerrando la brecha de productividad. Por ejemplo, Japón se está preparando para afrontar una escasez de mano de obra en 2024 provocada por las nuevas normas sobre horas extras para los camioneros, el llamado "problema de 2024". Ante esta situación, los países líderes en la producción de robots buscan soluciones técnicas no solo a los problemas logísticos, sino también a diversos problemas industriales creados por la nueva legislación. En la industria del transporte por carretera, el promedio de horas de trabajo anuales de los conductores de camiones pesados japoneses es muy alto, y la introducción de robots móviles en el transporte y la logística se considera clave. Estas soluciones no solo ahorran tiempo a los camioneros, sino que también reducen los errores en el cumplimiento de pedidos al automatizar tareas repetitivas como la recolección y el embalaje. Además, los robots de almacén, que van desde sistemas autónomos compactos hasta grandes sistemas automatizados de almacenamiento y recuperación, pueden acelerar las operaciones y garantizar la seguridad al manipular materiales pesados y peligrosos [1].

El proyecto de tesis presentado explora los fundamentos de estos avances, desde los conceptos básicos de robótica y visión artificial hasta la programación y control de brazos robóticos. Ayuda a desarrollar habilidades esenciales para formar a los futuros profesionales en un período de transformación impulsado por la robótica y la inteligencia artificial.

En el informe [1], titulado en la figura [1] ('Instalaciones de robots industriales anuales 2017-2022 y 2023-2026'). Según la Federación Internacional de Robótica (IFR), las últimas estadísticas muestran el aumento de los robots de servicios de carga especializados, y se espera que las ventas globales aumenten un 44% más de 86.000 unidades para 2022. En el Informe Mundial de Robótica de 2023 que se detallan en la figura [1], Asia lidera con el 73% de las instalaciones, Europa con el 15% y América con el 10%. La base mundial de robots industriales alcanzará las 553.052 unidades en 2022, un 5% más que el año anterior. El mercado de robots industriales batió un récord mundial por segundo año consecutivo, superando las 500.000 unidades. La presidenta de la Federación Internacional de Robótica, Marina Behr, destacó que para 2023, cuando el número de robots en el mundo supere las 590.000 unidades, se espera un crecimiento del 7% [1].

En el informe [1], titulado en la figura [2] ('Instalaciones anuales de robots industriales: 15 mercados más grandes 2022'). China se convirtió en el mercado más grande, con un aumento del 5% en el número de máquinas hasta 290.258 unidades. Japón ocupó el segundo lugar, con un aumento del 9% a 50.413 unidades. En Europa, se matricularon 70.781 unidades en la UE, un aumento del 5% y el mayor usuario, Alemania, representa el 36% del mercado. En América, las instalaciones aumentaron un 8% a 56.053 unidades, con Estados Unidos a la cabeza con un crecimiento del 10%. Se espera que el mercado de robots industriales crezca un 7% en 2023, con un número global superior a 590.000 unidades. El informe predice que para 2024 las ventas anuales superarán la marca de 600.000 [1].

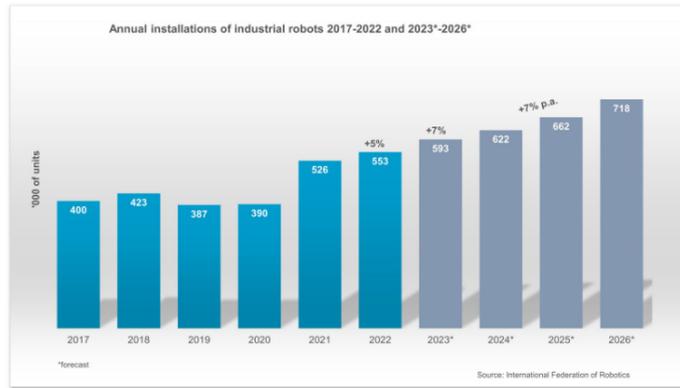


Figura 1. Instalación de Robots Industriales Anuales 2017-2022 y 2023-2026.

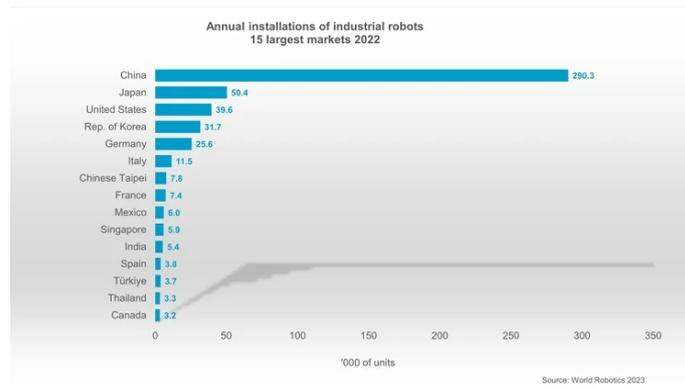


Figura 2. Instalaciones anuales de robots industriales. 15 mercados más grandes 2022.

En Ecuador, Marco Nasimba, gerente general de Henaselec y representante comercial de Atlas Robots, dijo que la implementación de sistemas automatizados ha demostrado ser la clave para reducir la variabilidad, la operación continua sin interrupciones y reducir significativamente los costos de operación y utilización. Reducción de espacio físico respecto a métodos manuales. Con Henaselec, Atlas Robots es líder en el desarrollo de equipos robóticos estandarizados para tareas como el apilado automatizado y el despaletizado de diversos materiales. Programados con software de código abierto, los robots destacan por su capacidad de ser controlados de forma intuitiva sin necesidad de que el usuario tenga conocimientos técnicos. La empresa también demuestra su compromiso con la sostenibilidad renovando robots usados para la industria automovilística. Si bien la introducción de estas tecnologías es un fenómeno relativamente nuevo en Ecuador, Nasimba enfatizó la necesidad de invertir en tecnología, capacitación y obtener apoyo gubernamental para facilitar la automatización de los procesos industriales y aumentar la eficiencia y la productividad. Un ejemplo llamativo de esta transformación es General Motors (GM-OBB Ecuador), donde la integración de automatización y herramientas de automatización apoyadas en aplicaciones de big data permite la producción eficiente de 46 vehículos D-Max por día, un total aproximado de 11.150 unidades al año. La empresa no sólo despliega robots colaborativos en áreas que no requieren intervención manual, como soldadura y pintura, sino que también utiliza la Industria 4.0 para realizar un mantenimiento predictivo basado en datos analíticos. Siempre ha estado en el primer lugar en la región y en el mundo en términos de indicadores de calidad y productividad. Además de la industria automotriz, la planta de Continental Tire Andina en Cuenca también se destaca por el uso de última tecnología. La compañía planea

invertir hasta 2027, invirtiendo más de 7,5 millones de dólares a finales de año y añadiendo alrededor de 5,9 millones de dólares en 2024. La introducción del sistema IZM y la introducción de los equipos de producción de neumáticos más avanzados es una prueba tangible de su compromiso con la automatización y la mejora continua [2].

II. PROBLEMA

El desarrollo de habilidades técnicas y la comprensión de conceptos clave en áreas como la robótica y la visión artificial son cada vez más importantes en las instituciones educativas. La enseñanza actual se centra en abastecer conocimientos teóricos en abundancia y se desestima ejercicios prácticos en los laboratorios y eso no logra abordar de manera integral aspectos muy importantes en el área práctica, esto ocasiona la carencia de oportunidades para enfrentar problemas complejos en aplicación de algoritmos en programas de alto nivel, así como también técnicas avanzadas para experimentar la integración de sistemas reales físicamente. [3].

La introducción de tecnología avanzada, como los brazos robóticos, en el entorno educativo plantea desafíos importantes. La adquisición de robots industriales en instituciones educativas puede suponer una inversión costosa debido a diferentes factores, tales como el precio de los robots, los gastos asociados a su integración los costos adicionales de periféricos, como los efectores finales y los sistemas de visión[4]. Estos elementos combinados incrementan considerablemente los costos totales. En términos generales, los precios de los robots manipuladores disponibles en el mercado son inasequibles para la mayoría de instituciones educativas [5]. El elevado precio de los robots utilizados con propósitos educativos y de entrenamiento limita el uso de robots con propósitos educativos. Además, existen otros desafíos pedagógicos y de usabilidad, el cual se enfoca en la experiencia del usuario y la efectividad pedagógica del módulo donde se pretende realizar estudios cualitativos y cuantitativos para evaluar la usabilidad del módulo, la interfaz de usuario, la comprensión de los conceptos presentados y la retroalimentación de los estudiantes. El desarrollo de módulos robóticos para la clasificación de objetos mediante visión artificial plantea varios retos técnicos y de diseño, por ejemplo la calibración y precisión del brazo robótico lo cual implica ajustar sus parámetros y configuraciones para garantizar que su movimiento sea preciso y exacto al interactuar con los objetos. [6].

La integración y sincronización efectiva entre el sistema de visión artificial y el control del brazo robótico es fundamental ya que se necesita garantizar que la información proporcionada por la visión artificial se utilice de manera precisa y oportuna por el brazo robótico. Esto incluye aspectos como la transmisión rápida y precisa de datos, la interpretación correcta de instrucciones y la ejecución coordinada de acciones para realizar las tareas de clasificación de manera eficiente [7].

Además la elaboración de dicho proyecto implica un desarrollo de métodos que permitan calcular de manera rápida y precisa la posición y orientación del efector final cuando se conocen los valores de las articulaciones (cinemática directa). Del mismo modo, se abordará el cálculo adecuado de los ángulos y posiciones de las articulaciones cuando se requiere alcanzar una posición y orientación determinada del efector final (cinemática inversa) [8].

Considerando que la robótica es parte integral del desarrollo de la sociedad y la educación, el no contar con módulos que permitan su análisis y estudio hacen de esta tecnología inasequible para la mayoría de instituciones educativas[9].

III. JUSTIFICACIÓN

Hoy en día la implementación y el uso de la tecnología se ha tornado muy común en diversas áreas, los sistemas robóticos desempeñan un papel importante en sectores comerciales e industriales dado que son los que frecuentemente implementan automatización en los sistemas de; control, distribución y entre otros[10]. En el ámbito educativo, se pueden identificar dos enfoques distintos en el uso de la programación y la robótica como herramientas de apoyo en el aula. Por un lado, encuentra la robótica y la programación educativa, que se refiere a la utilización de elementos físicos y programación para motivar a los estudiantes a construir, programar, desarrollar habilidades de razonamiento lógico, pensamiento crítico, resolución de problemas, creatividad y colaboración [11]. Por otro lado, se encuentra la programación y la robótica como elementos sociales, donde se emplean en forma de juegos o gamificación, permitiendo que sistemas autónomos o semiautónomos interactúen con humanos u otros agentes físicos o de software en roles como entrenador, compañero, dispositivo tangible o registro de información [12].

La robótica en el campo industrial y educativo es ampliamente utilizada, como por ejemplo el desarrollo un brazo robótico para manipular objetos aplicado al ensamblaje de partes. [13]. Así mismo se implementó un brazo robótico capaz de participar en partidas de ajedrez contra un oponente humano, utilizando como base un sistema de visión artificial, el cual tuvo un impacto educativo al motivar e inspirar a los estudiantes, mostrar la aplicabilidad de conceptos teóricos, fomentar el pensamiento crítico y promover un enfoque interdisciplinario en el aprendizaje, considerando que fue un proyecto realizado con bajo costo [14]. Otra aplicación en industria es la implementada por la empresa de automóviles General Motors (GM) en donde los robots realizaban más del 90 % del proceso de soldadura, optimizando sus procesos; donde se puede observar la importancia del conocimiento práctico y teórico de la robótica en la vida profesional del estudiante [15].

Finalmente, el sistema desarrollo por los estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana cuyo objetivo principal fue específicamente localizar un objeto dentro de un área de trabajo para recoger y trasladarlo desde un punto hacia otro demostrando lo didáctico y práctico que es tener este tipos de módulos en las universidades y usarlos con fines prácticos ya que implemente varios conceptos de la robótica.

El presente proyecto pretende desarrollar un módulo robotizado para el reconocimiento y clasificación de objetos mediante el uso de un brazo robótico y visión artificial. El sistema será controlado mediante un HMI para proporcionar a los estudiantes de diversas carreras técnicas diferentes prácticas experimentales, las cuales ayuden a aplicar conceptos prácticos y potenciar habilidades mencionadas anteriormente tomando en cuenta que este módulo a desarrollar representa un bajo costo comparado con el uso de un robot de mayor escala el cual en muchas ocasiones no esta al alcance de planteles educativos [16].

Se ha evidenciado que la robótica es utilizada en el campo industrial y educativo. Adicionalmente, en la Universidad Politécnica Salesiana se han desarrollado aplicaciones de robótica educativa como por ejemplo la desarrollada por [17]. el cual consiste de un brazo articulado de seis grados de libertad, con el fin de realizar clasificación de productos mediante la lectura de códigos de barras; sin embargo; el brazo robótico únicamente trabaja con posiciones fijas. Esta propuesta busca clasificar objetos en cualquier posición dentro del área de trabajo del robot. En base a los argumentos planteados con anterioridad, se establece una clara razón para llevar a cabo este proyecto en particular.

IV. OBJETIVOS

IV-A. Objetivo general

- Implementar un brazo robótico para la clasificación precisa de objetos utilizando técnicas de visión artificial.

IV-B. Objetivos específicos

- Establecer el espacio de trabajo real del brazo robótico analizando su cinemática.
- Desarrollar un algoritmo de visión artificial para la clasificación de objetos según su forma física.
- Implementar un controlador y una pantalla HMI para la validación del proyecto empleando al menos tres prácticas de laboratorio.

V. FUNDAMENTOS TEÓRICOS
VI. INTRODUCCIÓN A LA ROBÓTICA

VI-A. *Definición*

Un robot articulado es un manipulador reprogramable multifuncional diseñado para mover materiales, piezas o dispositivos especializados a través de movimientos programados variables para la realización de una diversidad de tareas [18].

- ISO 8373: La norma ISO 8373 es un estándar internacional que establece definiciones y terminologías para robots industriales y sistemas integradores, asegurando que sea claro y tenga consistencia en la comunicación del ámbito industrial. Se actualiza regularmente para reflejar avances tecnológicos y prácticas industriales, ofreciendo especificaciones y clasificaciones clave para la comprensión y estandarización en la robótica industrial [18].

VI-B. *Clasificación de robots*

Los robots se pueden clasificar según diversas variables, pero la clasificación más importante es por generación. Este enfoque permite comprender el desarrollo evolutivo de los robots desde sus inicios. Adicionalmente, según la Asociación Francesa de Robótica Industrial – AFRI, fueron clasificados en generaciones como se puede ver en la Tabla I según su cronología. Como se detalla en la tabla II y según su Clasificación de robots industriales por generaciones. La Tabla III presenta una clasificación de robots basada en el trabajo de T.M. Knasel. Esta clasificación organiza los robots en diferentes generaciones, cada una con características específicas en términos de control, movilidad y aplicaciones típicas. La tabla proporciona una visión general de cómo ha evolucionado la tecnología de los robots a lo largo del tiempo, desde sus primeras aplicaciones hasta las más avanzadas que incorporan inteligencia artificial.

