



Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura

Carrera de Ingeniería en Electricidad

Trabajo de titulación

Modalidad Proyecto Técnico

**REPOTENCIACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO BASADO EN UN
BRAZO ROBÓTICO DE 6 EJES AR4 CON UN PLC INDUSTRIAL
RASPBERRY REVOLUTION PI PARA APLICACIONES INDUSTRIALES.**

Autor:

Alvarado Moreira Yordan Aldair

Asesor académico:

Ing. Marcos Antonio Ponce Jara

Manta – Ecuador

Julio 2024

CERTIFICADO DE AUTOR

Los derechos de título y redacción, corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución al señor YORDAN ALDAIR ALVARADO MOREIRA, damos consentimiento para que la Universidad laica “Eloy Alfaro” de Manabí, ejecute la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual.

Yordan Aldair Alvarado Moreira

Autor

Ing. Marcos Antonio Ponce Jara

Tutor

DEDICATORIA

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que han sido parte de mi trayectoria académica. A mis padres, por su amor y apoyo incondicional, que me han permitido alcanzar mis metas universitarias. A mi hermano, Ing. Marcos Alvarado Moreira, por su compañía y apoyo constante. A mi hermana, Iskra Alvarado Moreira, y a mis sobrinos, Matías y Ema, por su cariño y motivación.

De manera especial, quiero agradecer a mi hija, Doménika Salomé Alvarado Zambrano, quien, sin saberlo, me ha brindado la motivación y la fuerza para seguir adelante. Agradezco profundamente a todas las personas que me brindaron su apoyo y acompañamiento durante esta trayectoria académica.

Finalmente, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi tutor de tesis, Ing. Marcos Antonio Ponce Jara, quien ha sido un guía y un apoyo invaluable durante todo mi período académico, su dedicación y disponibilidad han sido fundamentales para el éxito de mi tesis.

Yordan Aldair Alvarado Moreira

RESÚMEN

La repotenciación del brazo robótico ANNIN AR4 implica la actualización y modernización del sistema robótico existente en el laboratorio de automatización, ampliando su capacidad de trabajo desde el eje 6 hasta el eje 8. Este proceso de mejora y optimización busca aumentar el rendimiento, la eficiencia y la funcionalidad del brazo robótico, adaptándolo a las demandas cambiantes del entorno y mejorando su desempeño.

La repotenciación requiere la integración de tecnologías avanzadas y componentes diseñados en 3D, así como un enfoque interdisciplinario que combina conocimientos de ingeniería mecánica, eléctrica, electrónica y de software. La implementación de este proyecto aprovecha los conocimientos y habilidades adquiridos durante los 10 semestres de la carrera de Ingeniería Eléctrica, demostrando la aplicación práctica de conceptos teóricos en un proyecto de ingeniería real.

ABSTRACT

The repowering of the ANNIN AR4 robotic arm involves the update and modernization of the existing robotic system in the automation laboratory, expanding its work capacity from axis 6 to axis 8. This improvement and optimization process seeks to increase performance, efficiency and the functionality of the robotic arm, adapting it to the changing demands of the environment and improving its performance.

Repowering requires the integration of advanced technologies and 3D designed components, as well as an interdisciplinary approach that combines knowledge of mechanical, electrical, electronic and software engineering. The implementation of this project takes advantage of the knowledge and skills acquired during the 10 semesters of the Electrical Engineering degree, demonstrating the practical application of theoretical concepts in a real engineering project.

INDICE GENERAL

1. CAPITULO 1. EL PROBLEMA	17
1.1. Introducción	17
1.2. Antecedentes	17
1.3. Planteamiento del Problema.....	20
1.4. Justificación	21
1.5. Propuesta.....	21
1.6. Objetivos	21
1.6.1. Objetivo general.....	21
1.6.2. Objetivos específicos	22
2. CAPITULO II. MARCO TEÓRICO	23
2.1. La automatización.....	23
2.2. Robótica	24
2.3. Robots Industriales.....	24
2.3.1. Clasificación de los robots.	24
2.4. Brazo robótico.....	26
2.4.1. Tipos de brazo robóticos.	26
2.4.2. Comparación AR3, ABB y Festo.....	28
2.4.3. Tipos de brazos robótico Annin Robotics AR.	30
2.5. Principales elementos asociados a un brazo robótico.	31

2.5.1.	Banda Transportadora	32
2.5.2.	Servomotor.....	34
2.5.3.	Sensores.	35
2.6.	Definición de PLC	38
2.7.	PLCs comerciales.....	39
2.8.	Raspberry PI.....	40
2.9.	Revolution PI	41
3.	CAPÍTULO III. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	43
3.1.	PROBLEMAS ENCONTRADOS EN BRAZO ROBÓTICO ANNIN AR4.	43
3.1.1.	Brazo robótico sin direccionamiento.	44
3.1.2.	Determinar el calibre necesario para el circuito de cableado.....	45
3.1.3.	Final carrera irrelevantes.....	48
3.1.4.	Cableado innecesario.	48
3.2.	IMPLEMENTACIÓN Y REPOTENCIACIÓN DEL BRAZO ROBÓTICO ANNIN AR4. 50	
3.2.1.	Escritura.	50
3.2.2.	Pinza de agarre triple.....	51
3.2.3.	Acople de portaelectrodo para soldadura.....	53
3.2.4.	Acople para pistola de pintura con cafetera de gravedad.....	54
3.2.5.	Mando Joystick.	55

3.2.6.	Webcam para visualización y reconocimiento de objetos.	56
3.2.7.	Base de acople.....	58
3.2.8.	Mando de control fijo “Monitor de escritorio”.	58
3.3.	SIMPLIFICACIÓN DEL ESQUEMA DE CONEXIONES.	59
3.3.1.	Simplificación ENCODER - TENSY 4.1	60
3.4.	Esquema del aumento de los drivers de los ejes 7 – 8.	61
3.5.	MÓDULO DE PRÁCTICAS	62
3.5.1.	Calibrar y forzar a cero “0” los ejes del brazo robótico Annin AR4.	63
3.5.2.	Movimientos aleatorios de nuestro Annin Robotic AR4.	63
3.5.3.	Guardar movimientos aleatorios de nuestro Annin Robotic AR4.	64
3.5.4.	Escritura.	64
3.5.5.	Selección de Objetos “movimientos repetitivos”.	64
3.5.6.	Soldadura.	65
3.5.7.	Pintura con pistola de gravedad.	65
3.5.8.	Calibración de webcam para detección de objetos.	66
3.5.9.	Selección de objetos con Annin AR4 mediante visión artificial.	66
3.5.10.	Mando Joystick para el Annin AR4.	68
3.6.	Conclusiones	70
3.7.	Recomendaciones.....	70
4.	CAPÍTULO V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

5. CAPÍTULO VI. ANEXOS	75
6. Recursos	130
6.1. Recursos humanos.....	130
6.2. Recursos institucionales	130
6.3. Recursos materiales y económicos	130

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ejes y movimientos de un brazo robot	26
Figura 2. Diseño brazo robótico AR3, ABB y Festo.	29
Figura 3. Elementos que componen una banda transportadora.	33
Figura 4: <i>Esquema de accionamiento de un servomotor.</i>	34
Figura 5. Sensor Capacitivo.	36
Figura 6: <i>Sensor Inductivo.</i>	37
Figura 7. Raspberry Pi 4 Modelo B	40
Figura 8. Revolution Pi, módulo base RevPi Core 3.	42
Figura 9. Movimiento adecuado del Annin AR4	45
Figura 10. Nuevo cableado de fuerza y control en el brazo robótico AR4.....	47
Figura 11. Final de carrera SV-1661C25.....	48
Figura 12. Nuevo esquema de diseño para el Annin AR4	49
Figura 13. Acople de Escritura.	51
Figura 14. Acople de pinza triple con Nema 17	52
Figura 15. Acople de portaelectrodo para soldadura.	54
Figura 16. Acople de pistola con cafetera de gravedad.	55
Figura 17. Mando Joystick.....	56
Figura 18. Webcam para detección y reconocimiento.	57
Figura 19. Acoples 3D, mando joystick y webcam	57
Figura 20: <i>Base de acople encajable del brazo robótico.</i>	58
Figura 21. Monitor “mando de control fijo”.	59
Figura 22. Esquema anterior ENCODER - TEENSY 4.1	60

Figura 23. Esquema actual ENCODER - TEENSY 4.1	61
Figura 24. Esquema actual "aumento de drivers de los ejes 7 y 8"	62
Figura 25. Final de carrera SV-1661C25 colisionado	75
Figura 26. Ficha técnica del Motor paso a paso NEMA 17	75
Figura 27. Parte del cableado retirado (motor-teensy / encoder-teensy)	76
Figura 28. Parte del cableado retirado (final carrera-teensy)	76
Figura 29. Tabla AWG.....	77
Figura 30. Cable multiconductor 7x16Awg blindado.....	77
Figura 31. Cable de control PVC aislado 1.5mm² núcleo de cobre de bajo voltaje.....	78
Figura 32. Cambio y mejoramiento del cableado del brazo robótico AR4.	78
Figura 33. Final carrera en Brazo Robótico AR4	79
Figura 34. Conexiones de final carrera "diseño antiguo para RJ45"	79
Figura 35. Conexiones de final carrera "diseño antiguo para Jacks"	80
Figura 36. Agarre de pinza triple con motor paso a paso	80
Figura 37. Pinza doble con servomotor	81
Figura 38. Webcam para reconocimiento de objetos en banda transportadora.	81
Figura 39. Webcam para visión artificial a distancia.....	82
Figura 40: <i>Parte inicial de las impresiones 3D.</i>	82
Figura 41: <i>Cámara web usada en el AR4.</i>	83
Figura 42: <i>Acople con 3 pinzas.</i>	83
Figura 43: <i>Acoples.</i>	84
Figura 44: <i>Acople inicial de soldar AR4</i>	84
Figura 45: <i>Acople de pintar AR4</i>	85

Figura 46: *Acople de 3 pinzas, Joystick y cámara web*..... 85

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Clasificación de los robots y su generación.</i>	25
Tabla 2: <i>Tipos de brazo robóticos.</i>	27
Tabla 3: <i>Brazos robótico Annin Robotics AR.</i>	30
Tabla 4: <i>PLCs en el mercado.</i>	39
Tabla 5. <i>Detalle de los recursos humanos y su aporte en el desarrollo del proyecto.</i>	130
Tabla 6. <i>Detalle de los recursos institucionales y lugar de origen.</i>	130
Tabla 7. <i>Detalle de los recursos materiales y económicos necesarios para la elaboración del proyecto.</i>	130

INDICE DE ACRÓNIMOS

AR4	Annin Robotics AR4
DOF	Degrees of Freedom (Grados de Libertad)
PLC	Programmable Logic Controller (Controlador Lógico Programable)
RPi	Raspberry Pi
HMI	Human-Machine Interface (Interfaz Hombre-Máquina)
I/O	Input/Output (Entrada/Salida)
CAD	Computer-Aided Design (Diseño Asistido por Computadora)
CAM	Computer-Aided Manufacturing (Manufactura Asistida por Computadora)
IoT	Internet of Things (Internet de las Cosas)
API	Application Programming Interface (Interfaz de Programación de Aplicaciones)
OS	Operating System (Sistema Operativo)
PWM	Pulse Width Modulation (Modulación por Ancho de Pulso)
USB	Universal Serial Bus (Bus Serial Universal)
GPIO	General-Purpose Input/Output (Entrada/Salida de Propósito General)
LAN	Local Area Network (Red de Área Local)
WAN	Wide Area Network (Red de Área Amplia)
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol (Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Internet)
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition (Control de Supervisión y Adquisición de Datos)
IDE	Integrated Development Environment (Entorno de Desarrollo Integrado)
AI	Artificial Intelligence (Inteligencia Artificial)

ML	Machine Learning (Aprendizaje Automático)
ROS	Robot Operating System (Sistema Operativo de Robots)
PID	Proportional-Integral-Derivative (Proporcional-Integral-Derivativo)
ERP	Enterprise Resource Planning (Planificación de Recursos Empresariales)
RTOS	Real-Time Operating System (Sistema Operativo en Tiempo Real)

1. CAPITULO 1. EL PROBLEMA

1.1.Introducción

La repotenciación del brazo robótico ANNIN AR4 implica la actualización y mejora de sus componentes, sistemas y capacidades con el objetivo de incrementar su rendimiento, eficiencia y funcionalidad. Este proceso se puede realizar por diversas razones, tales como la obsolescencia de los componentes originales, la necesidad de adaptarse a nuevas tecnologías o para cumplir con requerimientos específicos de aplicaciones particulares.

En el presente estudio, llevaremos a cabo la repotenciación de nuestro brazo robótico, ya que actualmente no es capaz de ejecutar procesos automatizados. Para abordar esta limitación, se implementarán procesos de automatización que permitirán al brazo robótico desempeñar funciones típicas en un entorno industrial, como la selección y manipulación de objetos o cargas diversas. Adicionalmente, se integrarán capacidades para realizar tareas de soldadura y pintura, ampliando así su funcionalidad y aplicabilidad en el ámbito industrial.

1.2. Antecedentes

Según el autor (Pástor Jácome, 2022) con tema de tesis “Implementación de un sistema inclusivo basado en el uso del brazo robótico ANNO rv624 para alimentar a personas con discapacidad motora”. Para alimentar a personas con discapacidad motora, propuso implementar un sistema inclusivo utilizando el brazo robótico ANNO RV624, vinculando el conocimiento académico con la sociedad. Para la constitución y el funcionamiento del brazo robótico se utilizaron actuadores, motores, componentes y controladores. Luego se desarrolló un algoritmo que utiliza visión artificial para detectar y reconocer el área facial, específicamente la boca,

utilizando una cámara y técnicas de visión por computadora, así como las librerías de Python MediaPipe Face Mesh y OpenCV. Se demostró que una velocidad del 20% no es ideal para la alimentación porque provoca vibraciones y pérdida de alimento. Recomendó resetear la posición HOME del brazo antes de su uso, ya que toma como posición inicial el último movimiento realizado antes de apagarlo.

Por otro lado, el Sr. (Piña Bustamante, 2019) nos dice en su tema de proyecto “Brazo y mano robótica para manipulación de objetos” que utilizaron herramientas CAD para diseñar brazos, manos robóticas y sensores de presión. Se utilizaron herramientas de impresión 3D para unir los componentes de las articulaciones y los tubos de aluminio, así como cableado UTP para la instalación eléctrica. La validación de la construcción y operación del brazo robótico incluyó pruebas de manipulación utilizando un sistema de visión por computadora con detección de objetos de aprendizaje profundo. Además, se realizaron pruebas de sujeción de objetos con el fin de evaluar el funcionamiento de los sensores de presión y capturar y analizar los datos que se recopilaban.

Teniendo en cuenta estas investigaciones, se han desarrollado herramientas para optimizar diversas funciones en actividades cotidianas e industriales, incrementando productividad y eficiencia mediante la automatización, la cual mejora la calidad y consistencia del trabajo. En el Laboratorio de Control y Automatización de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, se cuenta con un brazo robótico AR4 de 6 ejes que realiza movimientos básicos y un módulo didáctico de un PLC basado en Raspberry Revolution Pi. Se planea fusionar estos módulos para crear un proceso industrial realista, interconectando el brazo robótico con el PLC mediante protocolos de comunicación industrial. El AR4, un robot industrial manipulador multifuncional, mejorará con la implementación de los ejes 7 y 8 y la adición de una

cámara para visión artificial, permitiendo la clasificación de objetos y facilitando actividades académicas y prácticas en procesos industriales a pequeña escala, reforzando así los aprendizajes en Control y Automatización.

Existen otros proyectos donde además de usar un brazo robótico, también incorporan PLC industriales como nos indica (Larrañaga, 2020), el PLC basado en un RaspBerry Revolution PI, se trata de un ordenador construido sobre un "Sistema en un chip" y compuesto principalmente por un procesador y una memoria RAM. Esto significa que una Raspberry Pi puede utilizarse para realizar tareas informáticas, aunque con ciertas limitaciones de potencia y memoria. En este ordenador se puede instalar un sistema operativo completo para navegar por Internet, descargar y ejecutar juegos y programas, y trabajar en él. Lo que menciona el autor es que este tipo de PLC es perfecto para ser usado en microprocesos de control y automatización en una sala educativa para que el estudiante de Ingeniería tenga el conocimiento adecuado de cómo sería trabajar con un PLC a gran escala en una industria real.

Para (Aldea, 2017) las principales utilidades que ofrece este miniordenador son las siguientes:

- Convertirlo en un ordenador de sobremesa.
- Convertirlo en un productor de música y película.
- Realizar proyectos de robótica.
- Utilizarlo como Servidor Web.
- Hacer una red privada virtual VPN.

Como se puede observar en el tercer punto el autor menciona la realización de proyectos de robótica, entonces, podemos deducir que, este tipo de PLC basado en RaspBerry PI, es adecuado

para realizar la comunicación y enlace con el Brazo Robótico AR4 y así realizar la comunicación entre estos, para obtener prácticas de laboratorio en aplicaciones reales de procesos industriales.

Cada uno de los antecedentes aquí mencionados presentan condiciones igualitarias, ya que nos aportan información necesaria para la elaboración del proyecto que va referido al control y automatización de procesos industriales, por lo que la misma, nos dará la pauta para el desarrollo de nuestra implementación.

1.3. Planteamiento del Problema

El problema central abordado en este trabajo técnico es la carencia de un módulo didáctico especializado para realizar procesos industriales, lo cual limita el proceso de enseñanza-aprendizaje en el área de robótica y automatización en el laboratorio de automatización industrial. Es necesario fortalecer esta área mediante la incorporación de un módulo didáctico orientado a la robótica industrial. Actualmente, la falta de material didáctico específico para la robótica agrava esta situación.

Para abordar esta necesidad, se propone la implementación de un módulo didáctico enfocado en procesos industriales. En particular, un brazo robótico que permita enriquecer el sistema de enseñanza-aprendizaje de procesos automáticos en la carrera de Ingeniería en Electricidad de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Este módulo no solo suplirá la carencia de material didáctico, sino que también proporcionará una herramienta práctica y efectiva para que los estudiantes adquieran competencias clave en robótica industrial y automatización.