Tabla I
CLASIFICACIÓN DE ROBOT SEGÚN LA AFRI.

Clasificación	
TIPO A	Manipulador con control manual o telemando.
TIPO B	Manipulador automático con ciclos preajustados; regulación mediante fines de carrera o topes; control por PLC; accionamiento neumático, eléctrico o hidráulico.
TIPO C	Robot programable con trayectoria continua o punto a punto. Carece de conocimiento sobre su entorno.
TIPO D	Robot capaz de adquirir datos de su entorno, readaptando su tarea en función de estos.

Tabla II
CLASIFICACIÓN DE ROBOTS INDUSTRIALES EN GENERACIONES.

Clasificación	
1º Generación	Repite la tarea programada secuencialmente. No toma en cuenta las posibles alteraciones de su entorno.
2º Generación	Adquiere información limitada de su entorno y actúa en consecuencia. Puede localizar, clasificar (visión) y detectar esfuerzos y adaptar sus movimientos en consecuencia.
3º Generación	Su programación se realiza mediante el empleo de un lenguaje natural. Posee la capacidad para la planificación automática de sus tareas.

Tabla III
CLASIFICACIÓN DE ROBOTS SEGÚN T.M. KNASEL.

Clasificación				
Generación	Nombre	Tipo de Control	Grado de Movilidad	Usos mas frecuentes
1 (1982)	Pick & Place	Fines de carrera, aprendizaje	Ninguno	Manipulación, servicios de maquinas
2 (1984)	Servo	Servocontrol, trayectoria continua, progr. condicional	Desplazamiento por vía	Soldadura, pintura
3 (1984)	Ensamblado	Servos de precisión, visión, tacto.	Guiado por vía	Ensamblado, desbardado
4 (1984)	Móvil	Sensores Inteligentes	Patas, Ruedas	Construcción, mantenimiento
5 (1984)	Especiales	Controlados con técnicas de IA	Andante, saltarín	Militar, espacial

Clasificación del robot industrial La IFR distingue en cuatro tipos de robots:

- Robot secuencial
- Robot de trayectoria controlable
- Robot adaptativo
- Robot telemanipulado

La NASA (1978) define un robot operado remotamente como una máquina controlada remotamente por un operador. Estos robots no son autónomos ni están preprogramados, sino que dependen de comandos y acciones emitidos por un controlador humano a través de una interfaz remota. A continuación se muestran algunas de las características clave y ejemplos de bots remotos[18].

- Control Remoto: Los robots controlados remotamente se controlan de forma remota mediante dispositivos como joysticks, paneles de control o interfaces avanzadas. Los operadores pueden enviar comandos y controlar los movimientos y acciones del robot utilizando estos dispositivos.

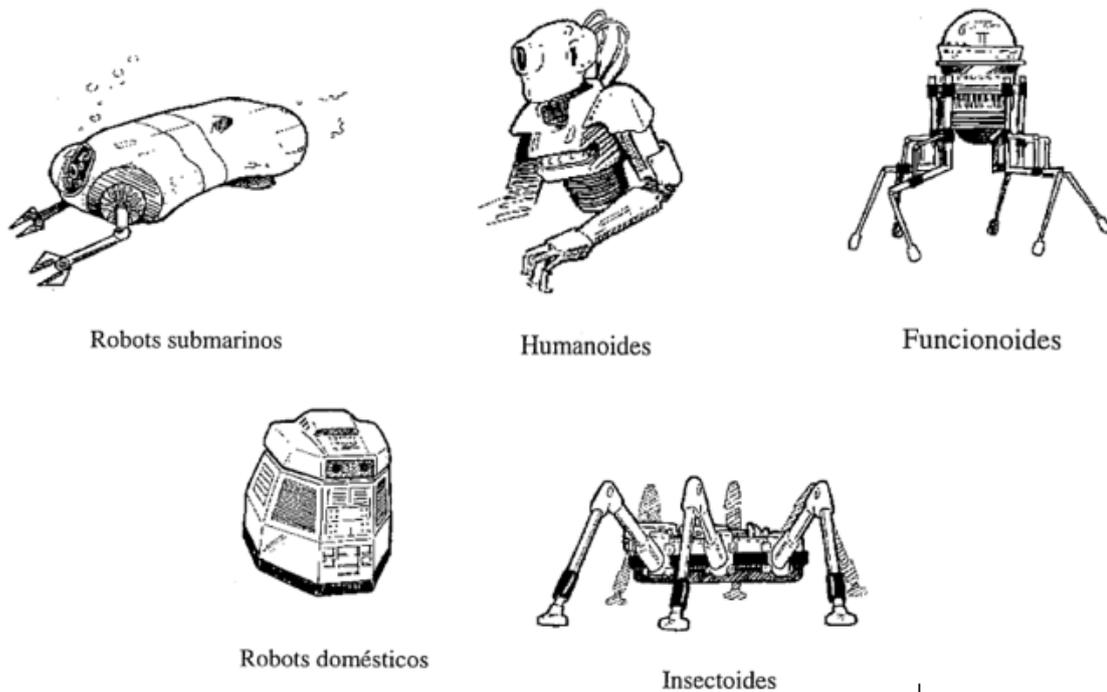


Figura 3. Algunos tipos de robots actualmente existentes.

VI-C. CARACTERÍSTICAS DE UN ROBOT

VI-C1. Morfología: La morfología de un robot se refiere a su estructura física y forma externa, que cambia según su uso. Incluye un cuerpo o chasis que proporciona soporte, extremidades o manipuladores para la interacción física, sensores que recopilan información del entorno, actuadores que realizan movimiento, una fuente de energía, una estructura interna con componentes electrónicos y movimiento que se adapta al sistema objetivo. Las formas pueden variar desde robots industriales y domésticos hasta sistemas médicos, de exploración espacial y otros tipos de sistemas robóticos.

VI-C2. Volumen de trabajo: La movilización de robots y las restricciones de rendimiento se definen. El área de trabajo del robot se refiere a un área de tres dimensiones donde el robot puede someterse a una cirugía. Esta área define los límites dentro de los cuales el robot puede moverse y realizar tareas. A continuación se presentan algunos aspectos clave de las cargas de trabajo robóticas. Las características que identifican a un robot incluyen su carga de trabajo y ciertos parámetros como el control de resolución, la precisión y la repetibilidad. Para ilustrar qué es una carga normal e irregular, utilizaremos varios robots como modelos. Los robots cartesianos y cilíndricos realizan una cantidad de trabajo regular. Un robot cartesiano crea una figura cúbica como se detalla en la figura [8]. El robot de configuración cilíndrica presenta un volumen de trabajo parecido a un cilindro como vemos en la figura [9] (normalmente este robot no tiene una rotación de 360°) [18].

Carga de trabajo intermitente para robots con configuración polar, robots con brazos articulados y modelos SCARA.

La planificación de rutas en las cargas de trabajo es muy importante para garantizar un movimiento fluido y eficiente del robot. Esto incluye la consideración de obstáculos, limitaciones de espacio y requisitos de seguridad.

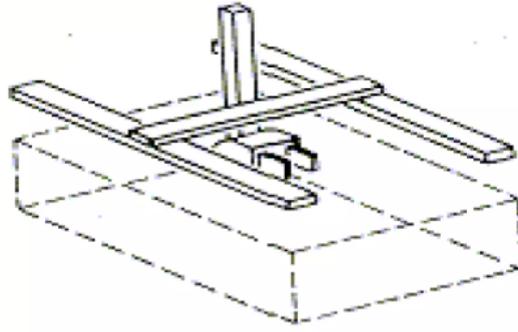


Figura 4. Robot Cartesiano.

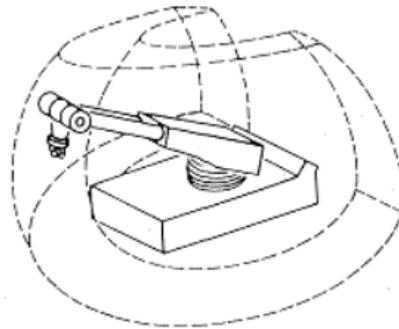


Figura 5. Robot Cilíndrico.

VI-C3. *Precisión:* La precisión de movimiento en robot industrial depende de tres factores:

- **Repetibilidad:** La repetibilidad se refiere a la capacidad del robot para realizar la misma tarea o alcanzar la misma posición de manera consistente en múltiples ejecuciones. Una alta repetibilidad indica que el robot puede reproducir movimientos con precisión.
- **Exactitud Absoluta:** La exactitud absoluta se refiere a qué tan cerca el robot puede llegar a la posición o configuración exacta deseada en el espacio tridimensional. Mide la discrepancia entre la posición real y la posición objetivo.
- **Resolución espacial:** capacidad de un sistema robótico para percibir y procesar detalles finos en su entorno tridimensional.

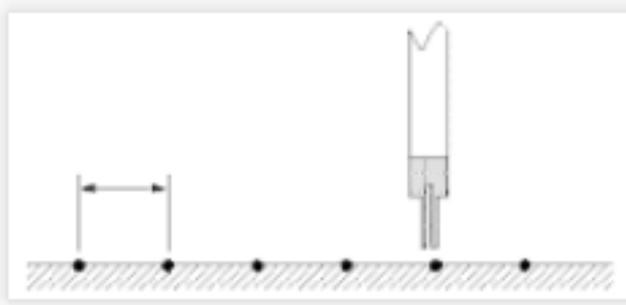


Figura 6. Precisión.

VI-C4. *Capacidad de carga de un sistema manipulador:* La capacidad de carga de un sistema manipulador, ya sea un brazo robótico o un robot industrial, se refiere a la carga máxima que puede

transportar o levantar de forma segura y eficiente. El peso (en kilogramos) que pueden soportar las garras del robot se llama capacidad de carga. A veces, esta información la proporciona el fabricante, incluido el peso de la propia garra. En el modelo de robot industrial, la capacidad de carga de las garras puede alcanzar los 205kg. 0,9kg.

- Capacidad de carga nominal: la carga máxima especificada por el fabricante que el robot puede transportar de forma segura y eficiente en condiciones normales de funcionamiento. Esta potencia se desarrolló teniendo en cuenta factores como la resistencia de la estructura del robot y la capacidad del motor para soportar peso.
- Capacidad dinámica y estática: la capacidad de carga generalmente se divide en capacidad dinámica y estática. Las capacidades dinámicas se refieren a las cargas que un robot puede manejar mientras está en movimiento, como levantar y transportar objetos. La capacidad de carga estática se refiere a la carga que puede soportar cuando está en una posición fija.
- Sobrecarga transitoria: algunos robots pueden tener capacidades de carga transitoria adicionales que pueden soportar cargas pesadas durante períodos cortos de tiempo, pero esto generalmente se hace con precaución y puede afectar la vida útil del robot.

VI-D. COMPONENTES DE UN ROBOT

VI-D1. *Estructura Mecánica:* Desde un punto de vista mecánico, un robot consta de una serie de elementos o articulaciones conectados mediante articulaciones para lograr un movimiento relativo entre cada par de articulaciones sucesivas. La configuración física de la mayoría de los robots industriales se asemeja a la anatomía de una mano humana como se muestra en la figura [6], lo que a veces lleva a términos como cuerpo, brazo, codo y muñeca para referirse a los distintos componentes del robot. El movimiento de cada articulación puede ser traslacional, rotacional o una combinación de ambos. Aunque en teoría existen seis tipos diferentes de juntas, en la práctica los robots solo utilizan juntas rotativas y prismáticas. La estructura mecánica de un robot manipulador se refiere a la disposición física y mecánica que le permite llevar a cabo movimientos y manipular objetos de manera controlada. Los componentes esenciales de la estructura mecánica de un robot manipulador incluyen [18].

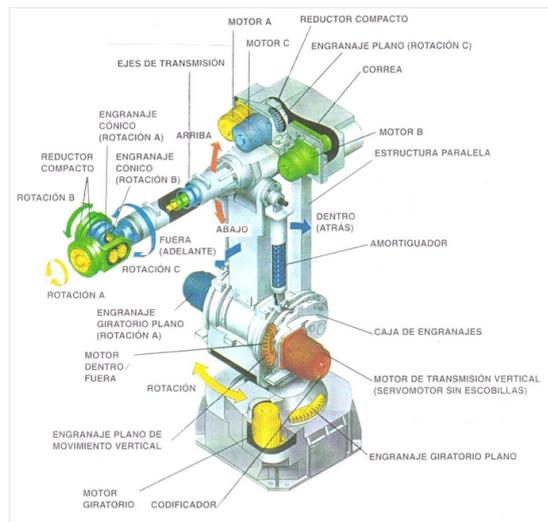


Figura 7. Estructura mecánica y elementos constituidos de un robot.

Base: La base es la parte inferior del robot y proporciona estabilidad y soporte. Puede ser fijo o móvil según el diseño y uso del robot. En algunos casos, la base puede tener una plataforma giratoria que permite que el robot gire alrededor de su eje.

Articulaciones: Son puntos de conexión entre dos articulaciones que permiten el movimiento relativo entre ellas. Existen diferentes tipos de juntas como las rotativas (permiten la rotación) y las prismáticas (permiten la traslación). El número y tipo de articulaciones determinan la libertad de movimiento del robot. Los grados de libertad son las direcciones en las que el manipulador puede moverse o girar. Estos sistemas se utilizan comúnmente en aplicaciones industriales, laboratorios y diversos campos que requieren una manipulación precisa y flexible de objetos.:

- Grados giratorio: Indica la capacidad del robot para girar alrededor de su eje. Por ejemplo, una articulación giratoria en el brazo de un robot proporciona un grado de libertad de rotación.
- Grados prismático: Representa la capacidad del robot para realizar un movimiento de traslación en una dirección determinada. Por ejemplo, las articulaciones prismáticas de los brazos robóticos permiten que la punta del brazo se mueva en línea recta.
- Grados de libertad lineales o cartesianos: se refiere al número de direcciones que la punta del robot puede moverse en un espacio tridimensional (X, Y, Z). El robot puede moverse hacia adelante/atrás, izquierda/derecha y arriba/abajo con tres grados lineales de libertad.
- Grados de libertad de las articulaciones: Se calculan para cada articulación del robot, lo que permite un movimiento independiente. Por ejemplo, un brazo robótico con tres articulaciones giratorias tendrá tres grados de libertad en las articulaciones.
- Grados de Libertad Totales: Es la suma de los grados de libertad articulares, rotacionales y prismáticos. Representa la capacidad general del robot para realizar movimientos y ajustes en su espacio de trabajo.

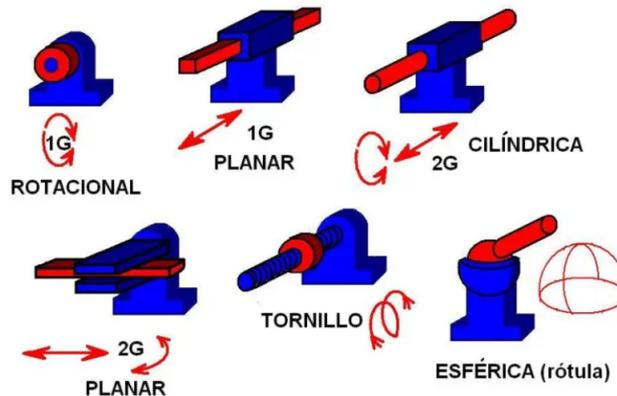


Figura 8. Distintos tipos de articulaciones para robots.

VI-D2. Transmisiones y reductores: Los transmisores llevan el movimiento desde los actuadores hasta las articulaciones del robot. El reductor está integrado en la caja de cambios y su tarea es ajustar el par y la velocidad del actuador según la parte móvil del robot. En general, intentamos colocar los actuadores lo más cerca posible de la base del robot para reducir el peso estático y la inercia de las juntas finales que tienen que experimentar altas aceleraciones. Para conseguirlo se debe utilizar un sistema de transmisión que transfiera el movimiento a las articulaciones. La siguiente tabla resume los distintos sistemas de transporte utilizados en los robots. En la siguiente tabla le detallamos algunos tipos de transmisiones:

Tabla IV
SISTEMAS DE TRASMISIÓN PARA ROBOTS.

Entrada-Salida	Denominación	Ventajas	Inconvenientes
Circular-Circular	Engranaje	Pares Altos	Holguras
	Correa Dentada	Distancia Grande	—
	Cadena	Distancia Grande	Ruido
	Paralelogramo	—	Giro limitado
Circular-Lineal	Cable	—	Deformidad
	Tornillo sin fin	Poca holgura	Rozamiento
Lineal-Circular	Cremallera	Holgura media	Rozamiento
	Paral. Articulado	—	Control difícil
	Cremallera	Holgura media	Rozamiento

Los reductores utilizados en robótica pueden tener diferentes morfologías y estar basados en distintas tecnologías, y en muchas ocasiones vienen incorporados con el actuador.

VI-D3. *Actuadores*: Los actuadores son componentes esenciales en robótica que convierten señales de control en movimiento físico. Pueden utilizar energía neumática, hidráulica o eléctrica. Es generar el movimiento de los elementos del robot según las órdenes de la unidad de control. Cada tipo de actuadores presenta características distintas, como la eficiencia y la precisión, que se deben evaluar cuidadosamente al seleccionar el más adecuado para una aplicación en específica [19].

- Potencia
- Controlabilidad
- Peso y volumen
- Precisión
- Velocidad
- Mantenimiento
- Coste



Figura 9. Tipos de actuadores.

Actuadores neumáticos

Los actuadores neumáticos son la base de la robótica y proporcionan una forma eficiente y versátil de crear movimiento en robots que utilizan aire a presiones de entre 5 y 10 bares. Estos dispositivos se dividen en dos categorías amplias. El primer tipo se utiliza para pequeños robots encargados del transporte de cargas ligeras. Destacan por su rapidez y precisión y son habituales en zonas ATEX o

lugares donde existe riesgo de explosión o incendio [18].

- Cilindros neumáticos: El cilindro convierte la energía potencial del aire comprimido en energía cinética o presión. Posee un émbolo o Pistón que se desliza linealmente dentro del manguito cuando se inyecta aire comprimido.
- Motores neumáticos (de aletas rotativas o de pistones axiales): Utilizan un eje giratorio y aletas para un movimiento continuo mediante presión.

Actuadores hidráulicos

Los actuadores hidráulicos resultan atractivos cuando se trabaja con robots grandes o robots que necesitan transportar grandes cargas útiles. Su principal funcionamiento es convertir la energía del fluido en un trabajo mecánico mediante el bombeo [20].

Aunque los sistemas hidráulicos proporcionan una coordinación precisa de la velocidad y el movimiento y una adecuada relación potencia-peso, tienen desventajas como el ruido y las grandes dimensiones. Además, también se debe tener en cuenta el riesgo de posibles fugas o cambios en las propiedades del fluido de servicio debido a cambios de temperatura [20].

Los actuadores hidráulicos utilizados en la robótica debido a su capacidad para generar fuerzas en un espacio compacto. Estas son algunas de las aplicaciones que son más comunes de estos actuadores en la robótica[20].

- Brazos robóticos: los actuadores hidráulicos se utilizan en el diseño de brazos robóticos para proporcionar la potencia necesaria para levantar y manipular objetos pesados.
- Movimiento de ruedas: Los actuadores hidráulicos se utilizan en robots móviles, para proporcionar la fuerza necesaria para el movimiento de las ruedas.
- Operaciones de sujeción: Los actuadores hidráulicos se utilizan para sujetar objetos y materiales en la fabricación de productos y en procesos de ensamblaje.
- Manipulación de materiales: Los actuadores hidráulicos se utilizan en la manipulación de materiales, como en la clasificación de objetos por tamaño y forma.
- Operaciones de corte y soldadura: Los actuadores hidráulicos se utilizan en la operación de corte y soldadura en la fabricación de productos.
- Industria pesada: son comunes en industrias pesadas como la minería y la construcción que requieren grandes cantidades de energía para realizar tareas específicas.

Actuadores eléctricos

Los actuadores eléctricos se utilizan para sistemas de visión y corrección remota de posición, movimiento de brazos articulados, pegado, fresado, manipulación automática de objetos en laboratorio con alta precisión y velocidad, elevación vertical y desplazamiento de cargas [18].

- Motores de corriente continua (DC): Controlado por inducido, Controlados por excitación
- Motores de corriente alterna: Síncronos, Asíncronos
- Motores paso a paso

VI-D4. Efecto Final: El efector final es responsable de interactuar con el entorno robótico y capaz manipular objetos. Aunque los robots industriales pueden exhibir versatilidad y adaptabilidad a una variedad de aplicaciones dentro de restricciones lógicas, esta versatilidad no se extiende a los miembros finales. Estos elementos están algunos casos especialmente están diseñados para adaptarse a cada tipo de tarea designada [19].

Es posible que Los elementos de sujeción se pueden clasificar según si funcionan como dispositivo de sujeción o como herramienta. Las primeras podrían clasificarse según el tipos de fijación utilizado, y la tabla en detalle se muestran estas las siguientes opciones y los usos más habituales [19].

Tabla V
TIPOS DE SUJECCIÓN.

Tipos de sujeción	Accionamiento	Uso
Pinzas de presión	Neumático o eléctrico	Transporte y manipulación de piezas sobre las que no importe presionar
Pinza de enganche	Neumático o eléctrico	Piezas de grandes dimensiones o sobre las que no se puede ejercer presión
Ventosas de vacío	Neumático	Cuerpos con superficies lisa poco porosa (cristal, plástico, etc)
Electroimán	Eléctrico	Piezas ferromagnéticas

VI-D5. *Sistemas electrónicos*: Para que el robot pueda cumplir con sus tareas con una adecuada precisión, velocidad e inteligencia, el robot debe comprender su estado y el entorno en el que opera. La información sobre su estado interno, especialmente el estado de sus articulaciones, se obtiene a través de medios internos. sensores, mientras que los Sensores externos proporcionan información sobre el entorno del robot: distancia, proximidad, contacto, fuerza, etc. Se utilizan para controlar robots, reconocer y manipular objetos [19].

En robótica, los sensores desempeñan un papel fundamental al permitir que los robots detecten su entorno, tomen decisiones informadas y realicen tareas de forma autónoma. Estos sensores proporcionan información importante que es esencial para que el robot interactúe eficazmente con su entorno. Algunos tipos comunes de sensores son giroscopios, acelerómetros, sensores táctiles y de temperatura, etc [19].

Algunos ejemplos de sensores externos son la visión artificial, los sensores de fuerza, los sensores táctiles, los sensores de distancia.

- Visión artificial: Utiliza cámaras y sistemas de procesamiento de imágenes para interpretar el entorno visual del robot.
- Sensores de Fuerza: Miden las fuerzas aplicadas a través de dispositivos táctiles o fuerzas externas que actúan sobre el robot.
- Sensores de tacto: Detectan el contacto físico con objetos u obstáculos.
- Sensores de distancia: Determinan la distancia entre el robot y objetos cercanos.

VI-D6. *Controlador*: Es el componente responsable de supervisar todas las operaciones del manipulador, desde el desplazamiento hasta los cálculos y el procesamiento de la información. Además de almacenar programas, también recibe y envía señales a otras máquinas utilizando señales de entrada y salida. Dependiendo de los parámetros de control, se definen diferentes niveles de control, lo que da como resultado diferentes tipos de controladores, como controladores de posición, controladores de movimiento, controladores dinámicos y controladores adaptativos [21].

A continuación se muestra una lista de los Tipos de control:

- Control de posición: Su función se limita al manejo y regulación de la posición del elemento terminal.
- Control cinemático: Se encarga de regular tanto la posición como la velocidad del sistema.
- Control dinámico: Considera las propiedades dinámicas del manipulador, incluyendo motores y elementos asociados.
- Control adaptativo: Va más allá de los controles anteriores al tener en cuenta la variación de las características del manipulador en función de la posición.

VI-D7. *Dispositivos de entrada y salida de datos*: Permiten la entrada y visualización de datos del controlador. Generalmente se utiliza una computadora auxiliar para enviar instrucciones al controlador y escribir programas de control. Para aclarar, algunos bots solo tienen uno de estos componentes. En este caso, uno de entrada y salida puede realizar todas las funciones.

- Módulos de Adquisición de Datos.

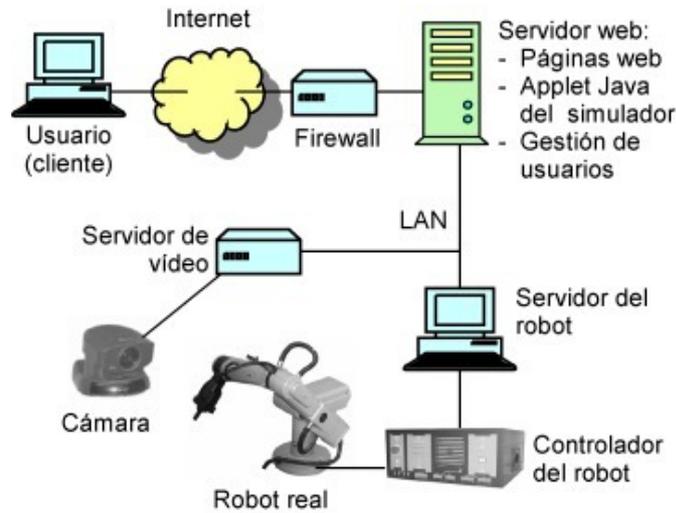
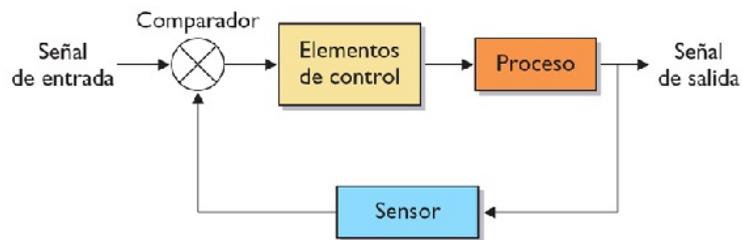


Figura 10. Sistema de Control.



VS

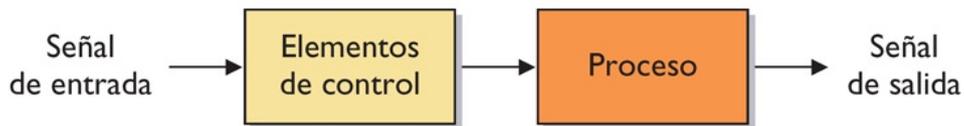


Figura 11. Elementos de entrada y salida.

- Módulos de Control de Potencia
- Módulos de Enseñanza (Teach Pendant).
- Transductores y sensores.
- Elementos motrices o Actuadores finales.

Las señales de entrada y salida son los elementos básicos de los sistemas electrónicos y de procesamiento de información que permiten la comunicación y transferencia de datos entre dispositivos. Por ejemplo, tornos y máquinas herramienta CNC.

Estas señales nos permiten controlar cuándo debe entrar el robot para cargar piezas en la máquina y cuándo debe empezar a trabajar la máquina o robot.

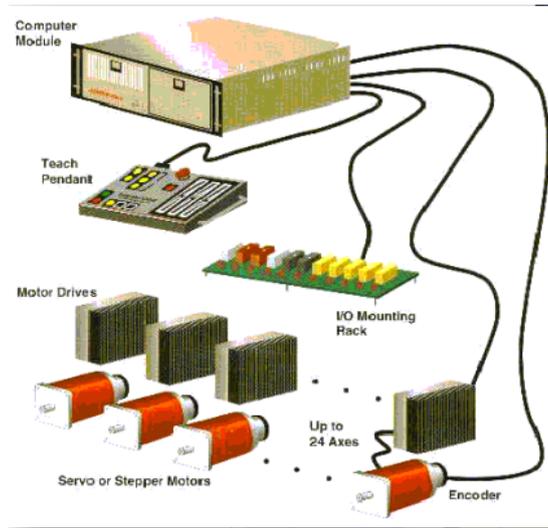


Figura 12. Dispositivos de entrada y salida de datos.

VI-E. ROBOTS COMERCIALES

VI-E1. Robot Cartesiano: Tiene tres ejes de movimiento lineal dispuestos en configuración PPP, perpendiculares entre sí. Esta disposición promueve la creación de robots con alta precisión, velocidad y carga útil constante en toda su longitud, además de proporcionar una gran área de trabajo y un sistema de control simplificado. A pesar de estas ventajas, crean una relación desfavorable entre la carga de trabajo y el espacio que ocupan en la planta. Se utilizan en aplicaciones que requieren movimientos lineales de alta precisión, especialmente cuando el área de trabajo se encuentra principalmente en un plano [22].

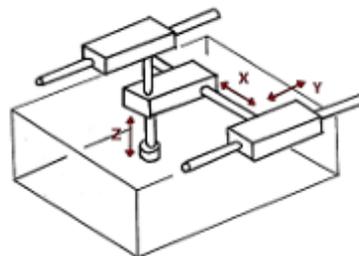


Figura 13. Robot Cartesiano.

VI-E2. *Robot Cilindrico*: Es un robot con configuración RPP caracterizado por un movimiento giratorio en la base y dos ejes lineales verticales, el otro eje lineal es paralelo al eje de la base como se muestra en la figura. La presencia de un eje de rotación le da al robot mayor flexibilidad y velocidad en comparación con un robot cartesiano. Su sistema de control es sencillo y apto para su uso en entornos libres de obstáculos, especialmente cuando la máquina está distribuida radialmente y llega al punto deseado en horizontal [22].

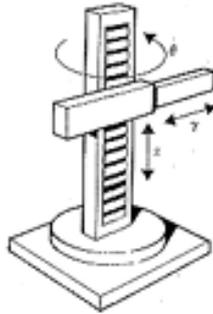


Figura 14. Robot Cilíndrico.