1.4. Justificación

Este trabajo técnico se justifica en la necesidad de brindarle al Laboratorio de Control y Automatización un módulo didáctico de procesos industriales realizando el enlace y comunicación entre un PLC de código abierto como el RaspBerry Revolution Pi con el Brazo Robótico AR4 para la implementación de prácticas académicas enfocadas a actividades industriales específicas en las asignaturas de Control y Automatización.

1.5. Propuesta

Dotar al Laboratorio de Control y Automatización de un módulo didáctico de procesos industriales completo de bajo costo en la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, interconectando el módulo PLC Revolution Pi y el Brazo Robótico AR4 para prácticas académicas enfocadas a la robótica y automatización industrial.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Repotenciación de un módulo didáctico basado en un brazo robótico de 6 ejes AR4 con un PLC industrial RaspBerry Revolution PI para aplicaciones industriales, aplicando su uso en el Laboratorio de Control y Automatización de la carrera de Ingeniería Eléctrica en la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí.

1.6.2. Objetivos específicos

- ✓ Repotenciar el módulo didáctico del brazo robótico que actualmente se encuentra en el Laboratorio de Control y Automatización.
- ✓ Implementar los ejes 7 y 8 al brazo robótico AR4 de 6 ejes, actualizándolo a su versión 2024.
- ✓ Interconectar el módulo didáctico del Brazo Robótico AR4 con diferentes máquinas eléctricas que actualmente se encuentran en el laboratorio de Automatización de manera que se realicen procesos industriales basados en cómo se vería en una industria real.
- ✓ Elaborar un manual de ensayos y prácticas de laboratorio que aporten a los estudiantes en la enseñanza – aprendizaje de procesos automáticos industriales, utilizando el módulo didáctico completo.
- ✓ Preparar el módulo de sistemas industriales específicos para los diferentes ensayos y prácticas preestablecidas en el manual elaborado por el autor del proyecto.

2. CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. La automatización

La automatización se refiere al proceso de utilizar tecnología para realizar tareas o procesos sin intervención humana directa. Esta tecnología puede incluir software, hardware y sistemas que realizan acciones de manera autónoma, repetitiva y precisa. El objetivo principal de la automatización es aumentar la eficiencia, reducir errores y liberar a las personas de tareas monótonas y repetitivas, para que sus conocimientos prácticos se puedan ocupar en tareas más específicas y estratégicas en toma de decisiones.

Según (Wilson, 2018), la automatización significa elevar los estándares de los recursos computacionales en los negocios. Involucra el volver los procesos manuales y de labor intensiva menos dependiente de la intervención humana detallada.

Esta tecnología incluye:

- Maquinas herramientas automáticas para procesar partes.
- Máquinas automáticas de ensamble.
- Robots industriales.
- Sistemas automáticos de manejo y almacenamiento de partes.
- Sistemas automáticos de inspección para el control de calidad.
- Procesos y su retroalimentación controlados por computadora.
- Sistemas computacionales para planear, reunir información, y tomar decisiones relacionadas con actividades de manufactura.

2.2. Robótica

Según (Robots, 2023), los robots industriales son los robots que se diseñan para ser utilizados en los diferentes sectores industriales con el objetivo de automatizar un proceso, ya sea dentro de un ambiente colaborativo con humanos o dentro de un vallado de seguridad. Las necesidades productivas son cada vez mayores por lo que la robótica industrial se está adaptando para dar respuesta a los retos de las empresas para integrarse en la Industria 4.0.

En el contexto actual, las empresas enfrentan crecientes demandas de producción y la necesidad de adaptarse a los avances tecnológicos en la llamada Industria 4.0. La robótica industrial está experimentando una transformación significativa para responder a estos desafíos. Está evolucionando para ofrecer soluciones más sofisticadas y versátiles, integrándose en los procesos de fabricación de manera más eficiente y flexible. Esto implica no solo mejorar la eficiencia y la productividad, sino también garantizar la seguridad en el entorno laboral y potenciar la colaboración entre humanos y robots para optimizar el rendimiento en la producción industrial.

2.3. Robots Industriales.

Son utilizados en entornos de fabricación y producción para realizar tareas repetitivas y precisas, como soldadura, ensamblaje, pintura y manipulación de materiales. Estos robots suelen estar programados para ejecutar tareas específicas en líneas de producción. (Sigma21, 2021)

2.3.1. Clasificación de los robots.

Los robots se clasifican de acuerdo con diferentes criterios siendo principalmente su generación y su aplicación (ver tabla 1).

Tabla 1:

Clasificación de los robots y su generación.

GENERACION	
Primer Generación	Robots manipuladores son dispositivos mecánicos versátiles con capacidad para realizar diferentes funciones, controlables a través de un sistema manual, una secuencia predeterminada y también una secuencia adaptable o modificable.
Segunda Generación	Robots de aprendizaje: Los robots de aprendizaje imitan una secuencia ejecutada anteriormente por un operador humano. Estos dispositivos mecánicos reproducen los movimientos realizados mientras el robot los observa y los guarda en su memoria. Estos robots están equipados con un sistema de control de bucle cerrado.
Tercera Generación	Robots de control sensorizado: Los robots están equipados con controladores, que son una forma de computadora. Estos controladores utilizan información recolectada por los sensores para llevar a cabo las instrucciones de un programa específico, transmitiendo estas órdenes al manipulador para que realice los movimientos requeridos.
Cuarta Generación	Robots Inteligentes: Cuenta con sensores que transmiten datos al controlador, el cual analiza la situación a través de estrategias sofisticadas. Esta computadora de control evalúa el estado del proceso en tiempo real, posibilitando la toma de decisiones y el control inmediato de la situación.
Quinta Generación	Integra tecnología completamente basada en inteligencia artificial y modelos de comportamiento, junto con una arquitectura renovada de subyugación.
Estructura	
Manipuladores poli articulado	Son brazos robóticos estacionarios programados para mover sus partes en un espacio de trabajo específico.
Androides	Robots los cuales se encuentran principalmente enfocados en reproducir la cinemática de los humanos.
Zoomórfico	Robots los cuales principalmente se encuentran enfocado en la imitación de los movimientos de los animales.
Aplicaciones Industriales	
Servicio	
Salud, Medicina, Seguridad, Entretenimiento, Mantenimiento, Limpieza, Vigilancia, Transporte.	

Nota: Principales características de los robots de acuerdo con su generación. Obtenido de (Euroinnova, 2022)

2.4. Brazo robótico

Los brazos robóticos, son rápidos, confiables y precisos, y se pueden programar para realizar una cantidad infinita de tareas en una variedad de entornos. Se usan en las fábricas para automatizar la ejecución de tareas repetitivas, por ejemplo, elegir, seleccionar o clasificar productos en los transportadores de distribución para cumplir con los pedidos de los consumidores; o en un campo agrícola para recoger las frutas maduras y colocarlas en las bandejas de almacenamiento. Además, a medida que se elaboran las tecnologías robóticas y los entornos industriales están más conectados, las capacidades de los brazos robóticos se amplían para habilitar nuevos casos prácticos y modelos de operación empresarial como se observa en la figura 1 (INTEL, 2021).

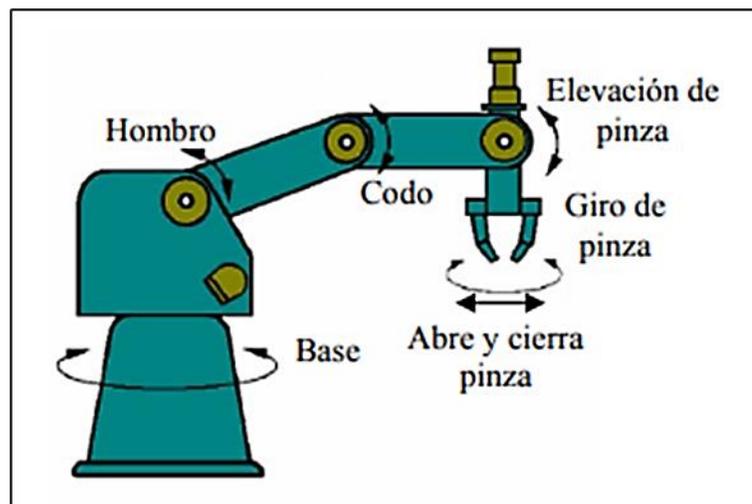


Figura 1. Ejes y movimientos de un brazo robot

Obtenido de: (Carbo Villacreses, 2024)

2.4.1. Tipos de brazo robóticos.

Hay una diversidad de categorías de brazos robóticos que son concebidos y configurados para llevar a cabo tareas específicas de acuerdo con las funciones requeridas por las personas. Estos se pueden clasificar de la siguiente manera ver (**Tabla 2**).

Tabla 2:

Tipos de brazo robóticos.

Brazos Robóticos		
Tipos	Definición	Características
Brazo articulado	Se trata de brazos robóticos de uso general que cuentan con cinco o más articulaciones o grados de libertad. El término "brazo articulado" representa una categoría que incluye una amplia variedad de otros tipos de robots.	Facilita la posibilidad de alcanzar considerables alturas, su aplicabilidad se extiende tanto a ambientes internos como externos, su diseño está orientado para llevar a cabo movimientos de extensión y retracción, y se maneja con facilidad para alcanzar diversas distancias.
Seis ejes	Son el tipo de brazo articulado más habitualmente encontrado. Debido a su versatilidad y capacidad de adaptación, estos brazos robóticos son altamente valorados como herramientas generales en la robótica.	El brazo de seis ejes tiene la capacidad de sostener hasta un máximo de 10 kilogramos de carga, cuenta con una clasificación de protección IP65 y tiene una longitud extendida de 1600 milímetros.
Robot Colaborativo	Este brazo robótico ha sido específicamente desarrollado para desempeñarse en entornos de colaboración, lo que implica que está diseñado para operar en proximidad a los seres humanos.	Su objetivo principal radica en la automatización de operaciones industriales con el fin de incrementar su eficiencia y productividad, buscando optimizarlos en su máxima medida posible.
SCARA	Estos brazos robóticos se caracterizan por su capacidad de cumplimiento selectivo, lo que indica que no poseen la misma versatilidad y flexibilidad que los brazos articulados.	El propósito principal de los robots Scara consiste en la manipulación veloz de materiales, productos o componentes, especialmente cuando esta tarea requiere un manejo inteligente y eficiente.
Cartesiano	Se trata de estructuras sólidas que se desplazan en un sistema de coordenadas tridimensional.	Ofrece un grado apropiado de exactitud y consistencia en las acciones repetitivas, su configuración es sencilla y se encuentra disponible a un precio accesible.

Cilíndrico	Han sido concebidos alrededor de un solo brazo que se desplaza verticalmente hacia arriba y hacia abajo dentro de una estructura vertical.	El robot presenta un giro alrededor de su base, una articulación que permite ajustar la altura y otra para modificar el alcance. Esta configuración es especialmente adecuada para entornos de trabajo circulares o redondos. Ofrece dos movimientos lineales y uno rotativo, lo que se traduce en tres niveles de movilidad o libertad de movimiento.
Esférico	Fue concebido para llevar a cabo labores simples que no demandan una velocidad elevada ni movimientos intrincados.	Emplean un sistema tridimensional de coordenadas polares, representadas por r , θ y φ . A diferencia de poseer un área de trabajo con forma de prisma rectangular, los robots polares tienen un alcance que se asemeja más a una esfera.
Paralelo/Delta	Son alternativas de automatización robótica de alta velocidad. La configuración singular de estos robots les otorga la capacidad de alcanzar velocidades sorprendentes.	Se compone de dos plataformas, una estática y otra móvil, unidas mediante tres cadenas cinemáticas. En la plataforma fija se encuentran ubicadas tres articulaciones mecánicas cuyos ejes forman un triángulo equilátero en el plano.
Antropomórfico	Son una rareza en los entornos industriales. Estos robots poseen dos o más brazos y una apariencia amigable. Normalmente se utilizan en entornos colaborativos donde interactúan muy cercanamente con los trabajadores humanos.	Este tipo de robots se emplean extensamente en la industria debido a su resistencia y su amplio rango de habilidades operativas. Esto posibilita la realización de numerosas tareas que pueden ser peligrosas para los individuos o que, debido a la complejidad de los procesos, resultan difíciles para un operario.

Nota: Elaboración propia toma de (Structuralia, 2023)

2.4.2. Comparación AR3, ABB y Festo.

Diseño: El Annin Robotics AR3 se caracteriza por su enfoque DIY y el uso de materiales más ligeros y menos costosos fabricado principalmente con aluminio y piezas impresas en 3D. En contraste, los brazos robóticos de ABB y Festo están contruidos con materiales de alta calidad

como lo es el acero y aluminio, diseñados para ofrecer durabilidad y precisión en entornos industriales exigentes (Ver figura 2).



Figura 2. Diseño brazo robótico AR3, ABB y Festo.

Nota: Tomada de (Robodk, 2024)

Precio: En términos de costos, el AR3 es significativamente más asequible, con un precio que oscila entre \$2,000 y \$3,000 USD, mientras que los brazos robóticos de ABB y Festo son considerablemente más caros, con precios que van desde los \$15,000 hasta más de \$70,000 USD, justificados por su robustez, precisión y adaptabilidad para diversas aplicaciones industriales.

Versatilidad y Aplicaciones: El AR3 destaca por ser ideal para aplicaciones en educación, investigación y prototipos, donde la capacidad de personalización y el bajo costo son aspectos críticos. Por otro lado, los brazos de ABB y Festo son ideales para entornos industriales, ofreciendo soluciones robustas y precisas para tareas complejas y repetitivas que requieren alta precisión y fiabilidad.

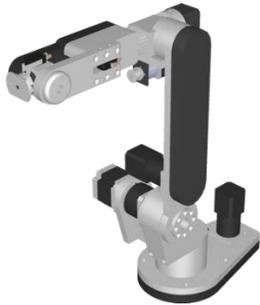
Por qué elegir el AR3: El Annin Robotics AR3 se destaca principalmente por su costo accesible, lo cual lo hace una opción viable para presupuestos limitados. Además, su naturaleza de código abierto permite una flexibilidad y personalización significativas, adaptándose fácilmente a diferentes proyectos y necesidades específicas. Es especialmente adecuado para instituciones educativas y proyectos de investigación donde la capacidad de adaptación y personalización juegan un papel crucial en el desarrollo y aprendizaje.

2.4.3. Tipos de brazos robótico Annin Robotics AR.

Estos robots se utilizan ampliamente en pequeños procesos de automatización como en los laboratorios de escuelas técnicas y universidades en variedades de programas educativos ver (Tabla 3). El brazo robótico ha sido diseñado en base a la gran versatilidad del brazo humano, en un principio los diseños fueron rudimentarios, pero con el tiempo se logró igualar, incluso, superar la complejidad de los movimientos.

Tabla 3:

Brazos robótico Annin Robotics AR.

Tipos de Brazos Robótico		
Modelo	Descripción	Características
 <p>Annin Robotics AR2</p>	<p>El Annin Robotics AR2 es el precursor en la línea de brazos robóticos DIY de Annin Robotics. Está diseñado para ofrecer una experiencia inicial en la robótica y la automatización, siendo accesible tanto en términos de costo como de complejidad técnica.</p>	<p>Grados de libertad: 6 Carga: 1.0 kg Ejes: 600 mm Repetibilidad: 0.2 mm Peso: 10 kg</p>
<p>Annin Robotics AR3</p>	<p>El Annin Robotics AR3 es una evolución del AR2, mejorando aspectos clave como la robustez, precisión y facilidad de uso. Este modelo es ampliamente</p>	<p>Grados de libertad: 6 Carga: 1.0 kg Ejes: 600 mm Repetibilidad: 0.2 mm Peso: 10 kg</p>



utilizado en entornos educativos y de investigación debido a su equilibrio entre capacidad y accesibilidad.

Annin Robotics AR4



El Annin Robotics AR4 representa el modelo más avanzado en la línea de Annin Robotics. Este brazo robótico incorpora las lecciones aprendidas de los modelos anteriores, ofreciendo mejoras significativas en términos de precisión, capacidad de carga y facilidad de ensamblaje.

Grados de libertad: 6
Carga: 1.0 kg
Ejes: 600 mm
Repetibilidad: 0.2 mm
Peso: 10 kg

Nota: Elaboración propia tomada de (Robodk, 2024)

2.5. Principales elementos asociados a un brazo robótico.

Al momento de hablar de un robot es necesario entender que estos se componen de elementos electromecánicos. Durante la etapa de construcción mecánica, se emplean conceptos como engranajes, poleas, ejes, articulaciones, motores, voltaje y otros componentes. Tanto en entornos domésticos como en educación robótica, es factible fabricar un robot utilizando una amplia gama de materiales, desde objetos reciclados hasta piezas provenientes de juegos como LEGO o Mecano, tal como lo señalan expertos de la tienda de robótica educativa RO-BOTICA (La vanguardia, 2021).

De acuerdo con la información presentada en el sitio web, se concluye que un robot se compone de múltiples elementos que son fundamentales para su capacidad de ejecutar las funciones designadas. Es decir, cada uno de estos componentes desempeña un papel esencial en el correcto funcionamiento del robot, permitiéndole llevar a cabo las tareas para las que ha sido

programado. La clasificación de los elementos de los robots se organiza de manera específica y sistemática, permitiendo una comprensión detallada de cómo estos contribuyen al conjunto funcional y estructural del robot

Entre los componentes que se encuentran asociados al uso de un brazo robótico tenemos los siguientes:

- Banda transportadora
- Servomotores
- Sensor capacitivo
- Sensor inductivo

2.5.1. Banda Transportadora.

Una banda transportadora se configura como un sistema de transporte que se compone de una cinta en constante movimiento entre dos tambores. Esta cinta es propulsada por la fricción generada con uno de los tambores, el cual recibe el impulso de un motor. Mientras tanto, el segundo tambor tiene la función de permitir el retorno de la banda al sistema, girando libremente.