VI-E3. *Robot esférico o polar*: El robot utiliza dos ejes de rotación perpendiculares para moverse en círculo en los planos horizontal y vertical, creando una superficie esférica similar al movimiento de la articulación del hombro o de un cañón. La expansión o compresión de esta esfera se logra moviendo el tercer eje (que actúa como el radio de la esfera) a lo largo de una línea recta. Los robots polares suelen funcionar con sistemas hidráulicos y/o neumáticos y se utilizan principalmente para tareas como carga y descarga de máquinas, paletizado y soldadura por puntos [22].

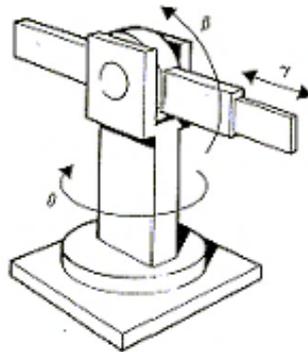


Figura 15. Robot Esférico o polar.

VI-E4. *Robot angular o antropomórfico*: El robot tiene un diseño antropomórfico que imita los movimientos del brazo humano utilizando una estructura de cuatro ejes que representa el torso, los brazos, los antebrazos y las manos. Su movimiento se basa en tres juntas rotativas controladas por coordenadas angulares. El diseño se asemeja a una mano humana, simplificado de manera que el primer eje de rotación está sobre el torso, el 2do y 3er eje permiten la rotación de hombros y codos, se considera ideal para diversas tareas como soldar, poner masilla o pintar con aerosol. llamado

universal". Aunque ofrecen una buena relación carga de trabajo-espacio, la precisión y el número de ejes pueden incrementar significativamente los costos. Además, la necesidad de fabricación de precisión y sistemas de control complejos es un desafío, y la programación cuando los ejes se mueven en el mismo plano puede resultar difícil [22].

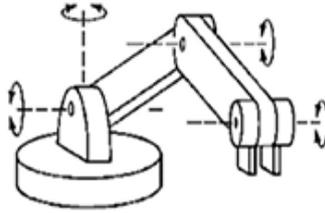


Figura 16. Robot Angular o antropomórfico.

VI-E5. *Robot Scara*: Robot de ensamblaje selectivo complementario"se refiere a un robot que se dobla horizontalmente durante el ensamblaje. Estos robots tienen dos ejes principales que producen un movimiento de rotación sobre una superficie plana que forma un círculo, mientras que un tercer eje mueve el círculo en línea recta para formar un volumen cilíndrico. Se utilizan principalmente para el montaje y montaje de piezas y se distinguen por su precisión, velocidad y flexibilidad en el plano horizontal, así como por su rigidez vertical. Cuentan con un par de juntas giratorias y una junta prismática fijada en coordenadas 'z', 'x' y 'ye', lo que las hace ideales para el montaje de precisión de componentes electrónicos [22].

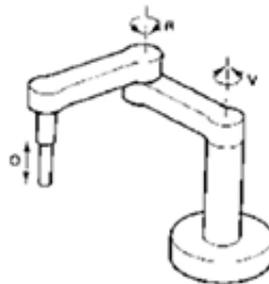


Figura 17. Robot Scara.

VI-E6. *Robot Puma*: Un sistema de robot de 5 (grados de libertad) se refiere a un robot o brazo de robot con cinco grados de movimiento independientes como indica en la figura [3] Cada grado de libertad indica la dirección en la que el brazo del robot puede moverse o girar. Estos sistemas se utilizan comúnmente en aplicaciones industriales, laboratorios y diversos campos que requieren una manipulación precisa y flexible de objetos [18].

VI-E7. *Robots de servicio y teleoperados*: Los robots de servicio son máquinas diseñadas para realizar diversas tareas y servicios en un entorno no industrial. A diferencia de los robots industriales utilizados en la producción y la fabricación, los robots de servicios están diseñados para interactuar con los humanos y realizar funciones en entornos cotidianos. Esto incluye otros robots para la sanidad, la educación, como el robot NAO utilizado en programas educativos para interactuar con los estudiantes y fomentar la participación, y robots domésticos, como los robots aspiradores para la limpieza autónoma

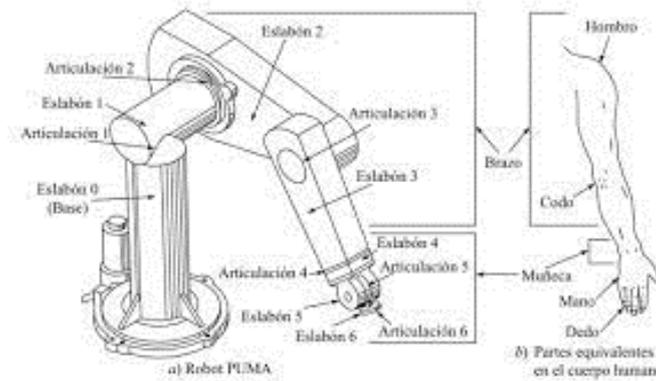


Figura 18. Robot serial manipulador equivalente a un brazo humano.

de suelos y alfombras en el hogar, utilizados también en la oficina, peligrosos. intervención ambiental, aplicaciones espaciales, aplicaciones submarinas y agricultura. Sin embargo, esta definición de robots de servicio no incluye manipuladores remotos porque no son movidos por un programa informático sino controlados directamente por una computadora humana [18].

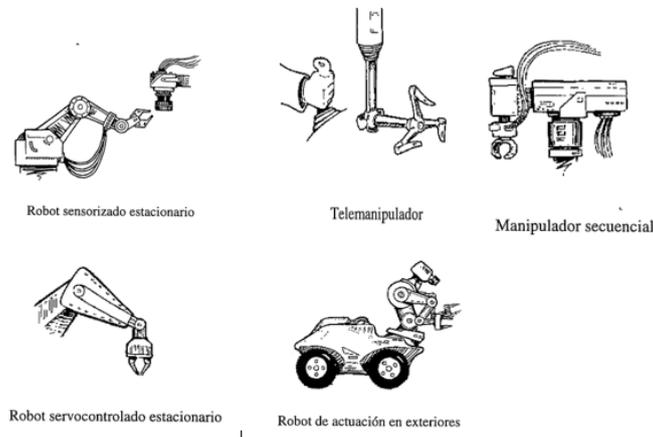


Figura 19. Algunos tipos de robots actualmente existentes.

VI-F. POSICIÓN, ORIENTACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE UN CUERPO RÍGIDO

La ubicación de cuerpos rígidos en robots desempeña un papel crucial en el control y la planificación del movimiento en un entorno tridimensional. Se utiliza un sistema de coordenadas tridimensional, ya sea local al robot o referenciado a un marco inercial externo, para describir la posición y orientación del cuerpo. La posición, representada como un vector (x, y, z) , indica la posición tridimensional relativa a un punto de referencia, mientras que la orientación se expresa mediante ángulos de Euler, matrices de rotación o cuadrantes, determinando la orientación y alineación del cuerpo. Una característica clave del posicionamiento es su pose de seis grados de libertad (3 GD de posición y 3 GD de orientación), lo que posibilita la descripción completa de la posición espacial del cuerpo. La cinemática directa establece la posición y orientación de los extremos efectores de los ángulos en función de las articulaciones, mientras que la inversa busca configuraciones de articulaciones para posiciones y orientaciones específicas. Algunos robots incorporan un sistema de coordenadas móvil que se desplaza con el cuerpo rígido, especialmente en aplicaciones móviles o manipuladores robóticos montados en vehículos. Sensores como codificadores, giroscopios y sistemas de visión miden la posición y orientación en

tiempo real, proporcionando información crucial para el control y la retroalimentación. La precisión en el posicionamiento resulta esencial para la planificación de trayectorias, garantizando que tareas específicas se lleven a cabo de manera eficiente y segura en un espacio tridimensional [23].

La posición de un cuerpo rígido se refiere a su ubicación en el espacio. Puede describirse mediante coordenadas cartesianas (x, y, z) o en sistemas de coordenadas polares, dependiendo del marco de referencia elegido. Por ejemplo, si se utiliza un sistema de coordenadas cartesianas, la posición se describe con respecto a un origen de coordenadas. La orientación del movimiento de un cuerpo rígido con respecto al sistema fijo se puede ser expresada de diversas formas utilizando ángulos de Euler, cuaterniones, matrices de rotación u otros métodos de representación angular. Cada enfoque tiene sus restricciones, y en caso necesario, se puede realizar la transición entre representaciones durante la gestión del movimiento del robot para superar dichas limitaciones. En este contexto, se presentarán los dos enfoques mencionados anteriormente, los cuales son adecuados para comprender los conceptos fundamentales y sus respectivas limitaciones [23].

VI-F1. Cinemática directa: La cinemática directa de un brazo robótico se centra en el análisis matemático de su comportamiento y examina cómo cambia el posicionamiento y la orientación del actuador final con respecto a los valores supuestos de sus articulaciones. Al momento de cambiar los valores de estas articulaciones se puede observar un movimiento completo del brazo del robot, lo que ha motivado la investigación de métodos de análisis matemático de las fluctuaciones de posición y orientación del actuador final del robot. El objetivo principal es encontrar la matriz de transformación homogénea T que este relacionada con la posición final y la orientación del robot con respecto a un sistema de referencial fijo ubicado en la base del robot. Como modelo, se pueden utilizar coordenadas cartesianas y ángulos respectivos para que se pueda representar la posición y orientación del robot con cinco grados de libertad. En general, la derivación de estas relaciones suele ser un poco sencilla y, en algunos de los casos, como en robots con pequeños grados de libertad, se puede lograr mediante simples consideraciones geométricas. Cuando se trabaja con robots con múltiples grados de libertad, se puede implementar un enfoque sistemático basado en el uso de matrices de transformación homogéneas. En general, un robot con n grados de libertad debe estar formado por n enlaces, cada uno de ellos conectado por n enlaces. Cada par de uniones y uniones constituye un grado de libertad. A cada eslabón se le debe asignar un sistema de referencia local y mediante una matriz de transformación homogénea se pueden determinar las relaciones entre los distintos eslabones que componen el robot [18].

VI-F2. Matriz de transformación homogénea: Se define como una matriz de 4×4 que representada la transformación de un vector de coordenadas homogéneo de un sistema de coordenadas a otro; puede representar la rotación y traslación relativas entre las distintas articulaciones que componen el robot [18].

Podemos considerar que una matriz homogénea este compuesta por 4 sub- matrices:

- $R_{3 \times 3}$, matriz de rotación
- $p_{3 \times 1}$, vector de traslación
- $f_{1 \times 3}$, transformación de perspectiva; y $w_{1 \times 1}$, escalado global

$$T = \begin{bmatrix} R_{3 \times 3} & p_{3 \times 1} \\ f_{1 \times 3} & w_{1 \times 1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Rotación} & \text{Traslación} \\ \text{Perspectiva} & \text{Escalado} \end{bmatrix}$$

Comúnmente es representada la orientación y posición relativa entre 2 que se encuentren consecutivos se suele denominar matriz A_i $i-1$, por lo que A_1 0 describe la posición y orientación del sistema

de referencia local del primer eslabón con relación al sistema de referencia ubicado en la base. A_2 Describe la posición y orientación del segundo eslabón con respecto al primero y así sucesivamente [18].

$${}^0A_2 = {}^0A_1 \cdot {}^1A_2 \quad (1)$$

Siguiendo la metodología se puede expresar también la localización del tercer eslabón.

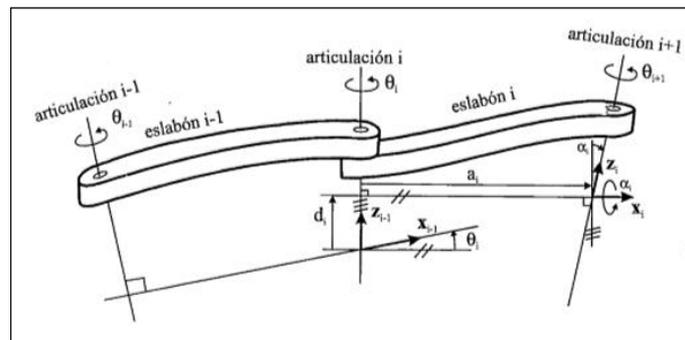
$${}^0A_3 = {}^0A_1 \cdot {}^1A_2 \cdot {}^2A_3 \quad (2)$$

Es decir que, al expresar la localización del último eslabón respecto a la referencia de la base, para este ejemplo de seis eslabones de cinco grados de libertad se tiene:

$$T = {}^0A_5 = {}^0A_1 \cdot {}^1A_2 \cdot {}^3A_4 \cdot {}^4A_5 \quad (3)$$

VI-F3. Denavit Hartenberg: a cada articulación, se puede pasar de una articulación a otra mediante cuatro transformaciones básicas basadas en la geometría del robot. En otras palabras, para determinar la relación entre el enlace i y el enlace $i-1$, se realiza la siguiente transformación predefiniendo cada marco de referencia de acuerdo con los requisitos del enfoque D-H.

- Rotación alrededor del eje Z_{i-1} un ángulo θ_i
- Traslación a lo largo del eje Z_{i-1} una distancia d_i ; vector d_i $(0,0,d_i)$
- Traslación a lo largo del eje x_i una distancia a_i ; vector a_i $(a_i,0,0)$
- Rotación a lo largo del eje x_i un ángulo α_i .



Ya que el producto de matrices no es conmutativo, las transformaciones deben realizarse en el orden establecido, lo que conlleva:

$${}^{i-1}A_i = T(z, \theta_i) \cdot T(0, 0, d_i) \cdot T(a_i, 0, 0) \cdot T(x, \alpha_i) \quad (4)$$

Si se realiza el producto de las matrices da como resultado:

$${}^{i-1}A_i = \begin{bmatrix} C\theta_i & -S\theta_i C\alpha_i & 0 & 0 \\ S\theta_i & C\theta_i C\alpha_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C\alpha_i & -S\alpha_i & 0 \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^{i-1}A_i = \begin{bmatrix} C\theta_i & -S\theta_i C\alpha_i & S\alpha_i S\theta_i & a_i C\theta_i \\ S\theta_i & C\theta_i C\alpha_i & -S\alpha_i C\theta_i & a_i S\theta_i \\ 0 & S\alpha_i & S\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Donde $0, a_i, d_i, a_i$ son los parámetros D-H del eslabón i . Es así que a través de la identificación de los parámetros D-H es posible relacionar cada uno de los eslabones mediante las Matrices de Transformación.

VI-F4. Cinemática Inversa: Se caracteriza por resolver lo opuesto a la cinemática directa en el sentido de que se determina la magnitud que deben asumir las articulaciones del manipulador en función de las posiciones y puntos de orientación especificados para sus efectores finales. Aunque existen varias soluciones para calcular la cinemática inversa, todas dependen en gran medida de operaciones matemáticas y no garantizan la existencia de una solución única. Se pueden establecer pautas para las limitaciones de la zona de trabajo y las limitaciones del movimiento de las articulaciones para garantizar resultados de cinemática inversa. Para robots con 6 grados de libertad (DOF), el problema de cinemática inversa se puede resolver dividiendo el robot en dos partes. Esto implica analizar las tres primeras articulaciones como si fueran un robot con tres grados de libertad y luego examinar las tres últimas articulaciones, que normalmente se utilizan para la orientación de la punta del brazo del robot. La solución de tareas de cinemática inversa es particularmente importante porque las tareas que debe realizar el robot se pueden definir en términos de posición y orientación en el espacio. Por tanto, se pueden utilizar longitudes en metros y valores de ángulos en radianes, facilitando el diseño y desarrollo de controladores de robots. La cinemática requerida se puede definir mediante una matriz de transformación que define la posición objetivo denotada por T_d , en otras palabras, representa el problema a resolver. En otras palabras, para proporcionar una respuesta a la solución de la cinemática inversa, se debe determinar un conjunto de valores, un conjunto unidimensional generalizado de coordenadas llamado $q = [q_1, q_2, q_3]$, que represente los valores necesarios para calcular la posición de llegada y la inclinación requerida [24].

VI-G. VISIÓN ARTIFICIAL

Es una ciencia que combina el procesamiento, análisis y comprensión del contenido de imágenes externas con el objetivo de presentar información digitalmente para que un procesador pueda interpretarlas y procesarlas. Todo esto se hace para crear feeds específicos según las preferencias del usuario. La visión artificial la componen un conjunto de procesos destinados a realizar el análisis de imágenes. Estos procesos son: captación de imágenes, memorización de la información, procesado e interpretación de los resultados [25].

Con la visión artificial se pueden:

- Automatizar tareas repetitivas de inspección realizadas por operadores.
- Realizar controles de calidad de productos que no era posible verificar por métodos tradicionales
- Realizar inspecciones de objetos sin contacto físico
- Realizar inspecciones en procesos donde existe diversidad de piezas con cambios frecuentes de producción [26]

Las principales aplicaciones de la visión artificial en la industria son:

- Identificación e inspección de objetos
- Determinación de la posición de los objetos en el espacio.
- Realización de mediciones angulares [26]

VI-G1. Diagrama de aplicación de visión artificial:

- Módulo de digitalización. Convierte la señal analógica que es proporcionada por la cámara a una señal digital (para su posterior procesamiento).
- Memoria de imagen. Almacena la señal procedente del módulo de digitalización.
- Módulo de visualización. Convierte la señal digital residente en memoria, en señal de vídeo analógica para poder ser visualizada en el monitor de TV.
- Módulo de entradas/salidas. Gestiona la entrada de sincronismo de captación de imagen y las salidas de control que actúan sobre dispositivos externos en función del resultado de la inspección.

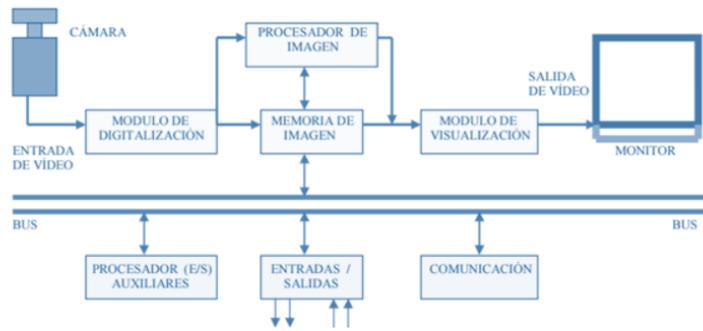


Figura 20. Diagrama de aplicación de visión artificial.

- Vía I/O, Ethernet, RS232 (la más estándar).
 - Procesador de imagen. Procesa e interpreta las imágenes captadas por la cámara.
- La secuencia a seguir en el proceso operativo es:

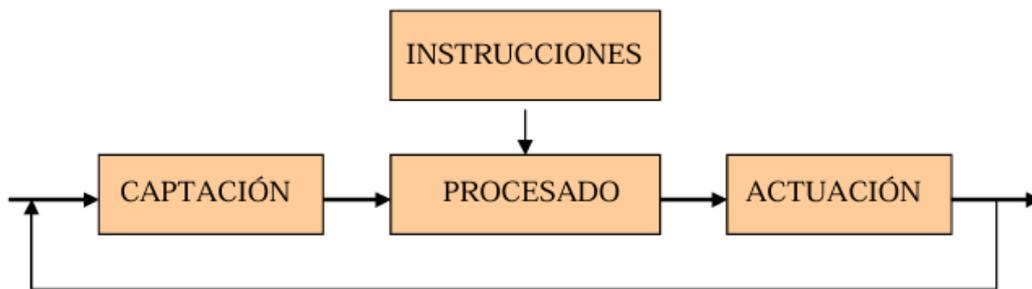


Figura 21. Secuencia del proceso.

Para el procesamiento de imágenes la visión artificial requiere de procesos que permiten captar e interpretar imágenes para su posterior análisis, a continuación, estos procesos se denominan como se detallan en la imagen [25].

VI-G2. Etapas del procesamiento de de imágenes: Las etapas del procesamiento de imágenes de la visión artificial varían mucho según su finalidad y la calidad de las imágenes procesadas. La implementación en cada etapa implica conocimiento del dominio. Cuando se trata de tomar fotografías, es importante comprender el funcionamiento y la funcionalidad del dispositivo para tomar fotografías. La extracción de características, la segmentación y el procesamiento digital de imágenes son cruciales en el preprocesamiento, así como los campos de la inteligencia artificial y diversos algoritmos, modelos matemáticos y/o geométricos que resuelven problemas en base a la información obtenida [27].

Adquisición: El procesamiento de imágenes suele realizarse de forma digital, por lo que debe existir un dispositivo capaz de capturar imágenes y visualizarlas dentro de una computadora. Para ello se utilizan equipos como cámaras digitales, satélites, escáneres, equipos médicos, etc [28].

Procesamiento de imágenes: en esta fase, el único propósito del procesamiento de imágenes es extraer suficiente información para procesarla. La información obtenida en el marco del procesamiento e identificación será lo más fiable posible. El alcance del procesador o controlador de su computadora es muy importante, ya que será la clave para un procesamiento rápido. Este paso se divide en pasos

- **Píxel:** Una imagen digital se considera como una cuadrícula. Cada elemento de esa cuadrícula se llama Píxel (Picture element). La resolución estándar de una imagen digital se puede considerar de 512×484 Pixel.
- **Nivel de grises:** Cuando se digitaliza una imagen, se cuantifica la intensidad de luminancia correspondiente a cada punto de la escena original, produciendo un número llamado "escala de grises".
- **Escena:** Es un área de almacenamiento donde se almacenan todos los parámetros relacionados con la inspección de un objeto en particular: la cámara utilizada, imágenes estándar guardadas, tolerancias, datos a visualizar, entradas y salidas de control, etc.
- **Window (ventana de medida):** Es el área específica de la imagen recogida que se quiere inspeccionar.
- **Procesado: Window (ventana de medida):** Es el área específica de la imagen recogida que se quiere inspeccionar.
- **Actuación:** Sobre el entorno (aparato, objeto, elemento) en función del resultado obtenido.

VII. MARCO METODOLÓGICO

Se desarrolló un sistema educativo con una interfaz dedicada al proceso de clasificación de objetos utilizando técnicas de visión artificial. El sistema emplea una cámara web para la adquisición de imágenes en tiempo real, las cuales son sometidas a un proceso de análisis mediante algoritmos especializados. Estos algoritmos permiten la detección y caracterización del color y la forma del objeto en cuestión, generando así las coordenadas espaciales que representan su posición relativa respecto al plano de detección. Posteriormente, el sistema efectúa cálculos matemáticos para determinar la trayectoria óptima que el brazo robótico debe seguir para alcanzar la ubicación del objeto detectado. Una vez localizado, el brazo robótico ejecuta la acción de agarre correspondiente para trasladar el objeto hacia su depósito asignado, completando así el proceso de clasificación. En la Figura 25 se describe el procedimiento utilizado para desarrollar el proyecto. A continuación, en las siguientes secciones se describirá cada una de las etapas.



Figura 23. Sistema.

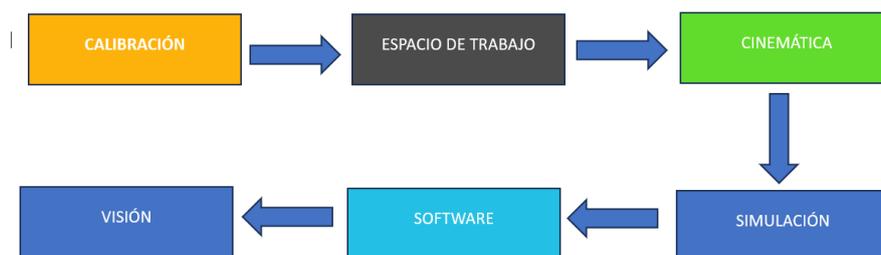


Figura 24. Diagrama de flujo de proceso.

VII-A. Calibración - Espacio de trabajo

El espacio de trabajo cuenta con unas dimensiones de 50x80, donde se ubicarán el brazo robótico, el sistema de iluminación, el sistema de detección de objetos, una pantalla HMI con su respectiva base y los depósitos destinados para cada objeto. Para la calibración precisa del proyecto, en primera instancia se determinó la posición óptima de cada elemento. El robot fue ubicado de manera que evitara colisiones con otros elementos, situando el sistema de detección frente a él y asegurando una distancia adecuada para evitar posibles choques. Por otro lado, el sistema de iluminación se colocó en un punto central del área de trabajo para mejorar la detección de objetos. Los depósitos destinados para los objetos se ubicaron en los laterales del robot, a una distancia aproximada de 17cm. La pantalla HMI se instaló en la esquina izquierda del espacio de trabajo, en la pared frontal del área de trabajo, permitiendo una visualización cómoda y accesible para los operadores durante el funcionamiento del sistema. Para garantizar la precisión y el correcto funcionamiento del robot XARM, se llevó a cabo un proceso exhaustivo de alineación. Este proceso comprendió los siguientes pasos: se verificó el montaje y la conexión adecuada del robot XARM a su fuente de alimentación designada. Posteriormente, se accedió a los ajustes de calibración de los ejes del robot mediante el software del fabricante, realizando los ajustes necesarios y verificando la funcionalidad de cada eje. Seguidamente, se procedió a calibrar la base del robot XARM, asegurando su alineación con respecto al sistema de coordenadas de referencia. Finalmente, se llevó a cabo una exhaustiva prueba de movimiento para confirmar la capacidad del robot para moverse libremente en todos sus ejes sin restricciones.

VII-B. Cinemática

Para definir la cinemática de los ejes del manipulador, es necesario seguir el método Denavit-Hartenberg cuyas reglas básicas son las siguientes:

- El eje z está en la dirección del eje de la articulación.
- El eje x es paralelo a la normal común.

Esquema cinemático del manipulador de 5 grados de libertad considerado con los sistemas de ejes que se muestran en la Figura 26.

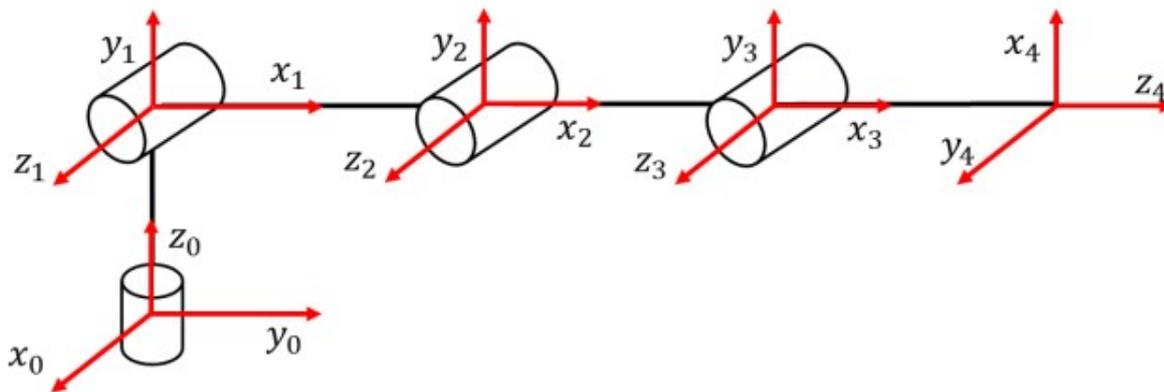


Figura 25. Esquema cinemático del manipulador de 5 DOF

Los parámetros de Denavit-Hartenberg describen la disposición de los enlaces y están determinados por la siguiente regla:

- q_i es el ángulo desde x_{i-1} hasta x_i a lo largo de z_{i-1} .
- d_i es la distancia desde la intersección de z_{i-1} con x_i hasta el origen del sistema de ejes $(i-1)$.
- a_i es el atajo entre z_{i-1} y z_i .
- α_i es el ángulo desde z_{i-1} hasta z_i a lo largo de x_i .

Los parámetros de Denavit-Hartenberg para el esquema cinemático se presentan en la Tabla VI.

Tabla VI
PARÁMETROS DE DENAVIT-HARTENBERG.

θ	d	a	α
${}^{(0)}H_1$	$q_0 + 90^\circ$	l_0	$\mathbf{0}$
${}^{(1)}H_2$	q_1	$\mathbf{0}$	l_1
${}^{(2)}H_3$	q_2	$\mathbf{0}$	l_2
${}^{(3)}H_4$	$q_3 + 90^\circ$	$\mathbf{0}$	$\mathbf{0}$
${}^{(4)}H_5$	q_4	l_3	$\mathbf{0}$

Los parámetros DH pueden utilizarse para describir la posición relativa y la orientación de los enlaces mediante matrices homogéneas, como se muestra en las ecuaciones (5) y (6).

$$H = H_{\text{rotZ}}(\theta) \cdot H_{\text{disZ}}(d) \cdot H_{\text{disX}}(a) \cdot H_{\text{rotX}}(\alpha) \quad (5)$$

$$H = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos q_0 & -\sin q_0 & 0 \\ 0 & \sin q_0 & \cos q_0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Se calculan las matrices homogéneas con base a las ecuaciones:

Cálculo de la matriz de transformación homogénea T_5 que conecta el sistema de ejes $O_5X_5Y_5Z_5$ con el sistema absoluto de ejes $O_0X_0Y_0Z_0$ se muestra a continuación:

$${}^{(0)}H_1 = \begin{bmatrix} -\sin q_0 & 0 & \cos q_0 & 0 \\ \cos q_0 & 0 & \sin q_0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & l_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^{(1)}H_2 = \begin{bmatrix} \cos q_1 & -\sin q_1 & 0 & l_1 \cos q_1 \\ \sin q_1 & \cos q_1 & 0 & l_1 \sin q_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^{(2)}H_3 = \begin{bmatrix} \cos q_2 & -\sin q_2 & 0 & l_2 \cos q_2 \\ \sin q_2 & \cos q_2 & 0 & l_2 \sin q_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^{(3)}H_4 = \begin{bmatrix} -\sin q_3 & 0 & \cos q_3 & 0 \\ \cos q_3 & 0 & \sin q_3 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

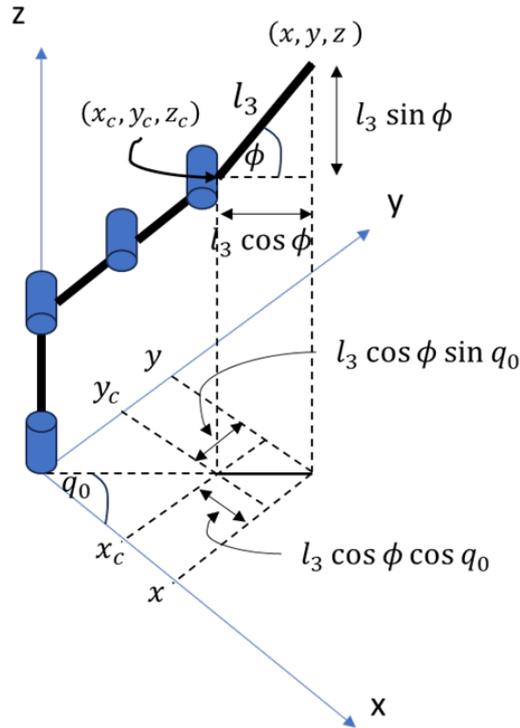


Figura 28. Proyección del último eslabón para determinar coordenadas de la muñeca.