Según lo mencionado por (Wilson, 2018) las bandas transportadoras se emplean en una amplia gama de procesos destinados a la producción. Estas bandas representan componentes esenciales que combinan procesos parciales interdependientes, tales como la elaboración y el transporte o movimiento de materiales. Se considera que el traslado o transporte de materiales constituye una tarea primordial dentro de la industria moderna.

Así, las bandas transportadoras no solo facilitan el desplazamiento eficiente de materiales en la industria, sino que también se convierten en un eslabón crucial que entrelaza distintos

procesos productivos, contribuyendo significativamente al flujo y la eficiencia de la producción industrial.

Como nos habla (Garcés Hernández , 2017) la banda transportadora debe cumplir con una serie de requisitos específicos que incluyen una resistencia mecánica considerable en sentido longitudinal, flexibilidad tanto en la dirección longitudinal (sobre los tambores) como en la transversal (en los puntos de apoyo de los rodillos), una notable capacidad para resistir el desgaste y la desestabilización debido a repeticiones en los pliegues, una baja elasticidad y una alta tolerancia a la humedad. Los materiales más comúnmente empleados para su fabricación abarcan desde telas naturales y sintéticas hasta elementos de acero y demás elementos que se pueden observar en la (Figura 3).

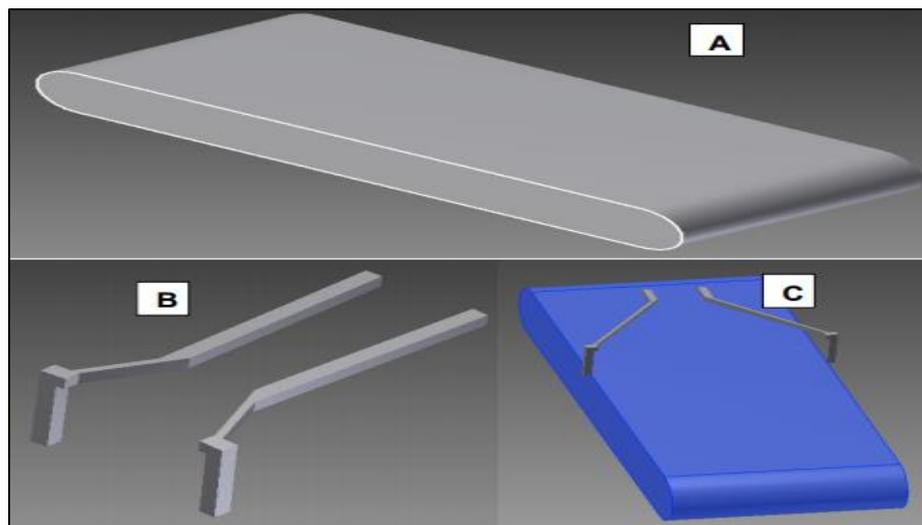


Figura 3. Elementos que componen una banda transportadora.

Nota: A) Banda transportadora, B) Guías de centrado de objetos, C) Banda centradora de objetos. Obtenido de (Herrera, 2016).

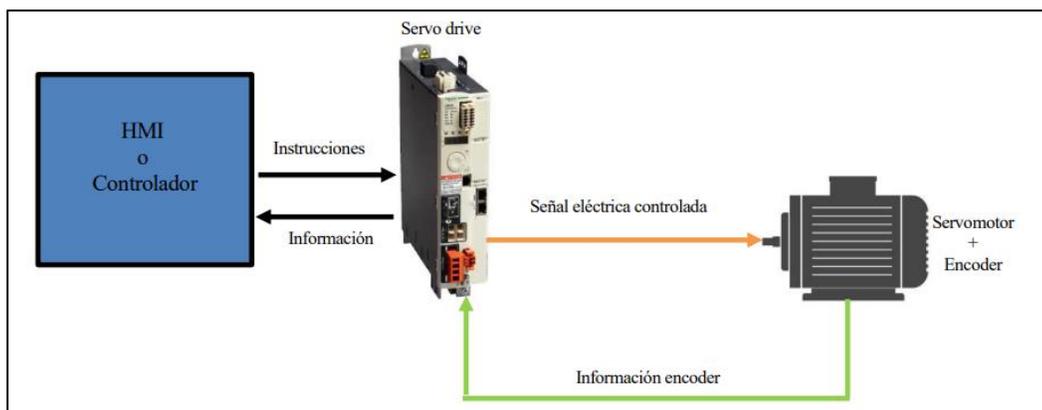
2.5.2. Servomotor.

Los servomotores se caracterizan como motores síncronos que operan en un ciclo de retroalimentación cerrado, formando parte fundamental de un sistema compuesto principalmente por varios elementos. En este sistema, se encuentran: un dispositivo de control externo, que puede ser, por ejemplo, un PLC (Controlador Lógico Programable), el controlador electrónico o servo drive, un encoder y el propio servomotor (García J. C., 2021).

En la figura 4 se muestra el diagrama de funcionamiento de un servomotor a través de un HMI o de un controlador en donde el servo drive desempeña un papel crucial al gestionar el control del motor, regulando aspectos como la posición, la velocidad y/o el par, todo ello en base a la información proveniente del encoder y las instrucciones proporcionadas por el dispositivo de control externo, o en su ausencia, de acuerdo con la programación interna del sistema.

Figura 4:

Esquema de accionamiento de un servomotor.



Nota: El esquema muestra los diferentes parámetros a tomar en cuenta para el accionamiento de un servomotor. Obtenido de (García J. C., 2021)

Estos servomotores se integran en sistemas de automatización donde se requiere precisión y respuesta inmediata a los comandos externos. Asimismo, la interacción entre el controlador, el encoder y el motor mismo se destaca como una sinergia fundamental para garantizar un rendimiento óptimo en términos de posicionamiento y control de movimiento en diversas aplicaciones industriales y de automatización.

2.5.3. Sensores.

Un sensor representa un dispositivo esencial utilizado para transformar una magnitud física o química específica en una señal eléctrica, lo cual facilita su procesamiento, almacenamiento o transmisión. En esencia, los sensores operan como transductores, dado que su función principal implica recibir una señal y convertirla en otro tipo de señal que pueda ser interpretada, comprendida y empleada de manera efectiva.

De acuerdo con la definición de (Instituto Nacional de Bioingeniería e Imágenes Biomédicas, 2022) los sensores son aquellas herramientas las cuales se encargan de responder a algún tipo de entrada con el entorno físico. Los sensores abarcan una amplia gama de tipos y aplicaciones, cada uno diseñado para detectar y procesar diferentes tipos de magnitudes físicas o químicas, desde temperatura y presión hasta luz, sonido o sustancias químicas. Esta versatilidad permite su implementación en diversas industrias, sistemas de control y dispositivos electrónicos, contribuyendo significativamente al monitoreo, la automatización y la mejora de procesos en distintos campos. A continuación, se describirán los sensores.

- **Sensor Capacitivo:** Los sensores capacitivos constituyen dispositivos eléctricos que responden a las variaciones en la capacidad de un condensador. En consecuencia, tienen la capacidad de medir cualquier parámetro que, al cambiar, modifique la capacidad de este

condensador. La alteración en la capacidad produce un impacto en la corriente y las tensiones presentes en el circuito que comprende el condensador y sus componentes asociados (Innovacion Digital 360, 2023).

Estos sensores se caracterizan por su capacidad para detectar cambios minúsculos en la capacidad del condensador, lo que los hace particularmente útiles en diversas aplicaciones. Su versatilidad les permite adaptarse a una amplia gama de entornos y funciones, desde la medición de niveles de líquidos hasta la detección de objetos y la monitorización de procesos industriales ver (**Figura 5**).



Figura 5. Sensor Capacitivo.

Nota: Sensor capacitivo utilizado en la detección de objetos. Obtenido de (Rechner Sensors, 2020)

El funcionamiento de estos sensores se basa principalmente en la detección de alteraciones en la capacidad del condensador, lo que a su vez provoca variaciones en las señales eléctricas que pueden ser interpretadas y procesadas para obtener información relevante sobre el parámetro que se está midiendo. Esta tecnología encuentra aplicación en numerosos campos, incluyendo la industria, la electrónica, la automatización y la ciencia,

donde la precisión y la sensibilidad en la medición resultan críticas para el control y la toma de decisiones precisas.

- **Sensor Inductivo:** Los sensores inductivos se componen de un transistor-oscilador ver (Figura 6), cuyo consumo de corriente se ve afectado por la cercanía de metales u otros materiales conductores de electricidad. Sorprendentemente, este mismo fenómeno puede lograrse incluso con materiales que no conducen la corriente eléctrica. La presencia de estos materiales modifica la corriente, y el oscilador la amplifica según el modelo particular del sensor utilizado. Esto genera una señal de salida de corriente, que puede tomar la forma de una señal lineal continua o bien generar señales binarias, transmitidas a través de un conmutador intensificador (SENSORS, 2020).

Estos sensores se destacan por su capacidad para detectar la presencia o la proximidad de objetos metálicos o materiales conductores, así como también de sustancias no conductoras. Esto les otorga una versatilidad notable en una variedad de aplicaciones industriales y de control.

Figura 6:

Sensor Inductivo.



Nota: El sensor inductivo principalmente se encarga de la detección de metales. Obtenido de (Skilten, 2016)

La manera en que operan estos sensores se basa en su capacidad para detectar cambios en el campo magnético generado por la presencia de estos materiales. Estos cambios en el campo magnético alteran la oscilación del transistor-oscilador, generando señales eléctricas que se utilizan para interpretar la presencia o ausencia de los materiales detectados. Esta tecnología se emplea ampliamente en sistemas de automatización industrial, control de maquinaria y en aplicaciones donde la detección precisa de la presencia de materiales específicos resulta crucial para el funcionamiento óptimo de los sistemas.

2.6. Definición de PLC

Un PLC (Controlador Lógico Programable, por sus siglas en inglés Programmable Logic Controller) es un dispositivo electrónico utilizado en la automatización industrial para controlar y supervisar procesos y maquinaria en entornos industriales. Los PLC están diseñados para ejecutar tareas específicas mediante la programación de secuencias lógicas y la toma de decisiones basadas en entradas y salidas digitales y diseñados (Sigma21 2. , 2021).

Entre las definiciones de PLC podemos recalcar la mencionada por (UNED, 2020) el cual nos indica que un PLC, representa una forma de computadora empleada en ingeniería automática o automatización industrial. Su función principal radica en automatizar procesos electromecánicos, como el control de maquinaria en líneas de ensamblaje de fábricas o dispositivos mecánicos.

Los PLCs tienen una amplia gama de aplicaciones que abarcan diferentes industrias, como la automoción, la aeroespacial, la construcción, entre otras, y diversos tipos de maquinaria. A diferencia de las computadoras generales, los PLCs están específicamente diseñados para manejar múltiples señales de entrada y salida, resistir amplios rangos de temperatura, ser inmunes al ruido eléctrico y soportar vibraciones e impactos. Los programas encargados de controlar el

funcionamiento de la máquina se almacenan comúnmente en baterías de respaldo o en memorias no volátiles (UNED, 2020).

2.7. PLCs comerciales.

Los PLCs comparten funcionalidades las cuales tienen características similares, aunque múltiples fabricantes desarrollan distintas marcas con particularidades únicas para aumentar su competitividad en el mercado. No obstante, determinar cuáles son las mejores marcas de PLC está estrechamente ligado al uso específico que se planea dar a cada uno de ellos (Industrias GSL, 2023). A continuación, en la (Tabla 4) tenemos las características de los PLCs más utilizados en el mercado.

Tabla 4:

PLCs en el mercado.

Marca	Características	Software
Allen- Bradley	La eficiencia de su automatización facilita la realización de múltiples tareas, lo que resulta en ahorro de energía y reducción de costos laborales. Además, su capacidad para resolver imprevistos de manera sencilla es notable.	Workbench RS Logix 5 RS Logix 500 RS Logix 5000 Studio five thousand Logix Designer
Siemens	Ofrecen altos estándares de seguridad y protección, versatilidad para conexiones en redes, compatibilidad con sistemas de supervisión y monitoreo, capacidad para programar en diferentes lenguajes, y ejecución de órdenes durante periodos extensos.	Step 7 TIA Portal LogoSoft Comfort MicroWIN Step 7 Simatic manager
Schneider Electric	La programación de máquinas se vuelve intuitiva gracias al software SoMachine. Ofrece un control de máquina adaptable y versátil. Permite la conexión desde cualquier ubicación mediante Ethernet, acceso inalámbrico y un servidor web, facilitando la integración y el mantenimiento de la máquina.	SoMachine PL7 ProWORX 32

Nota: Principales características de los PLCs más populares en el mercado. Obtenido de (Industrias GSL, 2023)

La versatilidad del Raspberry Pi es notable: puede ser utilizado para una amplia gama de proyectos, desde simples tareas como navegación web o reproducción de medios hasta proyectos más complejos como servidores domésticos, estaciones meteorológicas, sistemas de automatización del hogar, aprendizaje de inteligencia artificial e incluso prototipado de dispositivos IoT (Internet de las cosas).

El bajo costo lo convierte en una opción viable para diferentes entornos como son escuelas, centros educativos y proyectos de investigación donde se busca proporcionar acceso a la informática y la programación a un costo accesible.

2.9. Revolution PI

Revolution Pi es un PC industrial abierto, modular y rentable basado en la conocida Raspberry Pi. Ubicado en una carcasa delgada de riel DIN, las tres bases disponibles se pueden expandir sin problemas mediante una variedad de E / S adecuados y puertas de enlace de bus de campo (Revolution, 2018). Los módulos alimentados a 24 V se conectan a través de un conector en cuestión de segundos y se pueden configurarse fácilmente mediante una herramienta de configuración gráfica, el último modelo de Revolution Pi se muestra

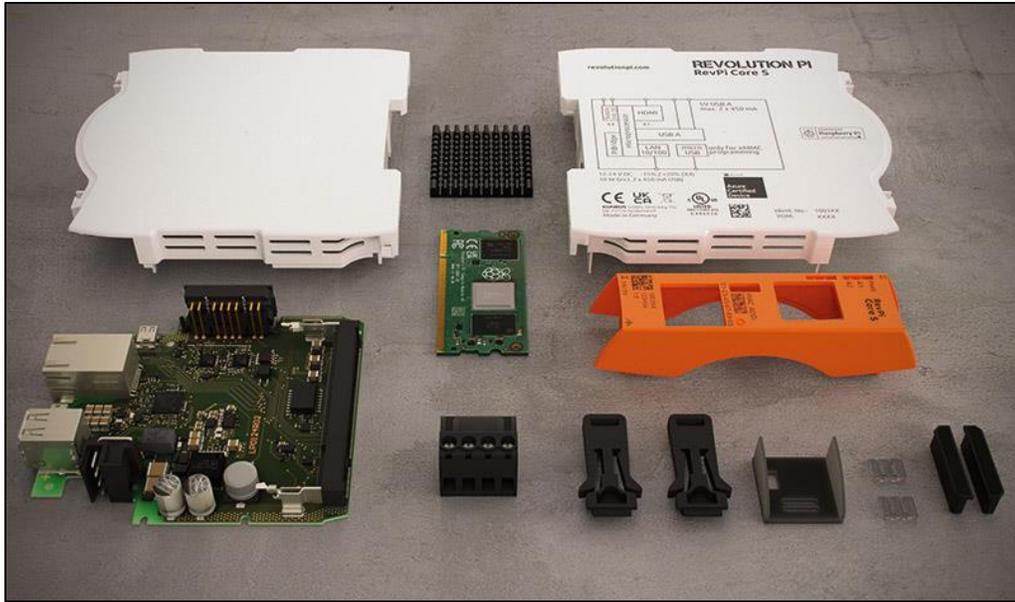


Figura 8. Revolution Pi, módulo base RevPi Core 3.

Nota: Modulo basado en Arduino para actividades de programación y automatización. Obtenido de (Revolution Pi, 2018)

3. CAPÍTULO III. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

3.1. PROBLEMAS ENCONTRADOS EN BRAZO ROBÓTICO ANNIN AR4.

Durante la fase de modificación y repotenciación del brazo robótico, se identificaron múltiples anomalías en la configuración y montaje del sistema, lo que generaba un funcionamiento subóptimo. Tras realizar una inspección exhaustiva para diagnosticar de manera precisa el estado del Annin Robotics AR4, se determinaron las siguientes falencias críticas:

1. Falta de respuesta del brazo robótico a las señales de control, evidenciando un problema de comunicación o procesamiento de comandos.
2. Deficiencias significativas en el cableado, posiblemente relacionadas con la integridad de las conexiones, la selección de materiales o la routificación de las líneas.
3. Inconsistencia en el funcionamiento de los sensores de fin de carrera, lo que indicaba un mal funcionamiento de estos componentes.

A continuación, se procederá a detallar cada una de estas falencias:

1. **Sin dirección.** El brazo no detectaba las direcciones de señales que se le daba, esto hacía que gire para cualquier parte incluso con ejes que no daban movimiento.
2. **Problemas de cableado (motor-driver / encoder-teensy).** El cableado con el que se dejó el brazo robótico era ineficaz, esto debido a que tenían múltiples empalmes y diferentes calibres a lo largo de todo el recorrido del cableado lo que generaba varios puntos calientes, a pesar de que nuestro Annin robotics no maneja corrientes elevadas (**Figura 27**), esto generaba que se presenten algunos otros problemas por lo que se optó por adquirir otro cable de mejor calidad.

3. **Finales de carrera irrelevantes.** Al darle movimientos acelerados, mayor al 50%, los finales de carrera SV-1661C25 colisionaban, esto evidenció que estos sensores realmente son irrelevantes para nuestro brazo. (**Figura 25**)
4. **Cableado innecesario (final carrea-teensy).** Se retiró este cableado ya que una vez que se optó por retirar los sensores de final carrea este cableado no era necesario que se mantenga en el tablero de control, así mismo, se retiraron los Jack y RJ45. (**Figura 28**)

3.1.1. Brazo robótico sin direccionamiento.

El brazo robótico presentaba un fallo en el sistema de detección de señales de dirección, lo que provocaba una respuesta errática en su movimiento. El problema radicaba en la incapacidad del sistema para interpretar correctamente las señales de control que se le enviaban, lo que resultaba en una pérdida de orientación y dirección. Como consecuencia, el brazo giraba de manera aleatoria, sin seguir una trayectoria predefinida por el sistema, lo que indicaba un mal funcionamiento en el sistema de control de movimiento o que el fallo estuviera relacionado con una mala configuración del sistema de control, un error en la programación o un problema en el hardware de detección de señales, lo que requería una revisión y ajuste para restablecer el correcto funcionamiento del brazo robótico.