Con la proyección se puede determinar las coordenadas de posición de la muñeca, necesarias para calcular la cinemática directa. Esto se observa en la ecuación.

$$\begin{aligned}
 {}^{(0)}O_3 &= \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \\ 1 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} x - l_3 \cos \phi \cos q_0 \\ y - l_3 \cos \phi \sin q_0 \\ z - l_3 \sin \phi \\ 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{8}$$

Donde x , y y z son las coordenadas del efector final y l_3 es la distancia física que existe entre la intersección de los ejes de la muñeca con el efector final. Estos últimos parámetros son conocidos. El ángulo ϕ define la orientación deseada del efector final con respecto a un plano horizontal, por lo que también se debe especificar a priori. Mientras que, q_0 se puede determinar con la Figura 28:

$$q_0 = \text{atan2}(y, x) \tag{9}$$

Con esto se puede determinar los ángulos q_1 , q_2 y q_3 en función de la longitud de los eslabones y de las coordenadas de la muñeca (x_c, y_c, z_c) . Se determina el ángulo q_2 utilizando la ley de cosenos:

$$\begin{aligned}
\cos q_2 &= \frac{x_c^2 + y_c^2 + (z_c - l_0)^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1l_2} = D \\
\sin q_2 &= \pm\sqrt{1 - \cos^2 q_2} = \pm\sqrt{1 - D} \\
q_2 &= \text{atan2}(\pm\sqrt{1 - D}, D)
\end{aligned} \tag{10}$$

Se puede definir q_1 utilizando los ángulos α y β :

$$q_1 = \alpha - \beta \tag{11}$$

Se puede calcular los ángulos alfa y beta aplicando trigonometría

$$\begin{aligned}
\alpha &= \text{atan2}(z_c - l_0, \sqrt{x_c^2 + y_c^2}) \\
\beta &= \text{atan2}(l_2 \sin q_2, l_1 + l_2 \cos q_2)
\end{aligned} \tag{12}$$

Finalmente, el ángulo q_3 se calcula considerando el parámetro ϕ , que corresponde a la orientación del efector final con respecto a la horizontal:

$$q_3 = \phi - q_1 - q_2 \tag{13}$$

En resumen, el desplazamiento angular de cada una de las articulaciones se lo puede definir como sigue, considerando el desacople cinemático y la ecuación (3):

$$\begin{cases}
q_0 = \text{atan2}(y, x) \\
q_1 = \alpha - \beta \\
q_2 = \text{atan2}(\pm\sqrt{1 - D}, D) \\
q_3 = \phi - q_1 - q_2
\end{cases} \tag{14}$$

Donde:

$$\begin{cases}
\alpha = \text{atan2}(z + l_3 - l_0, \sqrt{x^2 + y^2}) \\
\beta = \text{atan2}(l_2 \sin(q_2), l_1 + l_2 \cos(q_2)) \\
D = \frac{x^2 + y^2 + (z + l_3)^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1l_2}
\end{cases} \tag{15}$$

El último ángulo q_4 no afecta a la posición y se ajustará en función de la orientación de los objetos.

VII-B1. Simulación: Modelado de Cinemática Directa.

La metodología empleada para la simulación del brazo robótico se respalda en el uso de la librería Peter Corke Toolbox, es una herramienta especializada en la generación de modelos y simulaciones de robots. En primer lugar, se procede a definir el brazo robótico utilizando la sintaxis de programación proporcionada por la toolbox, lo que implica comprender y aplicar los conceptos de enlaces y articulaciones que componen el brazo. Posteriormente, se genera su esquema gráfico mediante el comando plot, lo que posibilita visualizar la configuración del brazo en un entorno gráfico y verificar la precisión de la definición realizada. Así mismo, se permite modificar la posición de cada articulación del brazo dentro de este entorno gráfico, lo que resulta útil para ajustar la configuración del brazo de manera intuitiva. Los resultados del cálculo se exhiben en la Figura 30, donde se observa que la pinza alcanza el punto con coordenadas (3.535, -3.535, 32.03), correspondientes a los parámetros dados.

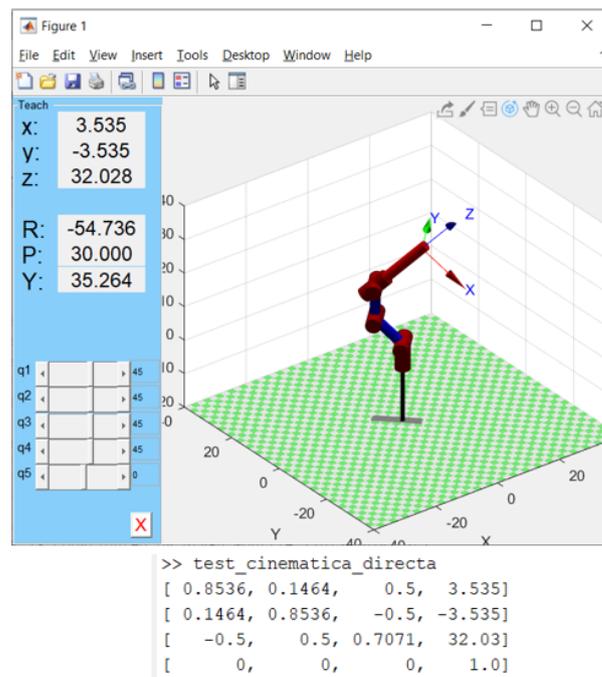


Figura 29. Resultados del modelado de la cinemática directa.

VII-B2. Visión Artificial: Se introduce detalladamente el hardware utilizado, así como las partes más importantes y visibles del código del programa en cada etapa del sistema, facilitando la comprensión del desarrollo de software utilizando Python y Thonny como herramientas principales.

Implementación del hardware

Para la implementación del hardware, como parte del proyecto se describen A continuación, para mas referencia ver la Figura 31 , los elementos utilizados para desarrollar el sistema de visión artificial y el proceso requerido para conectar cada elemento como se describe a continuación.

Camara

A la hora de buscar la cámara web adecuada para el proyecto, las prioridades fueron la resolución, la compatibilidad con diferentes sistemas operativos y la correcta formación de píxeles. Se eligió la cámara USB Apex para proporcionar captura de imágenes de alta calidad, aumentando las posibilidades de las imágenes digitales. El posicionamiento estratégico de la cámara es esencial para obtener imágenes de alta calidad, así que instálela en una ubicación estable para evitar vibraciones que puedan afectar la calidad de la imagen y, por lo tanto, su procesamiento adecuado. La Figura 14 muestra la cámara de red utilizada en el proyecto.

Sistema de iluminación

La correcta iluminación juega un papel esencial en el proceso de visión, siendo determinante para lograr resultados óptimos. La carencia de una iluminación adecuada puede resultar en la captura de imágenes de baja calidad, lo cual puede inducir a interpretaciones equivocadas o a un procesamiento excesivo. En este estudio, se introdujo un sistema de iluminación que consiste en una estructura mecánica equipada con LEDs de alta potencia. Esta selección contribuyó a mejorar el rendimiento, aumentar el flujo luminoso y prolongar la vida útil del sistema. Además, esta estructura es versátil y

puede adaptarse al área de interés, asegurando una iluminación uniforme y sin sombras.



Figura 30. Implementación del Sistema.

Implementación del Software

Aquí se detallan los componentes principales del código fuente, el cual ejecuta los procesos indicados en el diagrama de flujo que se muestra en la Figura 32.

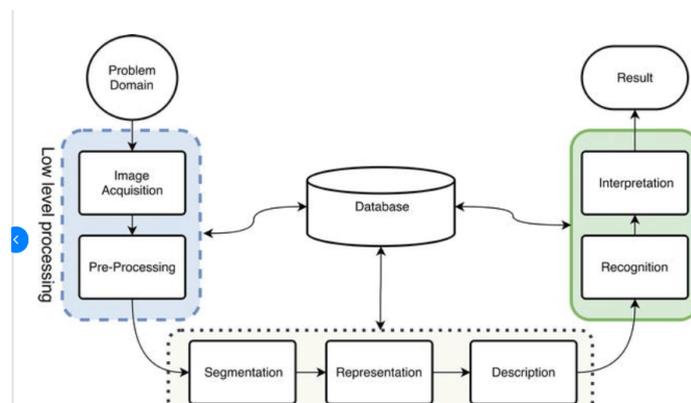


Figura 31. Representación esquemática del funcionamiento del sistema de visión artificial.

Captura de la imagen.

Para lograr la detección y clasificación de objetos colocados en la base, se implementaron tres funciones clave:

1. Función de Captura de imagen y Detección de Color: Esta función, encapsulada en el método `run (self)`, se encarga de iniciar la captura de imagen en tiempo real y de detectar el color del objeto, que en este caso es de color rojo. Una vez detectado, proporciona las coordenadas de la posición del objeto en relación con el plano de detección. La detección del color se realiza inicialmente en el espacio de color BGR y luego se transforma al espacio de color HSV para obtener el color detectado de manera más precisa. El resultado de este proceso se puede ver en la Figura 33.



Figura 32. Captura de imágenes utilizando la cámara web.

Preprocesamiento y segmentación de la imagen.

En esta etapa, se lleva a cabo el preprocesamiento y la segmentación de imágenes. Se emplean técnicas para eliminar distorsiones y mejorar las propiedades de la imagen original. Se analizan imágenes digitales y se realizan las siguientes operaciones: conversión de escala de grises, filtrado, umbralización y extracción de bordes. El objetivo final consiste en separar el objeto de interés del fondo y el entorno circundante, para luego extraer las características del objeto de la imagen. A continuación se muestran los pasos realizados en la etapa del pre procesamiento y segmentación de la imagen.

- Conversión a niveles de gris.
- Filtrado.
- Umbralización.
- Filtro para la extracción de bordes.

Conversión a escalas de grises.

La clase `WindowArtificialVision` integra la conversión a escala de grises como parte de su flujo de procesamiento de imágenes en tiempo real. Durante la ejecución del método `run()`, encargado de capturar y procesar los fotogramas de la cámara, se realiza la conversión de cada fotograma del espacio de color RGB al espacio de escala de grises mediante la función `cv2.cvtColor()`. Esta transformación simplifica la información de la imagen a una sola dimensión de intensidad luminosa por píxel, lo que facilita análisis posteriores como la detección de bordes y características clave. Cada valor en esta conversión representa el nivel de intensidad de la escala de grises, variando de 0 a 255, donde 0 corresponde al negro absoluto y 255 al blanco absoluto. Este proceso describe la conversión de una imagen a escala de grises en el contexto del procesamiento de imágenes digitales.

Filtrado

Inicialmente, se seleccionan los contornos cuya área supere los 1500 píxeles para su posterior análisis, mientras que aquellos cuya área sea inferior son descartados. Este primer filtro tiene como objetivo principal eliminar el ruido y asegurar la selección de los contornos relevantes para el análisis subsiguiente. Posteriormente, en la fase de implementación final, se tomó la decisión de prescindir de un filtro adicional. Esta elección se fundamenta en la necesidad de evitar un aumento innecesario en el tiempo de procesamiento, especialmente en situaciones donde la imagen presenta un nivel bajo de ruido. En tales casos, la aplicación de un filtro adicional no proporciona mejoras significativas al proceso de segmentación.

Umbralización

En esta etapa del proceso, se lleva a cabo la binarización de la imagen. La imagen en escala de grises se transforma en una imagen binaria, donde los píxeles por debajo de un umbral especificado

se convierten en negro (0), y los píxeles por encima de ese umbral se convierten en blanco (1). Este proceso se ilustra en la Figura 20. La imagen binaria resultante ocupa menos memoria que la imagen original en escala de grises o a color, mientras aún conserva la información relevante para el análisis posterior.



Figura 33. Imagen Binarizada.

Filtro para la Extracción de Bordes

En el proceso, se lleva a cabo la extracción de bordes mediante el método `getContours`. Este método hace uso de funciones de la biblioteca OpenCV para encontrar los contornos en una imagen binaria, lo que facilita la identificación y delimitación de objetos en la imagen. En lugar de utilizar la función `EDGE`, se recurre a métodos como `cv2.Canny` y `cv2.Sobel` para detectar los bordes mediante algoritmos específicos.



Figura 34. Imágenes resultado de la aplicación del algoritmo de canny.

Descriptores de regiones

Primero se realiza el cálculo del área y perímetro de cada contorno con el fin de determinar su tamaño y configuración. Posteriormente, se lleva a cabo una aproximación de los contornos para simplificar su estructura, lo que facilita su posterior clasificación. Según el número de vértices obtenidos en esta aproximación, se procede a identificar distintos tipos de figuras geométricas, tales como, cuadrados, rectángulos y círculos. Este enfoque metodológico posibilita una clasificación eficaz y precisa.

VII-B3. Software: Esta interfaz posibilita la introducción de configuraciones esenciales para el desempeño óptimo del robot. Además, permite probarlo en diversas posiciones y orientaciones dentro

del área de trabajo, lo que facilita su posicionamiento preciso.

Pantalla de Inicio.

En la siguiente figura se muestra la pantalla de inicio con todas sus configuraciones. Desde la pantalla de inicio se puede acceder a varias ventanas para controlar y configurar el robot. La pantalla principal tiene una representación gráfica del brazo robótico y botones de acceso.



Figura 35. Pantalla Principal.

Ventana de la cinemática directa

Posibilita el cálculo de la cinemática directa del robot y el envío de los ángulos resultantes a los motores. Está compuesta por escalas o sliders para cada ángulo de los motores, así como indicadores de ángulo para cada motor y etiquetas de texto para mostrar los ángulos enviados. Además, exhibe las coordenadas X, Y, Z calculadas a partir de los ángulos. Los botones disponibles en esta ventana permiten enviar los ángulos calculados, retornar a la posición inicial (home), cerrar el gripper, abrir el gripper y detener el movimiento de los motores.

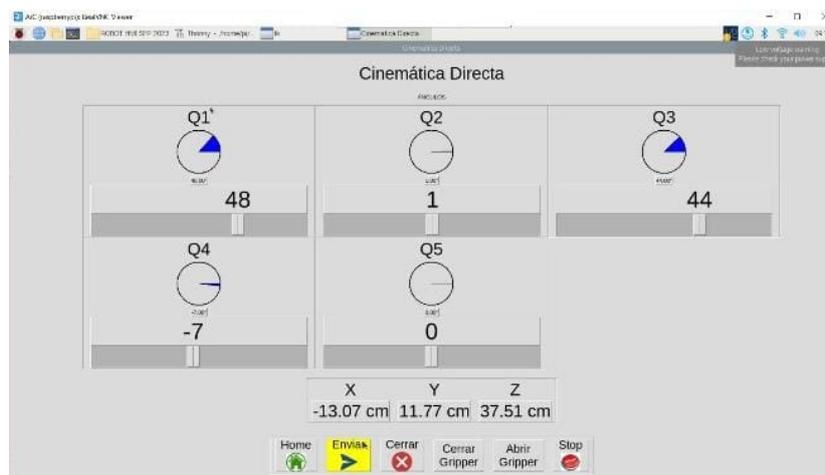


Figura 36. Ventana de Cinemática Directa.

Ventana de Cinemática Inversa

La interfaz permite a los usuarios configurar los ángulos de los motores, visualizar los ángulos actuales, enviar los ángulos calculados al robot y controlar el gripper. También ofrece la opción de regresar el robot a su posición inicial y detener su movimiento. En resumen, brinda a los usuarios un control interactivo y preciso sobre el robot.

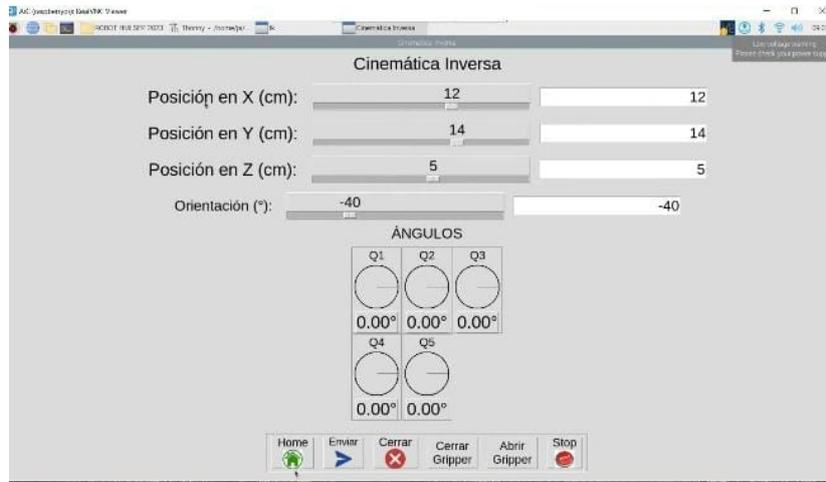


Figura 37. Ventana Cinematica Inversa.

Ventana de visión artificial

La ventana de la interfaz de visión artificial brinda a los usuarios una forma conveniente de interactuar con el sistema de visión del robot. Esto les permite detectar, reconocer y manipular objetos en tiempo real de manera intuitiva y eficiente.

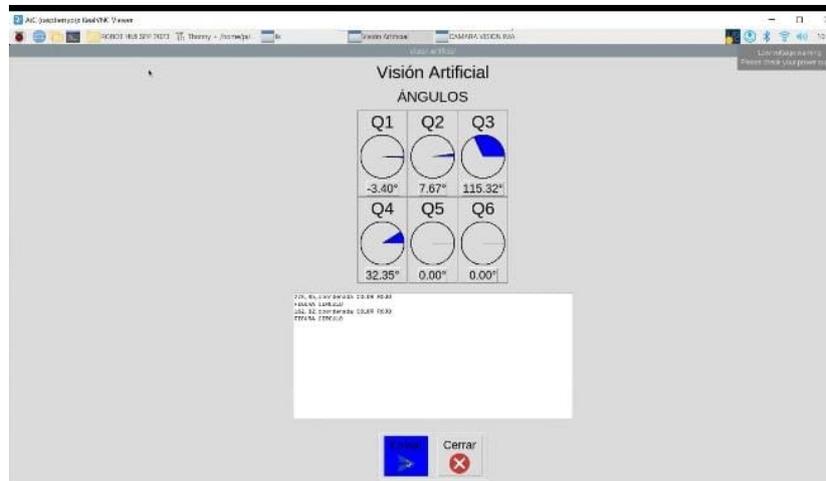


Figura 38. Ventana Visión Artificial.

VIII. RESULTADOS

En este capítulo se detallan los resultados obtenidos del desarrollo de localización de objetos mediante un brazo robótico. A continuación, se exponen los resultados de las pruebas de la cinemática directa como muestra en la Tabla VII. Para llevar a cabo las pruebas en el movimiento de la cinemática directa del brazo, se ingresaron los valores de los ángulos q_1 , q_2 , q_3 y q_4 con una interacción de 10 muestras desde la interfaz. A medida que el brazo se movía hacia la posición determinada, se obtuvieron como resultados los valores de las coordenadas xyz. Una vez que el brazo se ubicó en la posición final, se tomaron medidas reales del robot utilizando una regla para obtener las medidas en tiempo real, como se puede observar en la siguiente Tabla VII. Estas medidas reales se compararon con los valores teóricos y se evaluó el rango de error utilizando la fórmula denominada error experimental. De esta manera se pudo apreciar el margen de error. Con Mediciones realizadas con una regla para comprobar la posición del efector final con respecto al sistema de referencia fijo (X0,Y0,Z0).

Tabla VII
COMPARACIÓN ENTRE COORDENADAS TEÓRICAS Y REALES.

N	ANGULOS				COORDENADAS TEORICAS			COORDENADAS REALES		
	Q1	Q2	Q3	Q4	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)
1	60	90	0	90	14,29	-8,25	26,10	13,80	9,00	25,50
2	60	90	60	90	-14,27	-8,23	7,06	-14,80	7,10	6,80
3	-45	90	60	60	-11,65	-11,65	7,06	-10,90	-10,20	6,50
4	45	90	90	60	18,39	-18,38	16,60	18,10	17,40	15,20
5	80	90	60	60	-20,85	-3,67	4,93	-19,70	-2,80	-4,50
6	0	0	0	0	23,5	0,2	17,00	23,00	0,20	16,90
7	10	0	0	0	23,1	4,08	17,00	23,00	4	17,00
8	-10	-10	-20	0	21,00	-3,71	12,7	20,95	-3,61	12,5
9	-30	-30	0	20	23,3	-13,4	8,31	22,20	-13,1	8,2
10	40	-30	0	20	20,6	-17,6	8,31	20,00	-17	8,1

Se llevaron a cabo las pruebas mediante la introducción de 10 conjuntos de valores distintos en la aplicación Matlab, lo que resultó en el movimiento del robot hacia la posición deseada del efector final. En cada iteración, se registraron tanto el valor teórico como el valor real, obtenido mediante la medición con una regla calibrada.

Tabla VIII
PORCENTAJE DE ERROR EN LAS COORDENADAS X, Y Y Z EN LA CINEMÁTICA DIRECTA.

N	X (%)	Y (%)	Z (%)
1	2.08	21.25	0.78
2	3.54	13.69	2.94
3	6.24	4.51	1.49
4	1.05	5.29	8.57
5	5.66	24.66	8.89
6	0.43	0.00	0.59
7	0.43	2.33	0.00
8	1.74	3.39	1.18
9	5.77	1.87	1.92
10	3.00	3.41	0.99

Resultados de Visión

Se comprueba la precisión al identificar formas por medio de la cámara como se detalla en la figura. La variabilidad de los valores se relaciona con la incidencia de la iluminación sobre el objeto durante la captura de la imagen. En este contexto, se establece una condición específica para cada forma geométrica, determinada por su área, que debe ser cumplida para evitar discrepancias en los resultados que puedan afectar la precisión del proceso de clasificación.



Figura 39. Medición de la posición Final.

Tabla IX
CONDICIONES PARA CLASIFICAR LAS FIGURAS.

Figura	Condición
Círculo	> 4 esquinas detectadas
Rectángulo	4 esquinas detectadas

Los resultados presentados en la Tabla X corresponden a las evaluaciones realizadas con un conjunto de 20 pruebas que muestran dos formas geométricas diferentes. Aunque el rendimiento general alcanzó un 89 %, este resultado se vio afectado por dificultades en la clasificación, como problemas de iluminación u otros factores, que influyeron en la precisión de la evaluación.

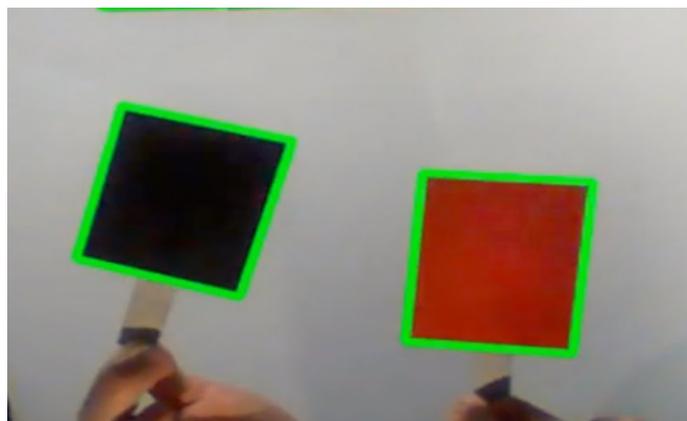


Figura 40. Detección.

Análisis

Después de realizar las pruebas y obtener su evaluación, se puede afirmar que las 20 piezas utilizadas representan un número considerable para el análisis. El porcentaje de error del 89 % demuestra que el

sistema implementado ofrece resultados confiables. Esto es aún más significativo considerando que la cámara, siendo uno de los elementos clave para el éxito del proyecto, es configurable para aumentar la precisión.

Tabla X
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS.

Cantidad de piezas	Forma	Resultados correctos	Resultados erróneos	%Aciertos
10	Rectángulo	9	1	89 %
10	Círculo	9	1	89 %
	PROMEDIO	18	2	89 %

A continuación se exponen los resultados obtenidos a través de una encuesta de satisfacción dirigida a los grupos de práctica, con el propósito de evaluar la viabilidad del proyecto. Esta encuesta se diseñó meticulosamente para recopilar datos relevantes que permitieran analizar el nivel de satisfacción de los participantes. Mediante un cuestionario estructurado, se formularon diversas preguntas destinadas a indagar sobre aspectos específicos del proyecto y la experiencia de los grupos de práctica.

¿Consideras que la práctica "Introducción al manejo del brazo robótico: Configuración y movimientos básicos" es relevante para tu formación en ingeniería?

5 respuestas

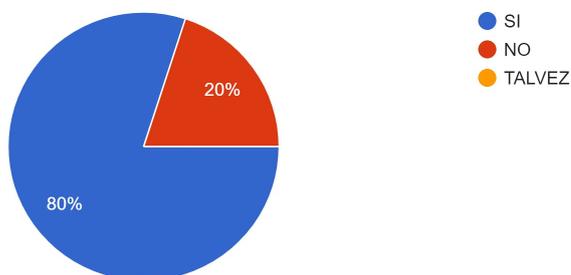


Figura 41. Encuesta 1.

¿Encontraste claro el proceso de configuración del software de control del brazo robótico durante la práctica?

5 respuestas

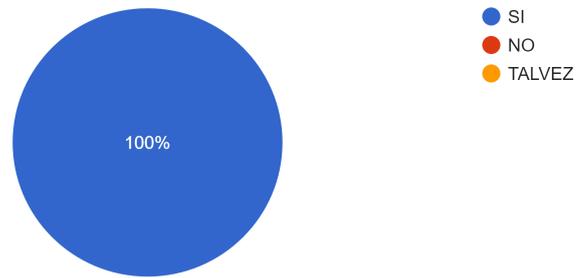


Figura 42. Encuesta 2.

¿Consideras que la práctica de "Adquisición y procesamiento de imágenes para la clasificación de objetos" te proporcionó una comprensión clara de los principios de la visión artificial?

5 respuestas

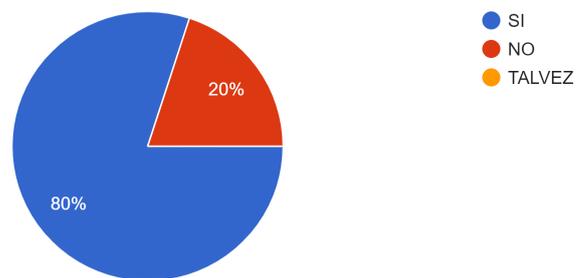


Figura 43. Encuesta 3.

IX. PRESUPUESTO Y GASTOS

Tabla XI
COTIZACIÓN DE GASTOS DE DESARROLLO. ELABORADO POR AUTORES.

LISTADO DE MATERIALES					
Cantidad	Equipo	Recurso	Valor (USD)	Unit	Valor Total (USD)
10	Bornera	Conexión Eléctrica	2,00		20,00
1	Botón	Paro de emergencia	10,00		10,00
10	Cables	Conexiones	1,60		16,00
2	Cámara HD	Cámara HD	80,00		160,00
3	Disyuntores	Protecciones Eléctricas	15,00		45,00
2	Fuentes	Energización	20,00		40,00
15	Fusibles	Protecciones Eléctricas	2,00		30,00
1	Pantalla táctil	Pantalla táctil 7Raspberry Pi	90,00		90,00
10	Sensores	Protección	15,00		150,00
3	Servomotores	Servomotores	30,00		90,00
TOTAL					651,00 USD

X. CRONOGRAMA Y ACTIVIDADES A DESARROLLAR

Tabla XII
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

No.	Actividades	Nov-23				Dic-23				Ene-24				Feb-24				Mar-24				Abr-24			
		Semanas																							
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Elaboración de la propuesta del proyecto del trabajo de titulación	■	■																						
2	Identificación de las variables del problema			■	■																				
3	Elaboración del estado del arte					■	■																		
4	Elaboración de base de datos entre ellos artículos científicos							■	■																
5	Elaboración de Objetivos; General y Específicos									■	■														
6	Elaboración de la Justificación											■	■												
7	Elaboración del marco teórico													■	■	■	■								
8	Elaboración del marco hipotético																	■	■	■					
9	Identificar las citas y referencia bibliográfica																					■	■	■	
10	Elaboración del Documento para el Trabajo de Titulación																								

XI. CONCLUSIONES

- Se evidencia que el sistema integrado en el brazo robótico es capaz de alcanzar las coordenadas especificadas con un error máximo del 24.66 %, como se detalla en la Tabla VIII de los resultados. Esto resalta la eficacia del brazo robótico a pesar de las limitaciones de precisión, lo que sugiere su utilidad en diversas aplicaciones prácticas.
- Este sistema ha demostrado un rendimiento general del 89 %, lo que indica una eficacia notable en su funcionamiento y destaca su viabilidad y éxito en entornos prácticos, subrayando su potencial de aplicación en diversos contextos industriales y tecnológicos.
- Se logró evaluar la viabilidad del proyecto mediante encuestas realizadas a un grupo de estudiantes, basadas en tres prácticas llevadas a cabo. A través de estas encuestas, se determinó el nivel de satisfacción de cada participante con respecto al proyecto, alcanzando así un índice de aprobación del 86 %. Estos resultados se presentan gráficamente en la figura 42.