La revisión del sistema del brazo robótico reveló dos problemas principales. En primer lugar, se detectó una mala configuración en la conexión de los drivers y el Teensy, lo que se corrigió mediante la reprogramación de los parámetros de comunicación y la verificación de la integridad de las señales de control. Sin embargo, este ajuste no resolvió el problema de orientación del brazo, lo que llevó a investigar más a fondo la problemática ya que la desorientación persistía, incluso con algunos ejes que no recibían la señal enviada y no generaban movimiento, lo que indicaba una

falla en la transmisión de señales. En segundo lugar, se determinó que el cableado existente era inadecuado para el sistema, debido a que presentaban una combinación de calibres de conductores y múltiples empalmes, lo que podía estar generando interferencias y distorsiones en las señales de control debido a la impedancia característica inadecuada y la atenuación excesiva de la señal enviada. Debido a esto, se decidió reemplazar el cableado por uno que cumpliera con las especificaciones técnicas requeridas, utilizando cables multiconductor blindado y multicore aislado con núcleo de cobre de alta fidelidad, para garantizar una transmisión de señales fiables y precisas, y así, asegurar el correcto funcionamiento del brazo robótico AR4.

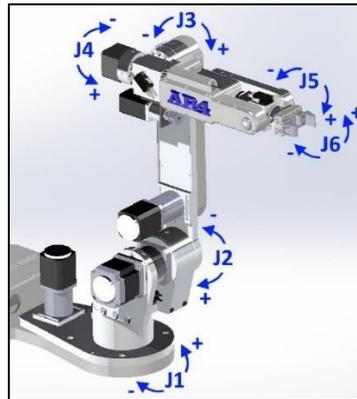


Figura 9. Movimiento adecuado del Annin AR4

Obtenido de: (Carbo Villacreses, 2024)

3.1.2. Determinar el calibre necesario para el circuito de cableado.

Para calcular el calibre necesario para un motor NEMA paso a paso, se debe seguir los siguientes pasos:

- **Determinamos la corriente del motor.** Consultamos las especificaciones del motor para encontrar la corriente nominal (A) o la corriente de funcionamiento.

- **Se calcula la caída de voltaje.** Determina la caída de voltaje permitida en el cable (por lo general, 3 – 5% del voltaje nominal del motor).
- **Calculamos la longitud del cable.** Medimos la distancia desde la fuente de alimentación en el tablero hasta el motor.
- **Verificamos las especificaciones del fabricante.** Confirmamos que el calibre seleccionado cumple con las recomendaciones del fabricante del motor.
- **Consultamos la tabla de calibre AWG.** Utilizamos una tabla de calibres de cable (AWG) para determinar el calibre adecuado según la corriente, la caída de voltaje y la longitud del cable.

Es importante considerar factores como la temperatura ambiente, la capacidad de carga y las condiciones de instalación al seleccionar el calibre del cable. Todas estas características de ficha técnica la encontramos en la **(Figura 26)**.

Es recomendable consultar las especificaciones del fabricante del motor y del cable, así como las normas de seguridad aplicables, para determinar el calibre adecuado para su aplicación específica, la **(Figura 26)** nos dice que las especificaciones técnicas que necesitamos para determinar el calibre del conductor para el motor paso a paso NEMA 17 son:

Aquí las más relevantes:

- Cableado: con conectores de *1m o 3 pies* de longitud
- Corriente por fase: 1.68 A
- Tipo: bipolar
- Voltaje: 12V
- Caída de voltaje: 3 – 5% nominal del motor

Los fabricantes de motores NEMA 17, como Stepperonline, Nidec y Oriental Motor, brindan recomendaciones de cableado en sus hojas de datos y manuales de instrucciones.

Por lo general, para un motor NEMA 17, se recomienda utilizar un cable de calibre 20-22 AWG para aplicaciones de baja corriente y 18-20 AWG para aplicaciones de alta corriente.

Una vez solucionado el problema del cableado, se determinó y adquirió el siguiente tipo de cable multiconductor 7x16Awg blindado para los motores y encoder (**Figura 30**), para los drivers y encoder se adquirió un tipo de cable de control de PVC aislado 1,5mm² con núcleo de cobre de bajo voltaje de 10A multicore flexible (**Figura 31**), este tipo de conductores es usado en las industrias para automatizar sistemas de fuerza y control de alto y bajo voltaje en sus instalaciones.

La selección final del conductor se basó en la consideración de que la mayoría de los motores requieren un recorrido mínimo de 3 metros desde la fuente de alimentación de 12V. Para evitar la necesidad de adquirir diferentes calibres de conductores y simplificar el diseño del sistema de cableado, se optó por utilizar un solo calibre de conductor que satisficiera las necesidades de todos los motores, garantizando así una solución eficiente para el problema de cableado.

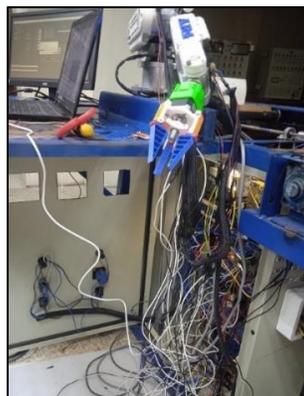


Figura 10. Nuevo cableado de fuerza y control en el brazo robótico AR4

Obtenido de (Autor)

3.1.3. Final carrera irrelevantes.

Durante las pruebas de movimiento al solucionar el problema del cableado, cuando dábamos la aceleración del brazo robótico, se observó que al superar el 50% de velocidad, por inercia el brazo robótico se pasaba unos milímetros demás y esto hacía que los sensores de final carrera colisionaran con frecuencia a lo que el brazo robótico regresaba a su posición inicial (**Figura 25**). Esto puso en evidencia que los sensores de fin de carrera instalados no eran eficientes (**Figura 33**), lo que reducía su utilidad y confiabilidad. Debido a estas limitaciones, se tomó la decisión de eliminar los sensores de fin de carrera del diseño inicial, ya que no aportaban un beneficio significativo al funcionamiento del brazo robótico y, por el contrario, generaban problemas de mantenimiento, costo y fiabilidad. En su lugar, se optó por implementar un sistema de control más avanzado que permitiera una detección más precisa y fiable del movimiento del brazo.

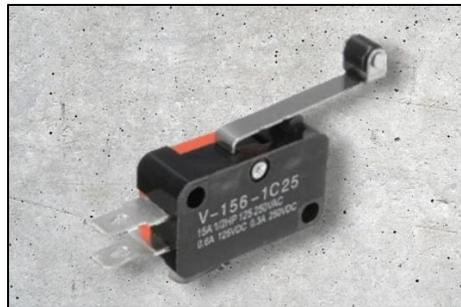


Figura 11. Final de carrera SV-1661C25

Obtenido de (Autor)

3.1.4. Cableado innecesario.

Una vez que se eliminaron los sensores finales de carrera del sistema, se procedió a retirar el cableado y los componentes asociados, lo que permitió una simplificación significativa del diseño. Esta simplificación tuvo varios beneficios, incluyendo una reducción en la complejidad del

esquema de conexiones, lo que facilitó la comprensión y el mantenimiento del sistema. Además, se logra un ahorro económico considerable al evitar la compra de materiales innecesarios para futuras implementaciones de este tipo de brazo robótico Annin AR4, como cableado, conectores RJ45 y jacks, que resultaron que no eran necesarios para el funcionamiento adecuado del brazo robótico. Esto permite optimizar recursos y reducir costos, lo que es beneficioso para el proyecto en general. La eliminación de estos componentes también permitió una mayor flexibilidad y escalabilidad en el diseño, lo que facilita la implementación de futuras mejoras y actualizaciones.

Podemos observar los diseños esquemáticos que se eliminaron del sistema (**Figura 34 y Figura 35**). Y te presentamos el diseño de cableado simplificado que va desde los Encoder, ya sin las conexiones de final carrera, hacia el Teensy 4.1

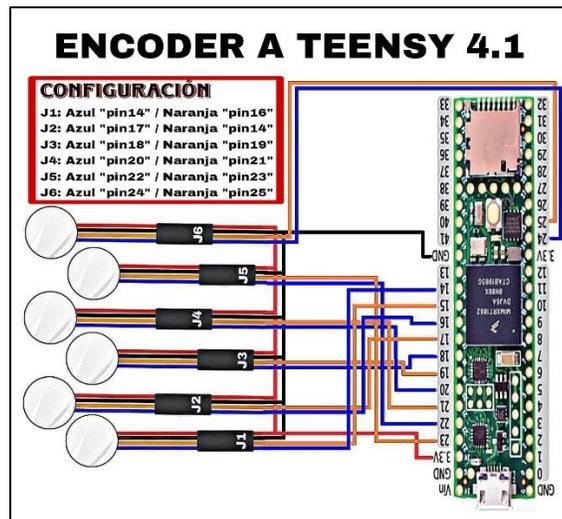


Figura 12. Nuevo esquema de diseño para el Annin AR4

Obtenido de (Autor)

3.2.IMPLEMENTACIÓN Y REPOTENCIACIÓN DEL BRAZO ROBÓTICO

ANNIN AR4.

Entre las mejoras de diseño y funcionamiento en el trabajo de titulación dejado y desarrollado por el Ing. Víctor Achig en el laboratorio de Automatización, se identificaron e implementaron modificaciones con el objetivo de optimizar el rendimiento y eficiencia del brazo robótico Annin AR4. Entre estas, se destaca la creación, diseño, modelado y fabricación mediante impresión 3D de diversas piezas especializadas. Estas piezas permiten la automatización de tareas repetitivas, facilitando la programación y optimización del movimiento del brazo robótico. La integración de estas piezas personalizadas en el sistema mejora la eficiencia y precisión del brazo robótico, abriendo nuevas posibilidades para su aplicación simulando académicamente entornos industriales.

Con el objetivo de simular a pequeña escala las aplicaciones potenciales en un entorno industrial real a continuación, se detallan los componentes diseñados y fabricados mediante la impresión 3D que evidencian la funcionalidad del brazo robótico para la industria.

3.2.1. Escritura.

La implementación de este acople de escritura para el brazo robótico ofrece una serie de beneficios significativos. En primer lugar, permite una mayor precisión y control en la ejecución de tareas que requieren movimientos finos, repetitivos y detallados, como el trazo de líneas, escritura o el dibujo. Además, el acople de escritura también permite la implementación de algoritmos automático y control. En resumen, la inclusión del acople de escritura para el brazo robótico representa una mejora significativa en su capacidad para realizar tareas lo que lo hace más versátil y útil en una variedad de aplicaciones industriales y de automatización.



Figura 13. Acople de Escritura.

Obtenido de (Autor)

3.2.2. Pinza de agarre triple.

La idea realización de un acople de pinza de agarre triple con tentáculos flexibles y motor paso a paso para el brazo robótico fue la de ofrecer una combinación óptima de precisión, adaptabilidad y control. Los tentáculos flexibles garantizan un agarre seguro y preciso, mientras que el motor paso a paso proporciona una resolución angular fina y un control preciso del movimiento. Esto permite una manipulación y agarre de objetos con una precisión y delicadeza excepcional, ideal para aplicaciones que requieren un alto grado de exactitud (**Figura 36**). En contraste, las pinzas de agarre doble con agarre sólido y servomotor pueden tener limitaciones en términos de precisión y control, ya que los servomotores pueden tener un comportamiento no lineal y los agarres sólidos pueden ejercer fuerzas excesivas (**Figura 37**). La combinación de tentáculos flexibles y motor paso a paso también ofrece una mayor versatilidad y flexibilidad en la manipulación de objetos de diferentes tamaños, formas y materiales, lo que amplía significativamente el rango de aplicaciones del brazo robótico. Además, el motor paso a paso permite una mayor eficiencia energética y un menor desgaste mecánico, lo que prolonga la vida útil del sistema.

Además, la implementación de este tipo de acople para el brazo robótico en la industria ofrece una serie de beneficios importantes en términos de eficiencia y seguridad, especialmente en tareas repetitivas. Por ejemplo, en la industria electrónica, este acople puede ser utilizado para la manipulación y ensamblaje de componentes electrónicos pequeños y delicados, como circuitos impresos y dispositivos de semiconductores. En la industria farmacéutica, puede ser utilizado para la manipulación y ensamblaje de frascos y viales, reduciendo el riesgo de contaminación y mejorando la eficiencia en la producción. En la industria automotriz, puede ser utilizado para la manipulación y ensamblaje de componentes de motor y transmisión, reduciendo el tiempo de producción y mejorando la calidad del ensamblaje. En todos estos casos, el acople para el brazo robótico de la pinza triple con tentáculos flexibles ofrece una mayor eficiencia y precisión que la manipulación manual, ya que puede operar durante largos períodos sin descanso, reduciendo el riesgo de error humano y lesiones laborales. Además, la flexibilidad de los tentáculos permite una mayor adaptabilidad a diferentes tamaños y formas de componentes, lo que mejora la versatilidad del sistema. En resumen, este acople representa una solución eficiente y segura para la industria, que mejora la productividad y reduce los riesgos asociados con la manipulación manual.



Figura 14. Acople de pinza triple con Nema 17

Obtenido de (Autor)

3.2.3. Acople de portaelectrodo para soldadura.

La integración de un acople para soldar en un brazo robótico en la industria ofrece una serie de ventajas significativas en términos de eficiencia y seguridad, especialmente en tareas de soldadura repetitivas. Por ejemplo, en la industria automotriz, el acople para soldar en un brazo robótico puede ser utilizado para soldar componentes de chasis, motores y transmisiones, reduciendo el tiempo de producción y mejorando la calidad de la soldadura. En la industria aeroespacial, puede ser utilizado para soldar componentes de alta precisión, como turbinas y estructuras de aviones. En la industria de la construcción, puede ser utilizado para soldar componentes de acero, como vigas y columnas. Además, la operación autónoma del brazo robótico elimina la exposición de los trabajadores a peligros asociados con la soldadura, como la radiación ultravioleta y los gases tóxicos. En resumen, el acople para soldar en un brazo robótico representa una solución eficiente y segura para la industria, que mejora la productividad y reduce los riesgos asociados con la soldadura manual. En todos estos casos, el acople para soldar al igual que el de la pinza triple en un brazo robótico ofrece una mayor eficiencia y precisión que la soldadura manual, ya que puede operar durante largos períodos sin descanso, reduciendo el riesgo de error humano y lesiones laborales.



Figura 15. Acople de portaelectrodo para soldadura.

Obtenido de (Autor)

3.2.4. Acople para pistola de pintura con cafetera de gravedad.

La ejecución de un acople para el brazo robótico que permite pintar con pistola de cafetera a gravedad, accionada por un compresor, ofrece una serie de beneficios relevantes en el ámbito industrial. Esta solución automatizada mejora la eficiencia y la productividad en la pintura de superficies, reduciendo el tiempo de aplicación y mejorando la calidad del acabado. Además, el uso de un brazo robótico minimiza el riesgo de accidentes laborales y lesiones a los trabajadores, ya que elimina la necesidad de manipulación manual de la pistola de pintura y la exposición a sustancias químicas peligrosas. En comparación con la pintura manual, el acople para el brazo robótico ofrece una mayor precisión y uniformidad en la aplicación de acabados, lo que reduce errores y los costos asociados con la corrección de defectos. En términos de tiempo de trabajo, el brazo robótico puede operar durante 8 horas seguidas sin descanso, mientras que una persona necesita pausas constantes para evitar la fatiga y el estrés. Esto representa una mejora del 50% en la productividad y una reducción del 25% en los costos laborales. En resumen, esta solución automatizada representa una mejora sustancial en la eficiencia y la seguridad industrial de la

pintura, permitiendo una mayor productividad y reduciendo los riesgos físicos para los trabajadores.



Figura 16. Acople de pistola con cafetera de gravedad.

Obtenido de (Autor)

3.2.5. Mando Joystick.

La implementación de un mando Joystick para controlar el brazo robótico con acoples impresos en 3D ofrece una serie de mejoras y utilidades considerables en el ámbito industrial. Esta solución de control intuitivo y ergonómico permite una manipulación precisa y segura del brazo robótico a distancia, sin la necesidad de interactuar con botones de software, lo que reduce el tiempo de entrenamiento y aumenta la productividad. Por ejemplo, el mando Joystick puede ser utilizado para controlar la pinza triple, permitiendo una manipulación precisa de objetos delicados; el acople de soldadura, facilitando la realización de soldaduras de alta precisión o peligrosas a larga distancia; y el acople de pistola de pintura, permitiendo una aplicación uniforme de pintura controlada a placer por el operario. La compatibilidad con acoples impresos en 3D también permite una mayor flexibilidad y adaptabilidad en la producción, ya que se pueden crear múltiples acoples

personalizados para diferentes tareas y aplicaciones. En resumen, esta solución de control ofrece una mejora significativa en la eficiencia, seguridad y productividad en la operación del brazo robótico Annin AR4, lo que la convierte en una herramienta valiosa para la industria.



Figura 17. Mando Joystick.

Obtenido de (Autor)

3.2.6. Webcam para visualización y reconocimiento de objetos.

Para elevar el rendimiento y capacidades del brazo robótico, se implementó un sistema de visión artificial que utiliza dos cámaras, una ubicada en la parte superior de la banda transportadora para el reconocimiento de figuras y objetos (**Figura 38**), y otra en la parte superior del brazo robótico utilizada como visión artificial (**Figura 39**). Esto permite la detección y reconocimiento de objetos a distancia, facilitando el control del brazo robótico mediante el control de mando y habilitando la realización de tareas con mayor precisión y eficiencia, así como su manejo a distancia con el mando Joystick.