XII. RECOMENDACIONES

- Es importante asegurarse de que el robot esté siempre conectado a su fuente de alimentación para evitar interrupciones inesperadas en su funcionamiento.
- Se recomienda evitar el sobrepeso en los objetos manipulados por el brazo del robot, respetando los límites de torsión del servomotor y del primer eslabón para mantener un funcionamiento eficiente del sistema.
- Se sugiere adquirir conocimientos básicos en Python antes de utilizar el prototipo, lo que facilitará la comprensión y el manejo eficiente del sistema.
- Si requiere implementar este proyecto en una industria relacionada con la clasificación, se recomienda comprar una cámara de escaneo avanzada.
- Se recomienda explorar opciones de hardware más potentes y especializadas, como la NVIDIA Jetson series o la Intel Neural Compute Stick, para mejorar el rendimiento y la eficiencia del sistema en tareas de visión artificial y control de robots.
- Se recomienda que el sistema se pruebe minuciosamente en diversas condiciones y entornos antes de su implementación en la industria. Esto garantizará que los problemas potenciales se identifiquen tempranamente y que el rendimiento del sistema se optimice para lograr un rendimiento óptimo en condiciones del mundo real.

REFERENCIAS

- [1] Müller, C., *World Robotics 2023 – Industrial Robots, IFR Statistical*, <http://www.worldrobotics.org>, 2023.
- [2] Vistazo, *Ecuador avanza hacia la automatización, el uso de robots es más habitual en las industrias*, <https://www.vistazo.com/enfoque/ecuador-avanza-automatizacion-uso-de-robots-es-habitual-en-industrias-EY6405215>, 2023.
- [3] Santana Mariela, *LA ENSEÑANZA DE LAS MATEMÁTICAS Y LAS NTIC. UNA ESTRATEGIA DE FORMACIÓN PERMANENTE*, <https://www.tdx.cat/handle/10803/8927>, 2007.
- [4] Learning, *A REVIEW OF THE APPLICABILITY OF ROBOTS IN EDUCATION*, [//revistas.uasb.edu.ec/index.php/ree/article/view/3666](http://revistas.uasb.edu.ec/index.php/ree/article/view/3666), 2013.
- [5] Marketsandmarkets, *Tamaño del mercado de robots educativos, participación, informe de análisis de crecimiento de la industria*, <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/educational-robot-market-28174634.html>, 2019.
- [6] BF_Mexico, *Importancia de la calibración de herramientas en brazos robóticos*, <https://www.bfmx.com/automatizacion/importancia-de-la-calibracion-de-herramientas-en-brazos-roboticos/>, 2020.
- [7] Jordi Pelegrí, *VENTAJAS Y APLICACIONES DE VISIÓN ARTIFICIAL EN LOS ROBOTS COLABORATIVOS*, <https://www.universal-robots.com/es/blog/vision-artificial-en-robots/>, 2019.
- [8] Somim, *Solución a la cinemática directa e inversa de manipuladores robóticos, empleando álgebra de cuaterniones duales*, https://somim.org.mx/memorias/memorias2022/articulos/A3_33.pdf, 2022.
- [9] Sánchez Elena, Cózar Ramón, González José, *Robótica en la enseñanza de conocimiento e interacción con el entorno. Una investigación formativa en Educación Infantil*, <https://www.redalyc.org/journal/274/27466169001/html/>, 2019.
- [10] Carlos William Sánchez, [//revistas.uasb.edu.ec/index.php/ree/article/view/3666](http://revistas.uasb.edu.ec/index.php/ree/article/view/3666), 2013.
- [11] Tzagkaraki, [//revistas.uasb.edu.ec/index.php/ree/article/view/3666](http://revistas.uasb.edu.ec/index.php/ree/article/view/3666), 2021.
- [12] Catalunya, *Usos y beneficios de la robótica en las aulas*, [//revistas.uasb.edu.ec/index.php/ree/article/view/3666](http://revistas.uasb.edu.ec/index.php/ree/article/view/3666), 2021.
- [13] Ahmed, *Design and implement of robotic arm and control of moving via IoT with Arduino ESP32*, [//revistas.uasb.edu.ec/index.php/ree/article/view/3666](http://revistas.uasb.edu.ec/index.php/ree/article/view/3666), 2021.
- [14] Cristhian del Toro, *Design and Construction of a Cost-Effective Didactic Robotic Arm for Playing Chess, Using an Artificial Vision System*, [//revistas.uasb.edu.ec/index.php/ree/article/view/3666](http://revistas.uasb.edu.ec/index.php/ree/article/view/3666), 2019.
- [15] Robots Didácticos, *Uso de la placa L298N para motores de CC*, <https://robots-argentina.com.ar/didactica/uso-de-la-placa-l298n-para-motores-de-cc/>, 2023.
- [16] Hitborobot, *¿Cuánto cuesta un brazo robótico?*, <https://www.hitbotrobot.com/es/un-brazo-robotico/>, 2023.
- [17] Guillen Nuñez, *Implementación de brazo robótico 6DOF para la organización de productos mediante lectura de código de barras*, <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22830>, 2022.
- [18] Almeida, I., *FUNDAMENTOS GENERALES DE LA ROBOTICA*, <https://>, 2009.
- [19] Jiménez, C. B., *ROBOTICA Y SISTEMAS INTELIGENTES*, <https://roboticapuj.es.tl/Elementos-Terminales.htm>, 2018.
- [20] Edison sasig, *Actuadores para Robótica*, <https://roboticoss.com/actuadores-para-robotica/>, 2013.
- [21] Salazar M., *Componentes de un Robot*, <https://la-rovotica.webnode.com.co/componentes-de-un-robot/>, 2013.
- [22] Salvador García Chinchilla, *ROBÓTICA GENERAL*, <https://silو.tips/download/robotica-general-autores-salvador-garcia-chinchilla-jose-vicente-martinez-garcia>, 2012.
- [23] Shasha, K., *Introducción a la robotica*, <https://shorturl.at/qGJ46>, 2008.

- [24] Cinemática de Robots, *Cinemática de Robots*, <https://nbio.umh.es/files/2012/04/practica2.pdf>, 2012.
- [25] Vision artificial, *Vision artificial*, <http://www.etitudela.com/celula/downloads/visionartificial.pdf>, 2020.
- [26] Tamayo, A. V., *FUNDAMENTOS GENERALES DE LA ROBOTICA*, <https://app.eam.edu.co/ojs/index.php/ingeam/article/view/32/178>, 2016.
- [27] Lizarraga César, *Visión Artificial para detección y ubicación espacial de objetos en una escena. Caracas*, <https://shorturl.at/joELY>, 2008.
- [28] Bejarano Luis, *DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA UN BRAZO ROBOT QUE CLASIFIQUE OBJETOS EN BASE AL COLOR UTILIZANDO VISIÓN ARTIFICIAL*, <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/14935/1/20T01464.pdf>, 2021.

XIII. ANEXOS

		FORMATO DE GUÍA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO / TALLERES / CENTROS DE SIMULACIÓN – PARA DOCENTES	
CARRERA: Ingeniería mecatrónica			
NRO. PRÁCTICA:	1	TÍTULO PRÁCTICA: Introducción al manejo del brazo robótico: Configuración y movimientos básicos.	
OBJETIVO GENERAL Capacitar a los estudiantes en el manejo básico del brazo robótico, comprendiendo su configuración y ejecución de movimientos simples, sentando las bases para operaciones más complejas en futuras prácticas.			
OBJETIVOS ESPECÍFICOS -Familiarizar a los estudiantes con el manejo básico del brazo robótico. -Configurar el sistema de control del brazo robótico. -Realizar movimientos simples y controlados del brazo robótico.			
INSTRUCCIONES (Detallar las instrucciones que se dará al estudiante):	1. Conectar los equipos adecuadamente; principalmente la raspberry y el brazo.		
	2. Configura el software de control del brazo robótico en la computadora.		
	3. Practica movimientos básicos como movimientos cartesianos y articulares.		
	4. Realiza ejercicios simples de posicionamiento y agarre de objetos.		
ACTIVIDADES POR DESARROLLAR			
1. Conectar el brazo robótico a la fuente de alimentación y a la computadora siguiendo las instrucciones proporcionadas.			
2. Ejecutar el software y familiarizarse con la interfaz de usuario, explorando las opciones de movimiento disponibles.			
3. Realizar movimientos básicos del brazo robótico, como la elevación y el giro, utilizando comandos simples del software.			
4. Registrar cualquier problema o pregunta que surja durante la práctica para su posterior revisión.			
RESULTADO(S) OBTENIDO(S):			
El practicante debería ser capaz de configurar correctamente el software de control del brazo robótico y ejecutar movimientos básicos de manera precisa y segura. Además, habrá adquirido experiencia en el manejo y control básico del brazo robótico.			
CONCLUSIONES:			
En esta práctica, se adquirieron habilidades básicas en el manejo del brazo robótico, comprendiendo su configuración y ejecución de movimientos simples. Se ha sentado una base sólida para operaciones más complejas en prácticas futuras.			
RECOMENDACIONES:			
Se recomienda practicar regularmente el manejo del brazo robótico para mejorar la precisión y la velocidad en los movimientos. Además, es importante revisar regularmente el manual de usuario para aprovechar al máximo las capacidades del brazo robótico.			

Docente / Técnico Docente: _____

Firma: _____

Figura 44. Guía 1



FORMATO DE GUÍA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO / TALLERES /
CENTROS DE SIMULACIÓN – PARA DOCENTES

CARRERA: Ingeniería mecatrónica	
NRO. PRÁCTICA:	2 TÍTULO PRÁCTICA: Análisis Cinemático del Brazo Robótico: Estudio de Movimientos y Posicionamiento Preciso
OBJETIVO GENERAL Comprender y aplicar los principios de cinemática en un brazo robótico, analizando sus movimientos y trayectorias para evaluar su precisión y eficacia. OBJETIVOS ESPECÍFICOS -Comprender los conceptos básicos de la cinemática directa e inversa y su aplicación en el control del brazo robótico. - Ejecutar experimentos para analizar y registrar diferentes tipos de movimientos del brazo robótico. - Evaluar la precisión y la eficacia del brazo robótico en la realización de movimientos	
INSTRUCCIONES (Detallar las instrucciones que se dará al estudiante):	1. Verificar que el brazo robótico esté correctamente instalado y calibrado en un entorno de laboratorio seguro.
	2. Familiarizarse con el brazo robótico y el software utilizado para controlarlo.
	3. Planifica los experimentos que llevarás a cabo para analizar los movimientos y el posicionamiento preciso del brazo robótico.
	4. Observa y registra cualquier anomalía o comportamiento inesperado del brazo robótico durante la ejecución de los experimentos.
ACTIVIDADES POR DESARROLLAR	
1. Preparar el área de trabajo para la realización de los experimentos, asegurándose de que esté libre de obstáculos y que el brazo robótico esté correctamente instalado y calibrado.	
2. Utilizar el software de control para realizar los movimientos y las tareas que realizará el brazo robótico durante los experimentos planificados.	
3. Llevar a cabo los experimentos según lo planeado, siguiendo los procedimientos establecidos y registrando los datos obtenidos durante cada prueba.	
4. Hacer comparaciones con los datos obtenidos mediante la interfaz con los resultados medidos físicamente y así poder corroborar la cinemática del brazo robótico.	
5. Interpretar los resultados obtenidos y extraer conclusiones sobre el rendimiento del brazo robótico en relación con los objetivos de la práctica.	
RESULTADO(S) OBTENIDO(S):	
La práctica demostró que el brazo robótico puede ejecutar movimientos precisos y eficientes, siguiendo trayectorias planificadas con éxito. Se observó una precisión aceptable en el posicionamiento de objetos, junto con la identificación de áreas potenciales de mejora, como la optimización de trayectorias para maximizar la eficiencia. Estos hallazgos son fundamentales para mejorar el rendimiento del sistema robótico en diversas aplicaciones prácticas.	
CONCLUSIONES:	
La práctica confirmó la precisión del brazo robótico en el movimiento y posicionamiento, con posibles mejoras en la optimización de trayectorias. Estos hallazgos respaldan su utilidad en diferentes aplicaciones y señalan áreas de mejora para futuros desarrollos.	
RECOMENDACIONES:	
Explorar configuraciones y parámetros del brazo robótico para mejorar su precisión y eficiencia. Investigar técnicas de optimización de trayectorias para maximizar su rendimiento en diferentes tareas prácticas y científicas. .	

Docente / Técnico Docente: _____

Figura 45. Guía 2

CARRERA: Ingeniería mecatrónica	
NRO. PRACTICA: 3	TITULO PRACTICA: Adquisición y procesamiento de imágenes para la clasificación de objetos.
OBJETIVO GENERAL Proporcionar a los estudiantes una comprensión fundamental de los principios de la visión artificial, incluyendo la adquisición de imágenes y el procesamiento básico de las mismas para su posterior análisis y clasificación.	
OBJETIVOS ESPECIFICOS -Introducir a los estudiantes en los conceptos básicos de visión artificial. -Configurar la cámara para adquirir imágenes de los objetos. -Implementar técnicas de procesamiento de imágenes para mejorar la calidad de las imágenes.	
INSTRUCCIONES (Detallar las instrucciones que se dará al estudiante):	1. Configura la cámara y el software de adquisición de imágenes en la computadora.
	2. Captura imágenes de diferentes objetos desde diferentes ángulos y distancias.
	3. Determina la posición correcta del sistema de detección de imagen.
	4. Analiza la precisión al momento de capturar la imagen, tomando en cuenta su forma y color.
ACTIVIDADES POR DESARROLLAR	
1. Configurar la cámara y el software de adquisición de imágenes.	
2. Ingresar a la interfaz en el aparto de visión artificial y capturar la imagen de los objetos.	
3. Verificar la eficacia al momento de que la interfaz nos indique que forma y color ha detectado	
4. Documentar los pasos seguidos y los resultados obtenidos en el procesamiento de imágenes para su análisis posterior.	
RESULTADO(S) OBTENIDO(S): El practicante habrá capturado imágenes de objetos utilizando una cámara, y aplicado técnicas básicas de procesamiento de imágenes para mejorar la calidad de las imágenes. Además, comprenderá los conceptos básicos de la adquisición y el procesamiento de imágenes.	
CONCLUSIONES: En esta práctica, se comprendieron los fundamentos de la visión artificial y se adquirieron habilidades en la captura y el procesamiento básico de imágenes. Esto es fundamental para el desarrollo de sistemas de visión más avanzados.	
RECOMENDACIONES: Se recomienda experimentar con diferentes técnicas de procesamiento de imágenes y explorar herramientas de software más avanzadas para expandir el conocimiento en este campo.	

Docente / Técnico Docente: _____

Figura 46. Guía 3