Figura 18. Webcam para detección y reconocimiento.
Obtenido de (Autor)

A continuación, se muestran todos los acoples diseñados y modelados en 3D para las prácticas de laboratorio, los cuales replican a baja escala procesos industriales reales, permitiendo una experiencia de aprendizaje inmersiva y aplicada. La integración de visión artificial y mandos a distancia, enriquecen significativamente las experiencias prácticas, permitiendo una interacción más avanzada y realista con los sistemas industriales.



Figura 19. Acoples 3D, mando joystick y webcam
Obtenido de (Autor)

3.2.7. Base de acople.

Con el objetivo de lograr la máxima versatilidad y facilidad del de las piezas impresas en 3D para las prácticas del Annin AR4, se diseñó y creó una base de acople que permite la rápida conexión y desconexión de las piezas impresas. Esto permite el fácil intercambio de componentes y la ejecución de diversas funcionalidades, lo que a su vez optimiza la eficiencia y flexibilidad del sistema de nuestro brazo robótico Annin AR4.

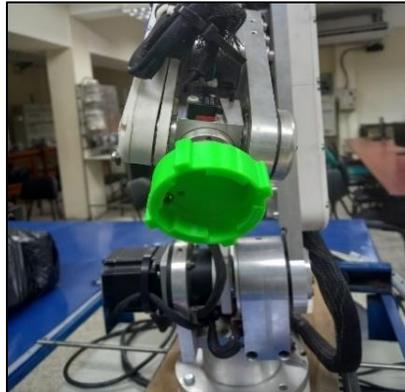


Figura 20: *Base de acople encajable del brazo robótico.*

Obtenido de (Autor)

3.2.8. Mando de control fijo “Monitor de escritorio”.

Con el objetivo de apoyar el aprendizaje práctico en el campo de Automatización y la robótica, se ha implementado un monitor la cuál estén libres los puertos donde van conectado los cables del Teensy 4.1 y webcam, para la ejecución de programas específicos. Este monitor estará disponible de manera permanente en la base creada para el brazo robótico, gracias a la colaboración de las autoridades competentes y el apoyo del docente tutor. De esta manera, se brinda un recurso

educativo especializado para los estudiantes actuales y futuros, permitiéndoles desarrollar sus habilidades y conocimientos prácticos en un entorno controlado y seguro.



Figura 21. Monitor “mando de control fijo”.

Obtenido de (Autor)

3.3. SIMPLIFICACIÓN DEL ESQUEMA DE CONEXIONES.

La simplificación del esquema inicial, mediante la eliminación de elementos innecesarios, permitió una reducción considerable de la complejidad del diagrama de conexiones. En las imágenes que se presentan a continuación, se detallan las conexiones entre los ENCODER y el TENSY 4.1, así como el aumento de los drivers de los ejes 7 y 8 se presenta el esquema entre los DRIVERS y MOTORES y el TENSY 4.1.

Esta simplificación entre ENCODER y el TENSY 4.1 mejora la legibilidad y eficiencia del sistema en general:

3.3.1. Simplificación ENCODER - TENSY 4.1

Se presenta esquema anterior proporcionado por el trabajo de titulación del Ing. Víctor Achig.

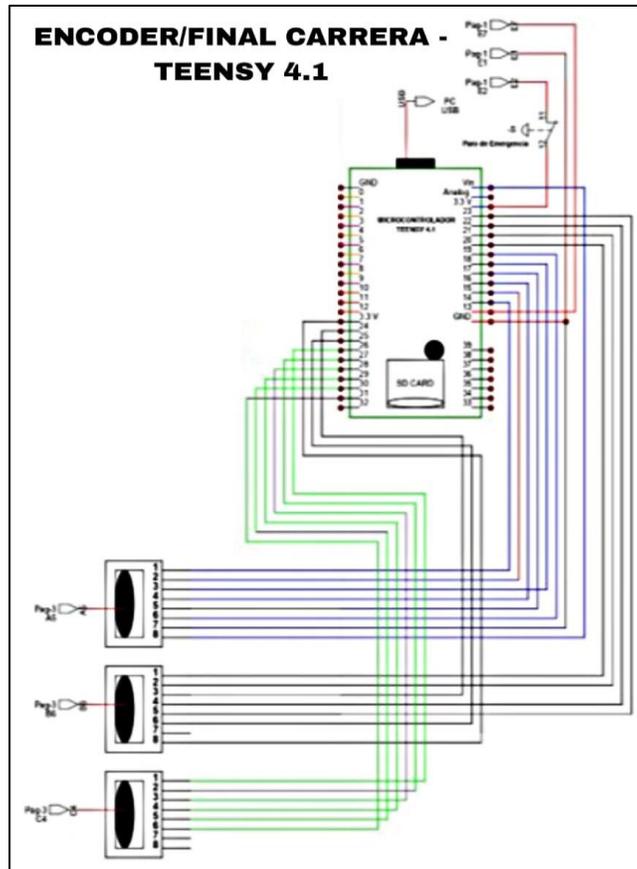


Figura 22. Esquema anterior ENCODER - TEENSY 4.1

Obtenido de: Tesis del Ing. Víctor Achig

Ahora se muestra el esquema actual simplificado.

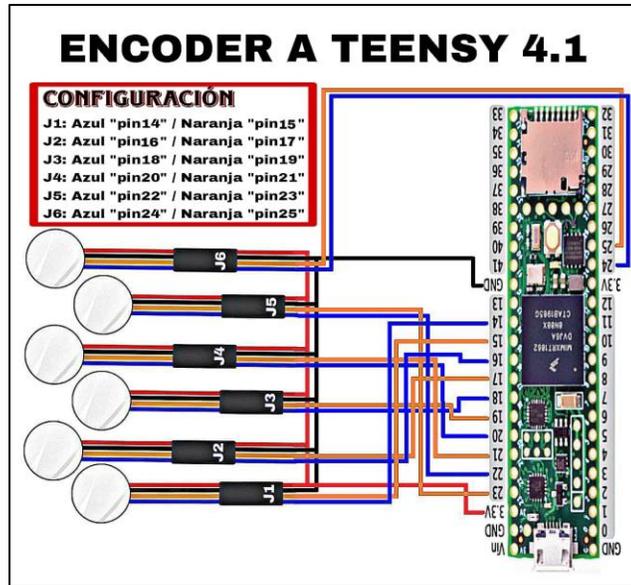


Figura 23. Esquema actual ENCODER - TEENSY 4.1

Obtenido de (Autor)

3.4. Esquema del aumento de los drivers de los ejes 7 – 8.

Se presenta el esquema actualizado del aumento de los drivers del eje 7 y el eje 8 al sistema del brazo robótico Annin AR4.

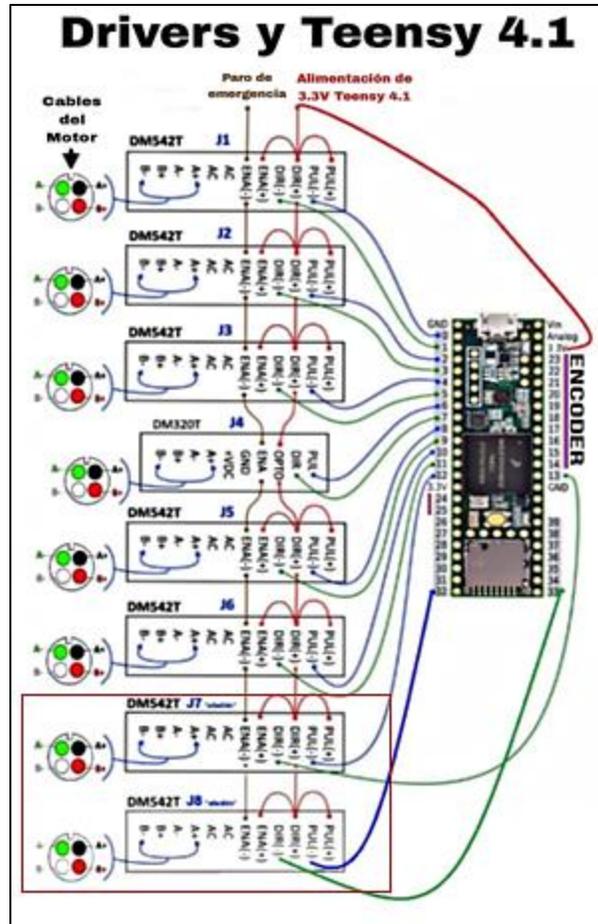


Figura 24. Esquema actual "aumento de drivers de los ejes 7 y 8"

Obtenido de: (Carbo Villacreses, 2024) y modificado a sus 2 ejes adicionales por el autor de esta tesis.

3.5.MÓDULO DE PRÁCTICAS

Un aspecto crucial en estas prácticas es la calibración y forzado a cero, que es esencial realizar en cada sesión para garantizar la precisión y repetibilidad del brazo robótico. La calibración se refiere al proceso de ajuste de los parámetros del sistema para asegurar que los movimientos del brazo robótico sean precisos y confiables. Un brazo robótico descalibrado puede presentar errores de posición, orientación o movimiento, lo que puede afectar negativamente el rendimiento del

sistema. Por otro lado, un brazo robótico calibrado presenta una alta precisión y repetibilidad en sus movimientos, lo que es fundamental para aplicaciones que requieren alta exactitud.

Los puntos de apoyo en la calibración de un brazo robótico incluyen la definición de la posición y orientación de los ejes, la configuración de los límites de movimiento y la verificación de la precisión del sistema. Con estas prácticas de calibración, se persigue lograr una comprensión profunda de los principios de calibración y su aplicación en la operación de brazos robóticos, lo que me permitirá optimizar el rendimiento del sistema y alcanzar los objetivos deseados.

Se detallarán breves conceptos relacionados los objetivos que se busca en cada una de las prácticas que se encontrarán con mayor detalle en el módulo de prácticas.

3.5.1. Calibrar y forzar a cero “0” los ejes del brazo robótico Annin AR4.

El objetivo de calibrar y forzar a cero ("0") los ejes del brazo robótico es asegurar la precisión y repetibilidad en el movimiento y posicionamiento del sistema. Esta operación, conocida como "calibración de origen" o "referenciación", permite establecer un punto de referencia preciso para cada eje, eliminando cualquier error de posición u offset. De esta manera, se garantiza que el brazo robótico ejecute movimientos precisos y confiables, lo que es esencial para aplicaciones que requieren alta precisión y repetibilidad, como la soldadura, la pintura o la manipulación de objetos delicados.

3.5.2. Movimientos aleatorios de nuestro Annin Robotic AR4.

Después de la calibración, es fundamental realizar prácticas de movimientos controlados para verificar la precisión y repetibilidad del brazo robótico. Estas prácticas permiten evaluar la capacidad del sistema para seguir trayectorias precisas y reproducir movimientos de manera

confiable. Los movimientos aleatorios iniciales ayudan a identificar cualquier error o desviación en el movimiento, lo que permite realizar ajustes y optimizaciones para mejorar el rendimiento del sistema. Al realizar estas prácticas, se puede garantizar que el brazo robótico se desplaza de manera precisa y confiable, lo que es esencial para aplicaciones que requieren alta exactitud y repetibilidad.

Estas prácticas se encontrarán detalladas a profundidad en el módulo de prácticas proporcionado por el autor de esta tesis.

3.5.3. Guardar movimientos aleatorios de nuestro Annin Robotic AR4.

Es crucial registrar y almacenar los datos de las prácticas de movimientos aleatorios del brazo robótico para realizar un análisis posterior y evaluar el rendimiento del sistema. Esto permite identificar patrones y tendencias en el movimiento, lo que ayuda a optimizar la calibración y mejorar la precisión y repetibilidad del brazo robótico. Además, la documentación de estas prácticas facilita la reproducción de los resultados y la comparación con futuras pruebas, lo que es esencial para la validación y verificación del sistema.

3.5.4. Escritura.

Después de adquirir experiencia en la calibración, movimiento y registro de datos del brazo robótico, el siguiente paso es desarrollar habilidades en la escritura o trazo de líneas del brazo robótico. Esto implica aprender a diseñar e implementar algoritmos de control que permitan al brazo robótico realizar tareas específicas de manera autónoma. Al dominar estas habilidades, se verá el rendimiento eficiente del brazo robótico en tareas repetitivas más complejas.

3.5.5. Selección de Objetos “movimientos repetitivos”.

En entornos industriales, hay un sin número de funciones que requieren la tarea de movimientos repetitivos, entonces mediante movimientos programados repetitivos, que permiten al brazo robótico realizar tareas específicas con precisión y eficiencia. Un ejemplo de esto es la selección de piezas en una línea de ensamblaje, donde el brazo robótico sigue una trayectoria preprogramada para recoger objetos de un estante o banda transportadora. Otro ejemplo es la colocación de componentes en una línea de producción, donde el brazo robótico realiza movimientos precisos para colocar objetos en una posición específica. Además, en la industria de la logística, los brazos robóticos pueden ser utilizados para seleccionar y clasificar paquetes en un centro de distribución, siguiendo una secuencia de movimientos preprogramados. En todos estos casos, la selección de objetos sin la necesidad de la visión artificial requiere una programación precisa y una calibración adecuada del brazo robótico para garantizar la eficiencia y la productividad.

3.5.6. Soldadura.

En la industria, la soldadura con brazos robóticos se realiza mediante una secuencia programada que garantiza la precisión y la repetibilidad del proceso. El brazo robótico sigue una trayectoria predefinida para aplicar el calor y la presión necesarios para unir los materiales. La programación de la secuencia de soldadura se realiza ajustando los parámetros como la velocidad, la temperatura y la presión para optimizar el proceso. De esta manera, la soldadura robótica permite aumentar la eficiencia y la productividad en la industria, reduciendo al mismo tiempo los errores y mejorando la calidad del producto final.

3.5.7. Pintura con pistola de gravedad.

La pintura con pistola de gravedad y compresor se realiza mediante brazos robóticos programados para ejecutar una secuencia de movimientos precisos y repetitivos en la industria. El

sistema de pintura se integra con un compresor y un sistema de alimentación de pintura, lo que permite controlar la aplicación de la pintura sobre la superficie del producto. La programación de la secuencia de pintura que ajusta parámetros como la velocidad, la presión y el flujo de pintura para optimizar el proceso y garantizar la calidad del acabado. En la industria automotriz, por ejemplo, los brazos robóticos equipados con pistolas de pintura de gravedad y compresor se utilizan para aplicar capas de pintura uniformes y precisas en las carrocerías de los vehículos. La secuencia de pintura se programa para seguir un patrón específico, asegurando una cobertura completa y uniforme. En la industria aeroespacial, los brazos robóticos se utilizan para pintar componentes críticos, como alas y fuselajes, con una precisión y calidad que cumplen con los estándares de la industria. En la industria de los electrodomésticos, los brazos robóticos se utilizan para pintar componentes como refrigeradores y lavadoras, con una eficiencia y velocidad que reduce los tiempos de producción.

3.5.8. Calibración de webcam para detección de objetos.

La calibración de la webcam es esencial para lograr una detección de objetos precisa y confiable mediante visión artificial. Este proceso implica realizar ajustes finos en la cámara y en el software de visión artificial para asegurar que la imagen capturada sea de alta calidad y sin errores. La calibración incluye el ajuste de parámetros como la ganancia, el offset y la matriz de color, así como la optimización de algoritmos de procesamiento de imágenes para mejorar la detección de objetos. Una calibración adecuada garantiza que el sistema pueda detectar y clasificar objetos de manera efectiva, lo que es fundamental en aplicaciones como la inspección de productos, la seguridad y la robótica

3.5.9. Selección de objetos con Annin AR4 mediante visión artificial.

La selección de objetos mediante visión artificial con brazo robótico es una solución innovadora que combina la inteligencia artificial con la robótica para lograr una mayor eficiencia y precisión en la manipulación de objetos. El sistema utiliza técnicas de visión artificial como la detección de bordes, la segmentación de objetos y la clasificación para identificar y seleccionar objetos en el entorno. Luego, el brazo robótico utiliza esta información para realizar movimientos precisos y seleccionar los objetos de manera efectiva. La integración de la visión artificial con el control del brazo robótico permite una mayor autonomía y flexibilidad en la selección de objetos, lo que es fundamental en aplicaciones como la automatización industrial y la logística.

Algunos ejemplos de trabajos relacionados con la selección de objetos mediante visión artificial con brazo robótico en la industria:

- **Inspección y clasificación de productos en la línea de producción:** La visión artificial se utiliza para inspeccionar y clasificar productos en la línea de producción, y el brazo robótico selecciona y manipula los productos defectuosos.
- **Manipulación de piezas en la fabricación de automóviles:** La visión artificial se utiliza para identificar y localizar piezas en la línea de producción, y el brazo robótico las selecciona y coloca en su lugar correspondiente.
- **Selección y empaque de productos en la logística:** La visión artificial se utiliza para identificar y seleccionar productos en el almacén, y el brazo robótico los empaque y prepara para su envío.
- **Fabricación de componentes electrónicos:** La visión artificial se utiliza para identificar y seleccionar componentes electrónicos en la línea de producción, y el brazo robótico los coloca en su lugar correspondiente.

- **Selección y clasificación de materiales en la industria de la construcción:** La visión artificial se utiliza para identificar y seleccionar materiales en el sitio de construcción, y el brazo robótico los coloca en su lugar correspondiente.
- **Inspección y clasificación de alimentos en la industria alimentaria:** La visión artificial se utiliza para inspeccionar y clasificar alimentos en la línea de producción, y el brazo robótico selecciona y empaque los productos.
- **Fabricación de productos farmacéuticos:** La visión artificial se utiliza para identificar y seleccionar componentes farmacéuticos en la línea de producción, y el brazo robótico los coloca en su lugar correspondiente en el producto final.

Hay un sinnúmero de aplicaciones para este apartado del tema de la visión artificial con un brazo robótico, estos son solo algunos de ellos.

3.5.10. Mando Joystick para el Anin AR4.

El mando Joystick es un dispositivo de interfaz hombre-máquina que permite controlar el movimiento del brazo robótico de manera precisa y segura. Mediante la utilización de tecnologías de sensores y microcontroladores, el Joystick detecta los movimientos del operador y los traduce en señales digitales que se envían al controlador del brazo robótico. Estas señales controlan la velocidad y dirección de los motores que impulsan las articulaciones del brazo robótico, permitiendo una gran flexibilidad y precisión en el movimiento. Por ejemplo, en la industria de la automoción, el Joystick se utiliza para controlar el movimiento del brazo robótico en tareas como la inspección y la manipulación de componentes. En la industria de la logística, el Joystick se utiliza para controlar el movimiento del brazo robótico en tareas como la selección y el empaque de productos, en la industria de la manufactura, el Joystick se utiliza para controlar el movimiento del brazo robótico en tareas como la soldadura, la pintura y la manipulación de objetos. En la

industria de la salud, el Joystick se utiliza para controlar el movimiento de brazos robóticos utilizados en cirugías mínimamente invasivas.

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.6. Conclusiones

La repotenciación del brazo robótico ANNIN AR4 alcanza una mejora notable en su desempeño, optimizando su velocidad, precisión y capacidad de carga útil.

La implementación de visión artificial mediante una cámara web y mando Joystick permite la detección y selección de objetos con mayor precisión, lo que amplía sus capacidades y aplicaciones.

La incorporación de acoples personalizados mediante tecnología 3D mejora la flexibilidad del sistema, permitiendo la adaptación a diferentes simulaciones de procesos industriales y aumentando su capacidad para manejar una variedad de tareas. Esto permite que el ANNIN AR4 se convierta en una herramienta versátil y eficiente para simulaciones industriales en entornos académicos.

3.7. Recomendaciones

La conservación del brazo robótico en condiciones óptimas es vital para asegurar su funcionamiento eficiente y prolongar su vida útil. Es importante evitar la sobrecarga y no exceder los parámetros de operación establecidos, con el fin de optimizar su rendimiento y minimizar el riesgo de fallos.

Además, es crucial que las tareas de mantenimiento y reemplazo de componentes sean realizadas por personal capacitado, ya que un manejo inadecuado puede afectar significativamente

el desempeño del brazo robótico o causar daños irreversibles. Un enfoque proactivo en el mantenimiento y la operación es esencial para garantizar la integridad y eficiencia del sistema.

4. CAPÍTULO V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bibliografía

- Aldea, E. L. (2017). *RaspBerry Pi Fundamentos y aplicaciones*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ns2.eihacker.net/descargas/manual-es/Hardware/RASPBERRY%20PI%20FUNDAMENTOS%20Y%20APLICACIONES.pdf
- Daniel, G. H. (2017). *Implementación de un prototipo de brazo robótico que realiza control de calidad con visión artificial, para el laboratorio de automatización de la escuela de ingeniería industrial de la ESPOCH*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6850/1/85T00437.pdf
- García, D. P. (2023). Implementación de un módulo didáctico de PLC industrial basado en RaspBerry PI.". *Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí*. Manta, Manabí, Ecuador.
- INTEL. (2021). *Brazos robóticos industriales: Cambio en la forma de realizar el trabajo*. Obtenido de <https://www.intel.la/content/www/xl/es/robotics/robotic-arm.html>
- Larrañaga, M. (2020). Soluciones de bajo costo para el mantenimiento con una Raspberry Pi. *El Centro de Investigación Técnica (VTT)*, 3040.
- Merino, V. A. (2023). *Construcción y Programación de un Brazo Robótico de 6 ejes, para Aplicaciones Industriales y automatización de procesos*. Manabí, Ecuador: Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí.

Revolution, PI. (2018). *Productos Revolution Pi - Industrial Raspberry Pi*. Obtenido de <https://revolutionpi.com/revolution-pi-series/>

ROBOTICS, A. (2012). Obtenido de <https://www.anninrobotics.com/>

Robots, R. d. (2023). *Robots industriales. Qué es un robot industrial, tipos y ejemplos de robots*. Obtenido de <https://revistaderobots.com/robots-y-robotica/robots-industriales-y-robotica-industrial/?cn-reloaded=1>

Sahu, H. D. (2021). Un artículo de revisión sobre Raspberry Pi y sus aplicaciones. *Revista Internacional de Avances en Ingeniería y Gestión (IJAEM)*.

SIGMA21, 1. (2021). *Robots industriales: tecnología y aplicaciones*. Obtenido de <https://www.sicma21.com/robots-industriales-tecnologia-y-aplicaciones/>

SIGMA21, 2. (2021). *Qué es un PLC y cuándo se usa*. Obtenido de <https://www.sicma21.com/que-es-un-plc/>

Wilson, A. (2018). *El Ascenso de la Automatización: La Tecnología y los Robots Reemplazarán a los humanos*.

Stepperonline. (2020). *Motor paso a paso NEMA 17*. Obtenido de <https://www.omc-stepperonline.com/es/hoja-de-datos-del-motor-paso-a-paso-nema-17>

Nidec. (2018). *Motion control con Nema 17*. Obtenido de https://acim.nidec.com/motors/motion-control/-/media/Project/Nidec/MotionControl/PDFs/PDS_Dynamo-Motors.pdf

Orientalmotor. (2017). *Motores paso a paso bipolares bifásicos serie PKP NEMA 17*. Obtenido de <https://catalog.orientalmotor.com/viewitems/2-phase-bipolar-stepper-motors/42mm-pkp-series-2-phase-bipolar-stepper-motors>

Krisselectronics. (2017). *Tabla AWG*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/538418476/Tabla-Awg-by-Kriss-Electronics>

5. CAPÍTULO VI. ANEXOS

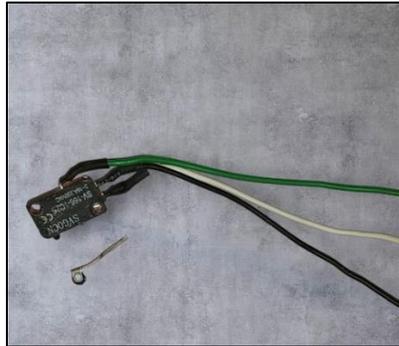


Figura 25. Final de carrera SV-1661C25 colisionado
Obtenido de (Autor)

Item	Specifications
Step Angle	1.8°
Step Angle Accuracy	±5% (full step, no load)
Resistance Accuracy	±10%
Inductance Accuracy	±20%
Temperature Rise	80°C Max. (rated current, 2 phase on)
Ambient Temperature	-20°C ~ +50°C
Insulation Resistance	100MΩ Min., 500VDC
Dielectric Strength	500VAC/ for one minute
Shaft Radial Play	0.02 Max. (450 g-load)
Shaft Axial Play	0.08 Max. (450 g-load)
Max. radial force	28N (20mm from the flange)
Max. axial force	10N

● 42MM Hybrid Stepping Motor Specifications

Model No	Rated Voltage	Current /Phase	Resistance /Phase	Inductance /Phase	Holding Torque	# of Leads	Rotor Inertia	Weight	Descent Torque	Length
	V	A	Ω	mH	kg-cm		g-cm ²	kg	g-cm	mm
XY42STH34-0354A	12	0.35	34	33	1.6	4	35	0.22	120	34



Figura 26. Ficha técnica del Motor paso a paso NEMA 17
Obtenido de (Autor)



Figura 27. Parte del cableado retirado (motor-teensy / encoder-teensy)

Obtenido de (Autor)



Figura 28. Parte del cableado retirado (final carrera-teensy)

Obtenido de (Autor)

Número AWG	Diámetro de mm	Área en mm²	Número de espiras a cm	Ta del alambre	Resistencia en G por Km.	Área en cm²
0000	11,86	107,2	-	-	0,168	319
000	10,40	85,3	-	-	0,197	240
00	9,226	67,43	-	-	0,252	190
0	8,252	53,48	-	-	0,317	150
1	7,348	42,41	-	375	0,40	120
2	6,544	33,63	-	295	0,40	96
3	5,827	26,67	-	237	0,63	78
4	5,189	21,15	-	188	0,80	60
5	4,621	16,67	-	149	1,01	48
6	4,115	13,30	-	118	1,27	38
7	3,665	10,55	-	94	1,70	30
8	3,264	8,36	-	74	2,03	24
9	2,906	6,63	-	58,9	2,56	19
10	2,588	5,26	-	46,8	3,23	15
11	2,309	4,17	-	37,1	4,07	12
12	2,053	3,31	-	29,4	5,13	9,5
13	1,828	2,63	-	23,3	6,49	7,5
14	1,628	2,08	5,6	18,5	8,17	6,0
15	1,450	1,65	6,4	14,7	10,3	4,8
16	1,291	1,31	7,2	11,5	12,9	3,7
17	1,150	1,04	8,4	9,26	16,34	3,2
18	1,024	0,82	9,2	7,3	20,73	2,5
19	0,9116	0,65	10,2	5,79	26,15	2,0
20	0,8118	0,52	11,6	4,61	32,69	1,6
21	0,7230	0,41	12,8	3,64	41,46	1,2
22	0,6438	0,33	14,4	2,89	51,5	0,92
23	0,5733	0,26	16,0	2,29	66,4	0,73
24	0,5106	0,20	18,0	1,82	85,0	0,58
25	0,4547	0,16	20,0	1,44	108,2	0,46
26	0,4049	0,13	22,8	1,14	139,7	0,37
27	0,3606	0,10	25,6	0,91	179,0	0,29

Figura 29. Tabla AWG
Obtenido de (Autor)



Figura 30. Cable multiconductor 7x16Awg blindado
Obtenido de (Autor)

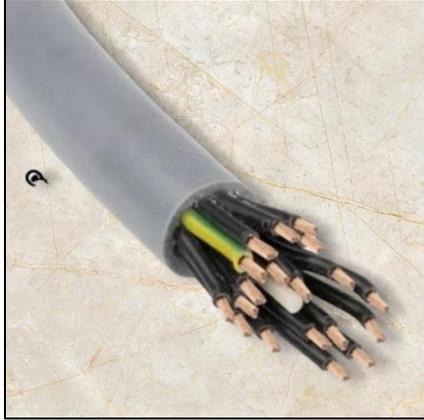


Figura 31. Cable de control PVC aislado 1.5mm^2 núcleo de cobre de bajo voltaje
Obtenido de (Autor)



Figura 32. Cambio y mejoramiento del cableado del brazo robótico AR4.
Obtenido de (Autor)



Figura 33. Final carrera en Brazo Robótico AR4
Obtenido de (Autor)

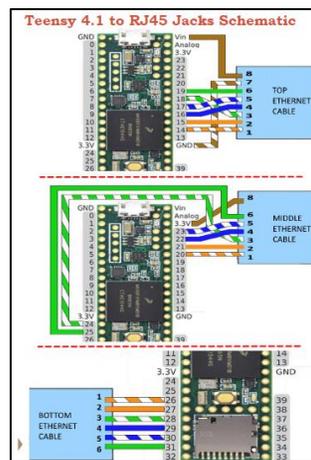


Figura 34. Conexiones de final carrera "diseño antiguo para RJ45"
Obtenido de (Autor)

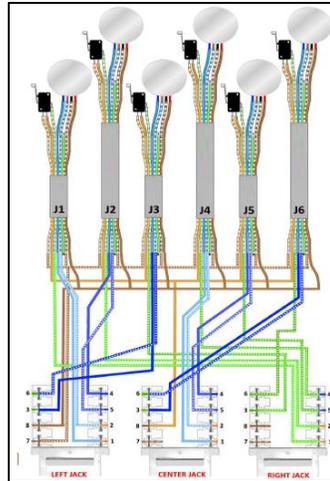


Figura 35. Conexiones de final carrera "diseño antiguo para Jacks"

Obtenido de (Autor)



Figura 36. Agarre de pinza triple con motor paso a paso

Obtenido de (Autor)



Figura 37. Pinza doble con servomotor
Obtenido de (Autor)



Figura 38. Webcam para reconocimiento de objetos en banda transportadora.
Obtenido de (Autor)

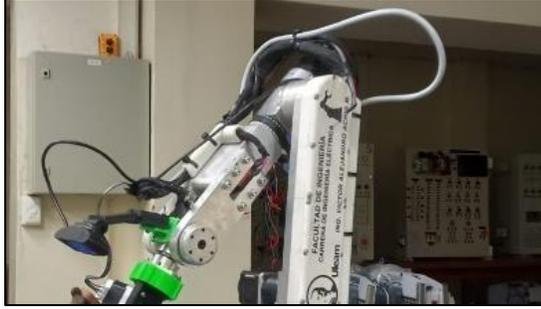


Figura 39. Webcam para visión artificial a distancia.

Obtenido de (Autor)



Figura 40: Parte inicial de las impresiones 3D.

Obtenido de (Autor)

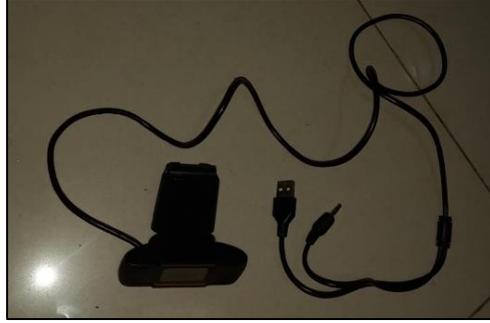


Figura 41: *Cámara web usada en el AR4.*
Obtenido de (Autor)

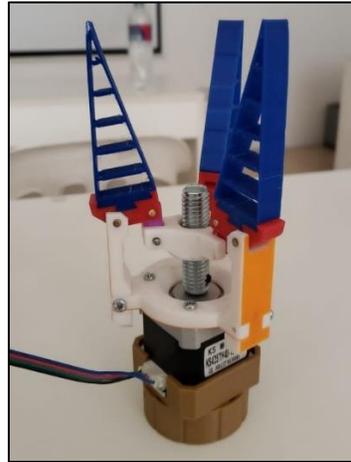


Figura 42: *Acople con 3 pinzas.*
Obtenido de (Autor)



Figura 43: *Acoples.*
Obtenido de (Autor)



Figura 44: *Acople inicial de soldar AR4*
Obtenido de (Autor)



Figura 45: *Acople de pintar AR4*
Obtenido de (Autor)



Figura 46: *Acople de 3 pinzas, Joystick y cámara web*
Obtenido de (Autor)



**Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí.
Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura
Carrera de Ingeniería Eléctrica**

Autor:

Alvarado Moreira Yordan Aldair

Tutor:

Ing. Marcos Antonio Ponce Jara

Asignatura:

Automatización

Tema:

Prácticas de laboratorio



PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Brazo Robótico Annin AR4

➤ PRÁCTICA I.

Calibrar y forzar a cero “0” los ejes del brazo robótico Annin AR4.

Objetivo.

La calibración y el forzado a cero de los ejes de un brazo robótico buscan optimizar la precisión, repetibilidad y consistencia en el movimiento y la posición, minimizando errores de posición, orientación y movimiento. Esto se logra ajustando los parámetros del sistema para garantizar una correlación exacta entre los comandos de control y el movimiento real del brazo robótico.

Al lograr este objetivo, se garantiza que el brazo robótico opere con precisión, confiabilidad y eficiencia

Teoría básica.

La calibración y el forzado a cero de un brazo robótico son procesos fundamentales para asegurar su precisión y rendimiento.

- **Calibración.** Es el proceso de ajustar los parámetros del brazo robótico para que sus movimientos coincidan con los comandos enviados por el controlador. Como ya mencioné anteriormente
- **Forzado a cero.** Es el proceso de establecer la posición inicial o "cero" del brazo robótico. Esto es crucial para que el brazo pueda moverse de manera precisa y reproducible.

La importancia de la calibración y el forzado a cero son fundamentales para:

- Asegurar la precisión y reproducibilidad del movimiento del brazo robótico.
- Minimizar errores y maximizar la eficiencia.
- Garantizar la seguridad y evitar daños al brazo robótico o su entorno.

Nota: la calibración y el forzado a cero pueden variar dependiendo del tipo de brazo robótico y su aplicación específica. Para nuestro Brazo Robótico Annin AR4 de determinaron los siguientes pasos de calibración.

Elementos y equipos requeridos.

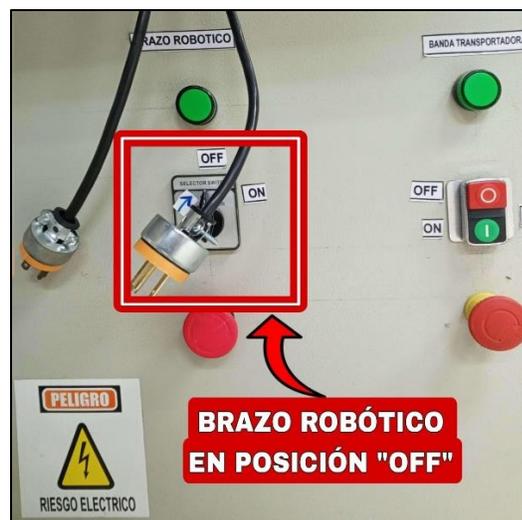
Módulos requeridos para esta práctica:

- Brazo robótico Annin AR4
- Tablero de control del brazo robótico AR4
- Monitor PC
- Cables de fuerza
- Pinza triple

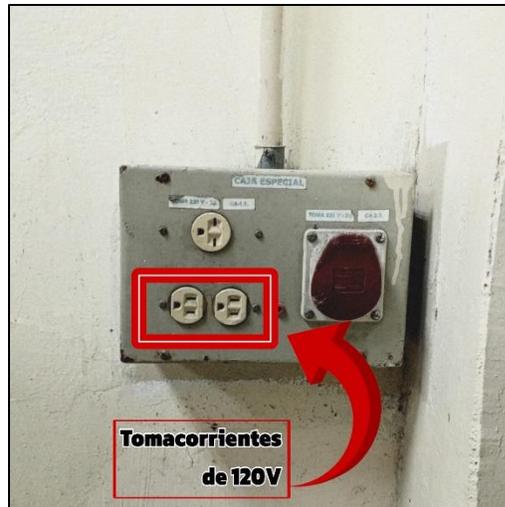
Procedimiento experimental.

Llevar a cabo los siguientes pasos:

1. Asegurarse de que todos los módulos estén apagados.
2. Para realizar esta práctica es muy recomendable que al momento del encendido del módulo “tablero de control” el selector esté en posición OFF.



3. Extender el cableado que se encuentra en el módulo hasta los tomacorrientes del laboratorio de automatización “dos extensiones para tablero y controladores”.



4. Proceder a energizar los módulos mediante la conexión de las extensiones de alimentación.



5. Realizar el encendido de los controladores “CPU y monitor de PC” que se encuentran en el módulo del Brazo Robótico.



6. Llevamos a cabo el encendido del módulo “tablero de control” el selector debe moverse a la posición ON.



- **Pasos de la calibración:**

7. **Identificación de parámetros.** Se identifican los parámetros que necesitan ser calibrados, como la longitud de los ejes, la posición de las articulaciones, etc.



8. **Visualización de las posiciones.** Se visualizan las posiciones actuales del brazo robótico en diferentes ángulos. Presentamos una imagen desde la parte superior, pero podemos visualizarla físicamente desde cualquier perspectiva.



9. **Inspección de errores:** Se inspeccionan visualmente y al tanteo cualquiera de los posibles errores entre las posiciones medias y las posiciones deseadas.



- **Pasos del forzado a cero.**

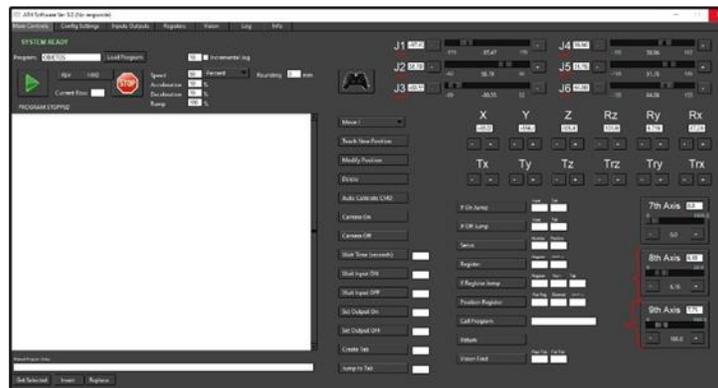
Para realizar el forzado a cero nuestro brazo a cero debemos de conocer algunos parámetros de la página inicial del “ejecutable.exe” que lo encontraremos en nuestro controlador “PC”.

Realizamos los siguientes pasos:

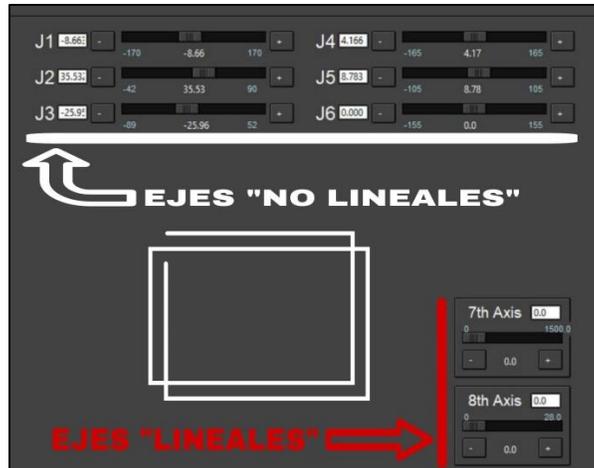
1. En nuestro monitor nos dirigimos e ingresamos a la carpeta “ANNIN AR4 – AR4 HMI interface 3.0 exe – AR4 Aplicación” donde se encuentra nuestro programa “.exe”, damos doble clic para ingresar.



2. Al abrir nuestro programa ejecutable nos encontraremos con la siguiente página de inicio. En este apartado explicaremos los botones básicos necesarios para la ejecución de esta práctica.



- Observamos que al iniciar nuestro programa todos nuestros ejes representados por “J1 - J2 - J3 - J4 - J5 - J6 - 7th Axis - 8th Axis”



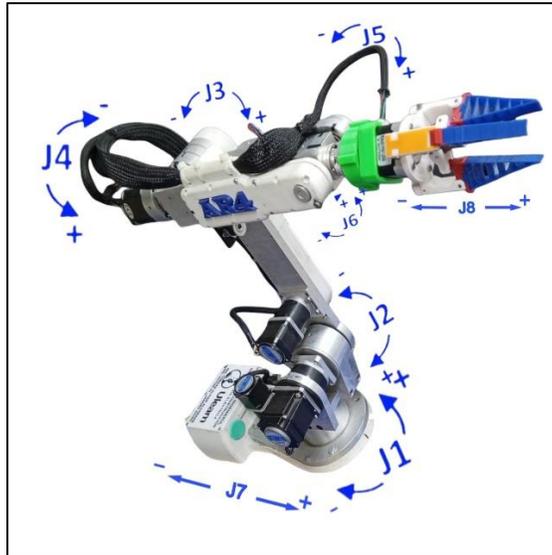
- Los ejes “J1 - J2 - J3 - J4 - J5 - J6” son no lineales, esto, quiere decir, que, como observamos en la imagen empiezan desde el centro de la barra que nos proporciona los ángulos de giro de estos ejes mencionados. Podemos clicar en el botón “+” o “-” para mover los ejes de posición angular. En la práctica conocemos lo que esto significa.



- Por otro lado, los ejes “7th Axis - 8th Axis” son lineales, lo que, significa que, empiezan desde una longitud de cero “0” hasta el límite que estos ejes tengan. Podemos clicar en el botón “+” o “-” para mover los ejes de posición lineal. En la práctica conocemos lo que esto significa.



3. **Conocimientos de giro.** Se debe de conocer los movimientos de los ejes de nuestro brazo robótico. Se presenta imagen del movimiento de los ejes.



4. **Posicionamiento inicial.** Al efectuar movimientos en nuestro brazo robótico en múltiples posiciones, se observa que las marcas de referencia proporcionadas por el autor no presentan una alineación paralela entre sí. Esta característica fue intencionadamente diseñada para facilitar y agilizar el proceso de calibración inicial, permitiendo una configuración rápida y precisa de nuestro sistema.



5. **Posicionamiento de referencias.** Se procede a alinear paralelamente las marcas de referencia mencionadas anteriormente, con el objetivo de lograr una alineación precisa y perfecta de nuestro brazo robótico. La inclusión de estas marcas de referencia tiene como

finalidad eliminar la necesidad de utilizar un nivel cada vez que se requiera calibrar el brazo robótico, agilizando así el proceso de calibración.



- 6. Medición de posiciones.** Se realizan mediciones mediante observación precisa de las posiciones actuales del brazo robótico, con el objetivo de verificar que su alineación sea paralela y coincida exactamente con el grado 10 que se visualiza gráficamente en la mesa de referencia de nuestro módulo de prácticas. Esto asegura que el brazo robótico se encuentre en la posición correcta y precisa para realizar operaciones de manera efectiva. En la siguiente imagen se muestran diferentes ángulos de vista con referencia paralela al grado 10.

Nota: Esta práctica la podemos realizar con o sin el acople de la pinza triple.

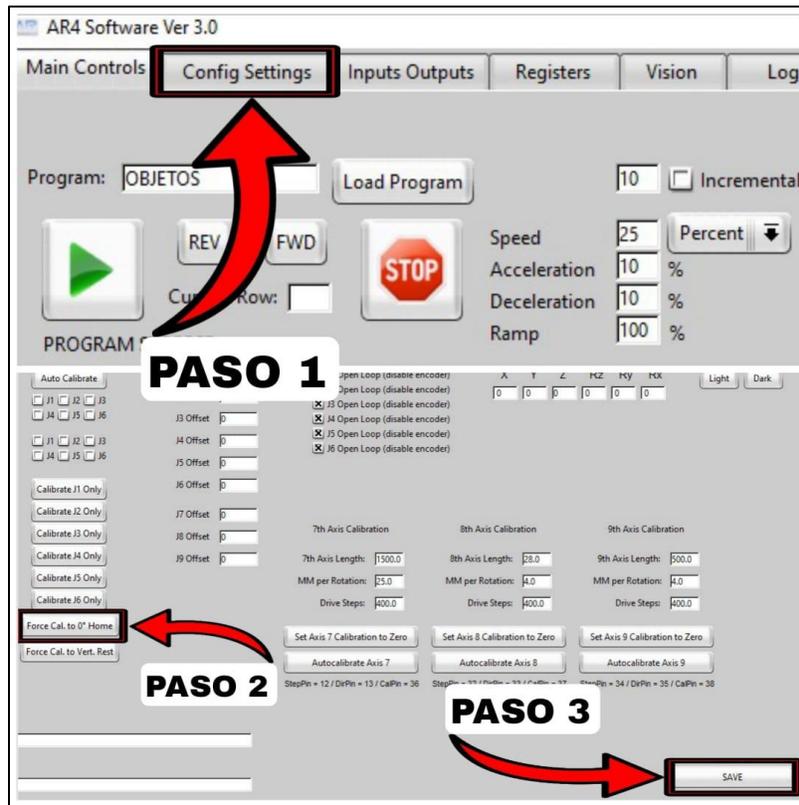


- 7. Posicionamiento final.** Una vez que se ha completado la calibración inicial de nuestro brazo robótico Annin AR4, mediante el alineamiento preciso con las marcas de referencia, se establece un punto de origen fijo y se ejecuta el proceso de forzado a cero. Este paso es crucial para garantizar que el brazo robótico inicie operaciones desde una posición inicial conocida y controlada, lo que permite la ejecución de programas con precisión y confiabilidad. La omisión de este paso crítico resultaría en una ejecución errónea de los programas, lo que podría generar resultados inesperados o daños en el sistema.



- 8. Forzado a cero.** Una vez que el brazo robótico ha sido correctamente posicionado y calibrado, procedemos a ejecutar los siguientes pasos en nuestro panel de configuración: seleccionamos la opción “Config Settings”, seguido de “Force Cal. To 0° Home” y finalmente confirmamos con “SAVE”. De esta manera, forzamos el sistema a establecer su posición inicial en cero grados (0°), asegurando así una configuración precisa y

consistente.



NOTA IMPORTANTE: SE DEBE REALIZAR ESTA PRÁCTICA PARA TODAS LAS DEMAS PRÁCTICAS QUE SE REALIZARÁN EN ESTE MODULO Y CUALQUIER OTRA PRÁCTICA ADICIONAL QUE SE QUIERA REALIZAR EN EL FUTURO.

➤ PRACTICA II.

Movimientos aleatorios de nuestro Annin Robotic AR4.

Objetivo.

En esta práctica los objetivos de realizar movimientos aleatorios consisten en verificar la precisión y repetibilidad del sistema, analizar su dinámica y cinemática, probar su robustez y fiabilidad, el calibrado y ajuste de parámetros de control, validar algoritmos de control, identificar limitaciones y restricciones en el movimiento, y preparar el brazo robótico para realizar tareas específicas. Esto permite evaluar y mejorar el rendimiento del sistema, asegurando su capacidad para realizar tareas complejas de manera segura y confiable, y detectar posibles fallos o errores en el movimiento, lo que a su vez permite optimizar su funcionamiento y aumentar su eficiencia en aplicaciones reales.

Teoría básica.

Para realizar movimientos aleatorios de ensayo en un brazo robótico Annin AR4 nos basamos en la generación de movimientos impredecibles y no repetitivos que permitan evaluar la capacidad del brazo robótico para adaptarse a situaciones cambiantes, mejorar su precisión y repetibilidad, detectar posibles fallos o errores en su funcionamiento, mediante la simulación de condiciones de operación reales y la evaluación de su desempeño en tiempo real.

Elementos y equipos requeridos.

Módulos requeridos para esta práctica:

- Brazo robótico Annin AR4
- Tablero de control del brazo robótico AR4
- Monitor PC
- Cables de fuerza

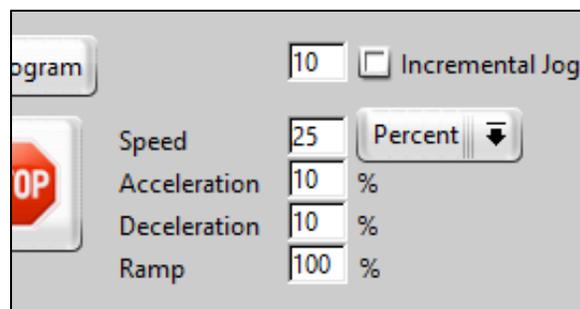
➤ Pinza triple

Procedimiento experimental

1. Realizar práctica 1, obligatorio.
2. **Inicialización del sistema.** Para esta práctica acoplamos la pinza triple a la base del eje 8.



3. **Definición de los parámetros de movimiento.** Se establecen los parámetros de pulsos, rango de articulación, la velocidad, aceleración, desaceleración y la rampa de impulso, para definir los límites dentro de los cuales se realizarán los movimientos aleatorios. Es recomendable que los principiantes no excedan en 25% de velocidad.



4. **Control de los actuadores.** Los comandos de movimiento de nuestro programa ejecutable envían a los drivers de motor, que controlan los actuadores del brazo

robótico, realizando los movimientos aleatorios dentro de los parámetros definidos.

- Eje 1. Base del brazo, giro circular -170° izquierda y $+170^{\circ}$ derecha
- Eje 2. Hombro del brazo, giro -42° ascendente y 90° descendente.
- Eje 3. Codo del brazo, giro -89° ascendente y $+52^{\circ}$ descendente.
- Eje 4. Antebrazo del robot, giro -165° izquierda y $+165^{\circ}$ derecha.
- Eje 5. Elevación de pinza, giro -105° ascendente y $+105^{\circ}$ descendente.
- Eje 6. Giro de pinza, giro -155° izquierda y $+155^{\circ}$ derecha.



- Eje 7. Movimiento de la base total del brazo, eje lineal 0 pasos para delante y 3500 pasos para atrás.
- Eje 8. Movimiento que abre y cierra la pinza triple, da paso a la apertura de la pistola de pintura, abre la pinza portaelectrodo para el cambio del electrodo y se le pueden añadir múltiples funciones más. Eje que va desde 0 hasta los 40 pasos.



5. **Finalización del movimiento.** Una vez que se han completado los movimientos aleatorios, el sistema de control detiene el movimiento del brazo robótico y se vuelve al modo de operación inicial.



➤ PRÁCTICA III.

Guardar movimientos aleatorios de nuestro Annin Robotic AR4.

Objetivo.

Los objetivos de guardar los movimientos aleatorios en este ensayo son las de registrar y almacenar los datos de posición, velocidad y aceleración de cada transición del brazo robótico durante los movimientos aleatorios, con el fin de analizar y evaluar el desempeño del sistema en términos de precisión, repetibilidad y estabilidad, identificar patrones y tendencias en el movimiento, detectar posibles fallos o errores en el funcionamiento del brazo robótico, y utilizar esta información para ajustar y optimizar los parámetros de control, mejorar la calibración y el rendimiento del sistema, y desarrollar algoritmos de control más avanzados y eficientes, permitiendo así mejorar la capacidad del brazo robótico para realizar tareas complejas y precisas en aplicaciones reales.

Teoría básica.

Para realizar el guardado de los movimientos aleatorios nos basamos en la captura y registro de datos de movimiento en tiempo real, esto nos permite almacenar la información de posición, velocidad y aceleración de cada eje del brazo robótico durante los movimientos aleatorios, para su análisis y procesamiento, permitiendo así evaluar y si es necesario mejorar el desempeño del sistema.

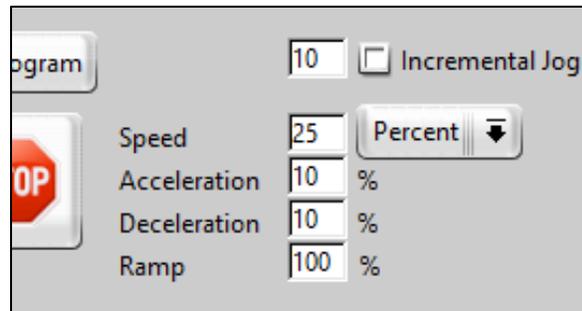
Elementos y equipos requeridos.

Módulos requeridos para esta práctica:

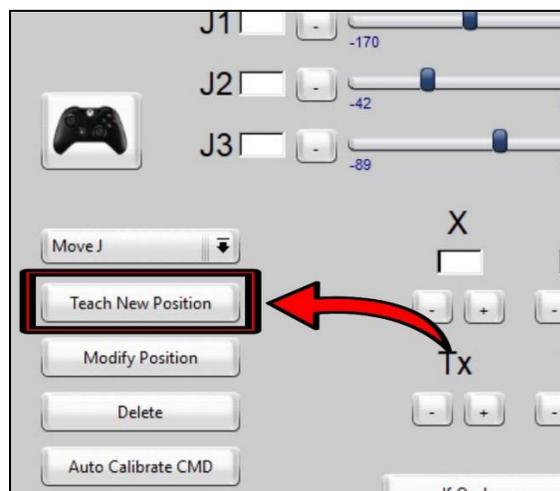
- Brazo robótico Annin AR4
- Tablero de control del brazo robótico AR4
- Monitor PC
- Cables de fuerza
- Pinza triple

Procedimiento experimental

1. Realizar práctica 1, obligatorio.
2. **Inicialización del sistema.** Para esta práctica acoplamos la pinza triple a la base del eje.
3. **Definición de los parámetros de movimiento.** Se establecen los parámetros de pulsos, rango de articulación, la velocidad, aceleración, desaceleración y la rampa de impulso, para definir los límites dentro de los cuales se realizarán los movimientos aleatorios. Es recomendable que los principiantes no excedan en 25% de velocidad.

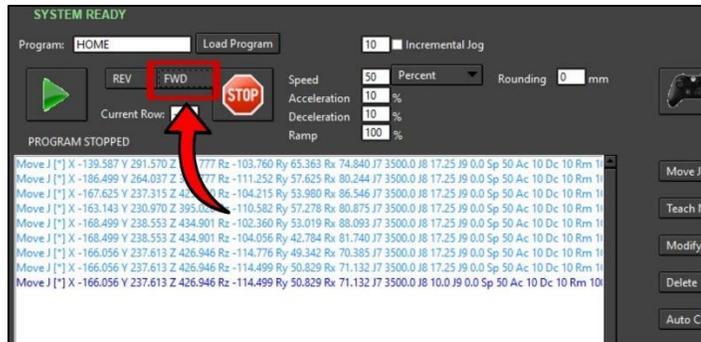


1. **Control de los actuadores.** Los comandos de movimiento de nuestro programa ejecutable envían a los drivers de motor, que controlan los actuadores del brazo robótico, realizando los movimientos aleatorios dentro de los parámetros definidos, aquí le añadimos un paso extra la cual es que en cada movimiento le vamos a dar clic en “Teach New Position” que se encuentra en la página principal de nuestro ejecutable.

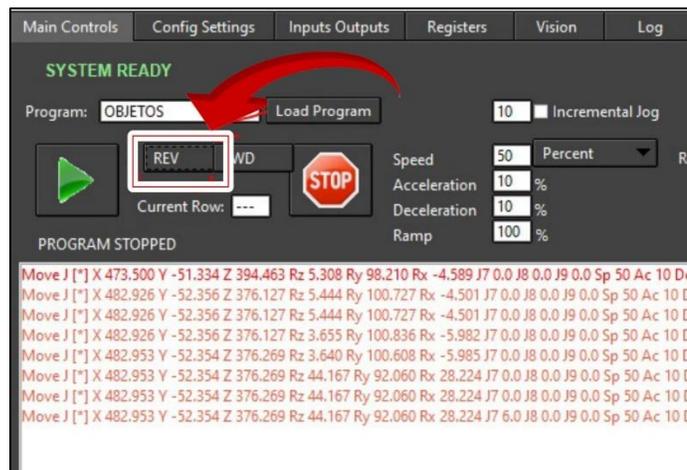


2. **Movimiento y ajuste.** Se ajusta el movimiento del brazo robótico en tiempo real, nos aseguramos de que se estén cumpliendo los parámetros de movimiento establecidos, vamos

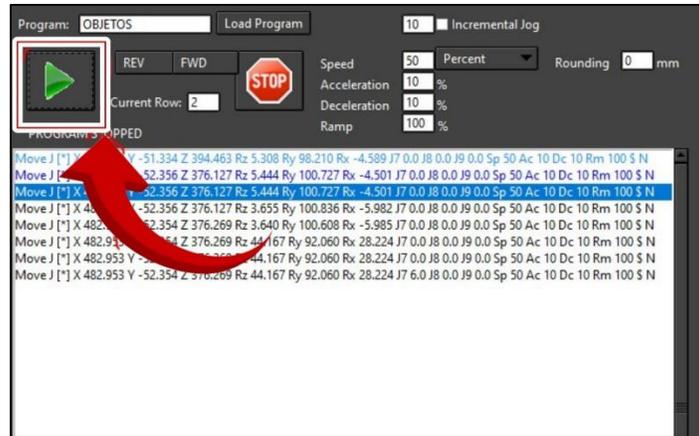
moviendo nuestro brazo con mucho cuidado, con la velocidad recomendada de 25%. Cuidando los choques y los roces con la plataforma o demás obstáculos frente al brazo. Además, cabe recalcar que en esta práctica no debemos de llevar nuestro brazo hacia las posiciones límite ya que lo considerará como una colisión y no dará marcha a la práctica, pues esta se parará y dejará de funcionar cuando se detecte alguna colisión para proteger la integridad de nuestro brazo. En caso de colisionar retroceder un pulso al eje en colisión.



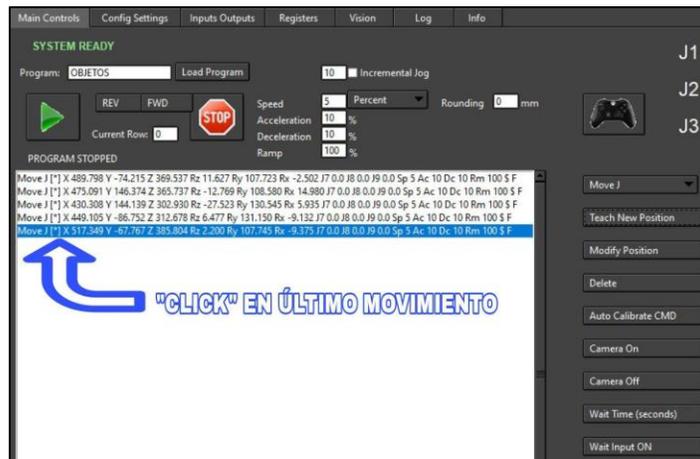
- 3. Verificación de pasos guardados.** Una vez realizados todos los pasos y movimientos deseados nos dirigimos con el cursor hacia el movimiento inicial hacia “REV”, aquí se revisarán y verificarán que estén bien todos los pasos guardados.



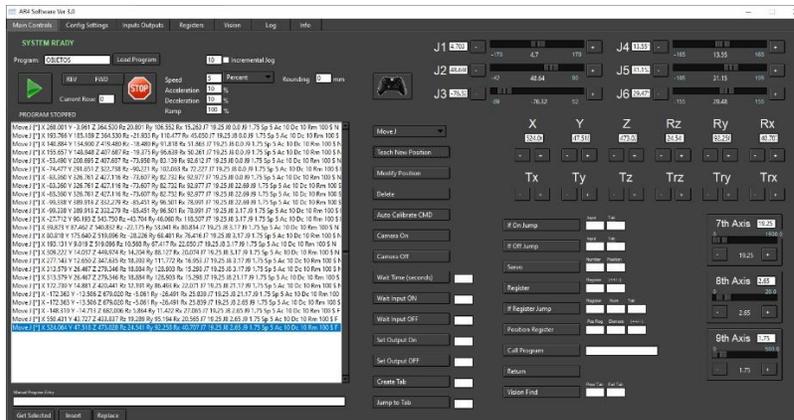
- 4. Ejecución de movimientos.** Una vez revisados los pasos ejecutamos y damos inicio al programa dando clic en “PLAY”



- Añadir movimientos adicionales.** Si queremos seguir añadiendo más movimientos damos clic en el último movimiento y seguimos agregando más movimientos a nuestro AR4.



- Importante.** No olvidar clicar en “Tech New Position” en cada nuevo movimiento. Luego repetimos los pasos de dar clic en “REV – FDW - PLAY” y observamos todos los movimientos que realizamos.



Nota: Si en algún punto de la práctica el brazo robótico queda sin movimiento, es porque no se respetó la indicación de “NO LLEVAR LOS EJES HASTA EL LÍMITE”, el AR4 lo reconocerá como colisión y por protección el brazo robótico no avanzará hasta corregir este problema.

➤ PRÁCTICA IV

Bucle de movimientos aleatorios.

Objetivo.

El realizar un bucle de movimientos aleatorios con movimientos repetitivos son las de evaluar la precisión y repetibilidad en la ejecución de movimientos aleatorios y predecibles; verificar la capacidad del brazo robótico para mantener la estabilidad y control en trayectorias; demostrar la habilidad del sistema para adaptarse a patrones de movimiento repetitivos; optimizar la eficiencia y productividad en tareas que requieren movimientos en bucle; y validar la robustez y confiabilidad del brazo robótico en operaciones de alta demanda y larga duración.

Teoría básica.

Permite evaluar la capacidad del brazo robótico para adaptarse a los movimientos repetitivos constantes y mantener la precisión y control en entornos cíclicos.

Elementos y equipos requeridos.

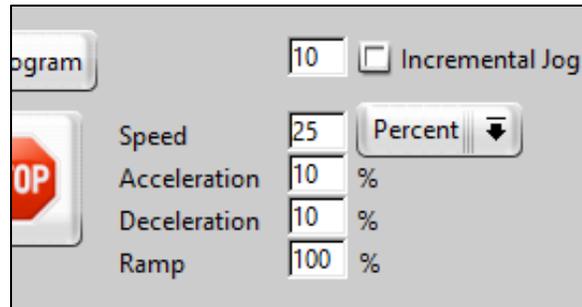
Módulos requeridos para esta práctica:

- Brazo robótico Annin AR4
- Tablero de control del brazo robótico AR4
- Monitor PC
- Cables de fuerza
- Pinza triple

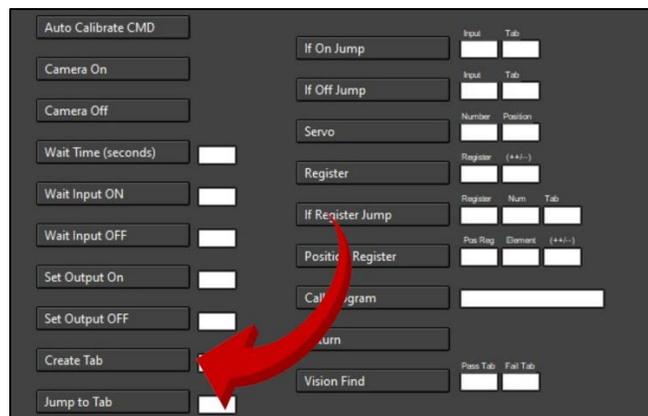
Procedimiento experimental

1. Realizar práctica 1, obligatorio.
2. **Inicialización del sistema.** Para esta práctica acoplamos la pinza triple a la base del eje.

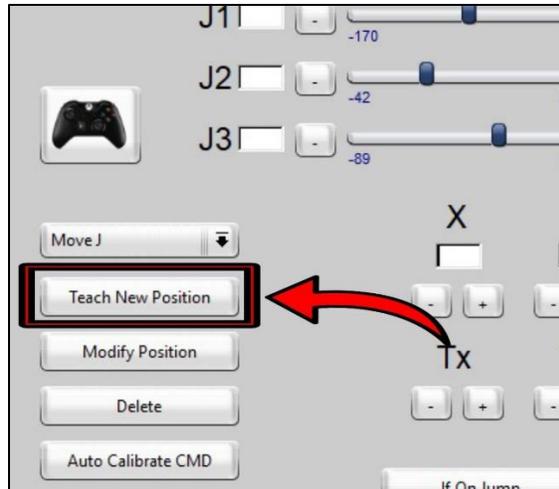
3. **Definición de los parámetros de movimiento.** Se establecen los parámetros de pulsos, rango de articulación, la velocidad, aceleración, desaceleración y la rampa de impulso, para definir los límites dentro de los cuales se realizarán los movimientos aleatorios. Es recomendable que los principiantes no excedan en 25% de velocidad.



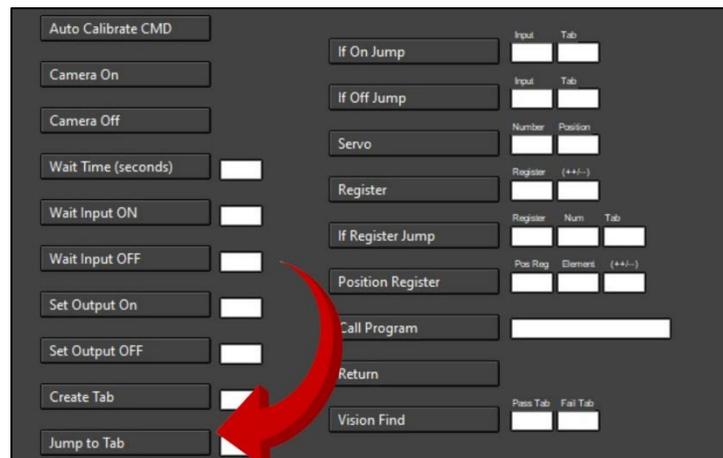
4. **Control de los actuadores.** Los comandos de movimiento de nuestro programa ejecutable envían a los drivers de motor, que controlan los actuadores del brazo robótico, realizando los movimientos aleatorios dentro de los parámetros definidos.
 - Antes de empezar a dar clic en “Teach New Position” vamos a utilizar los botones de “Create Tab” para iniciar a guardar movimientos en el programa.



- Añadimos el paso de que en cada movimiento le vamos a dar clic en “Teach New Position” que se encuentra en la página principal de nuestro ejecutable.



- Finalmente, cuando ya hemos realizado todos los movimientos que queremos le damos click en “Jump to Tab”.



- Inicialización del sistema.** Cuando ya guardamos todos los pasos de nuestro programa, en esta práctica ya debimos de haber aprendido a realizar los pasos sin que colisionen los ejes, entonces damos clic en “FDW - PLAY” y observamos los pasos realizados en bucle hasta que le demos en el botón “STOP”.

PROGRAM RUNNING

Program: Load Program Incremental Jog

Speed Percent
 Rounding mm

Acceleration %
 Deceleration %
 Ramp %

Current Row:

PROGRAM STOPPED

```

Tab Number
OFF J [ PR: 1 ] [*] X -60.841 Y -287.371 Z 498.448 Rz 71.193 Ry -48.282 Rx 36.394 J7 3500.0 J8 17.2 J9 0.0 Sp 50 Ac 10 Dc 10 R
OFF J [ PR: 1 ] [*] X 19.628 Y 293.084 Z 498.448 Rz -50.313 Ry -86.854 Rx -99.435 J7 3500.0 J8 17.2 J9 0.0 Sp 50 Ac 10 Dc 10 R
OFF J [ PR: 1 ] [*] X 18.738 Y 279.927 Z 507.274 Rz -49.052 Ry -84.701 Rx -100.913 J7 3500.0 J8 17.2 J9 0.0 Sp 50 Ac 10 Dc 10 R
OFF J [ PR: 1 ] [*] X 22.761 Y 339.384 Z 460.582 Rz -54.992 Ry -94.839 Rx -93.482 J7 3500.0 J8 17.2 J9 0.0 Sp 50 Ac 10 Dc 10 R
OFF J [ PR: 1 ] [*] X 20.485 Y 305.750 Z 602.649 Rz -36.447 Ry -63.165 Rx -113.101 J7 3500.0 J8 17.2 J9 0.0 Sp 50 Ac 10 Dc 10 R
OFF J [ PR: 1 ] [*] X 0.730 Y 337.262 Z 557.295 Rz -39.901 Ry -74.478 Rx -104.593 J7 3500.0 J8 17.2 J9 0.0 Sp 50 Ac 10 Dc 10 R
OFF J [ PR: 1 ] [*] X 0.757 Y 347.218 Z 518.748 Rz -44.608 Ry -83.151 Rx -99.581 J7 3500.0 J8 17.2 J9 0.0 Sp 50 Ac 10 Dc 10 R
OFF J [ PR: 1 ] [*] X 1.210 Y 347.231 Z 518.673 Rz -79.127 Ry -12.229 Rx -15.575 J7 3500.0 J8 17.2 J9 0.0 Sp 50 Ac 10 Dc 10 R
OFF J [ PR: 1 ] [*] X 1.244 Y 347.255 Z 518.535 Rz -79.680 Ry 7.901 Rx 8.387 J7 3500.0 J8 17.2 J9 0.0 Sp 50 Ac 10 Dc 10 Rm 100
OFF J [ PR: 1 ] [*] X -12.174 Y 344.831 Z 518.335 Rz -80.358 Ry -10.222 Rx 23.456 J7 3500.0 J8 17.2 J9 0.0 Sp 50 Ac 10 Dc 10 R
OFF J [ PR: 1 ] [*] X -1.330 Y 347.184 Z 518.566 Rz -79.963 Ry 4.519 Rx 11.228 J7 3500.0 J8 17.2 J9 0.0 Sp 50 Ac 10 Dc 10 Rm 100
OFF J [ PR: 1 ] [*] X -1.330 Y 347.184 Z 518.566 Rz -36.569 Ry -88.802 Rx -103.086 J7 3500.0 J8 17.2 J9 0.0 Sp 50 Ac 10 Dc 10 R
OFF J [ PR: 1 ] [*] X -1.330 Y 347.184 Z 518.566 Rz -79.753 Ry 9.305 Rx 16.912 J7 3500.0 J8 17.2 J9 0.0 Sp 50 Ac 10 Dc 10 Rm 100
OFF J [ PR: 1 ] [*] X -1.330 Y 347.184 Z 518.566 Rz -79.753 Ry 9.305 Rx 16.912 J7 3500.0 J8 0.0 J9 0.0 Sp 50 Ac 10 Dc 10 Rm 100
OFF J [ PR: 1 ] [*] X -1.330 Y 347.184 Z 518.566 Rz -79.753 Ry 9.305 Rx 16.912 J7 3500.0 J8 18.1 J9 0.0 Sp 50 Ac 10 Dc 10 Rm 100
OFF J [ PR: 1 ] [*] X -1.330 Y 347.184 Z 518.566 Rz -79.753 Ry 9.305 Rx 16.912 J7 1915.75 J8 18.1 J9 0.0 Sp 50 Ac 10 Dc 10 Rm 100
OFF J [ PR: 1 ] [*] X -1.330 Y 347.184 Z 518.566 Rz -79.753 Ry 9.305 Rx 16.912 J7 0.0 J8 0.0 J9 0.0 Sp 50 Ac 10 Dc 10 Rm 100 S
OFF J [ PR: 1 ] [*] X -1.330 Y 347.184 Z 518.566 Rz -79.753 Ry 9.305 Rx 16.912 J7 3500.0 J8 0.0 J9 0.0 Sp 50 Ac 10 Dc 10 Rm 100 S
Jump Tab-
  
```

➤ PRÁCTICA V.

Escritura.

Objetivo.

El realizar escritura con un brazo robótico Annin AR4 tiene como objetivo el generar trazos precisos y controlados en un plano de trabajo, mediante la coordinación de movimientos articulados, para producir patrones y caracteres con alta fidelidad, evaluando la capacidad del sistema para seguir trayectorias complejas, mantener la estabilidad y precisión en el movimiento, y adaptarse a cambios en la superficie de escritura, con el fin de demostrar la habilidad del brazo robótico para realizar tareas que requieren destreza y precisión, como la escritura o manipulación de objetos pequeños.

Teoría básica.

La generación de movimientos controlados y precisos, mediante la coordinación de los grados de libertad del brazo robótico, para trazar patrones y caracteres en un plano de trabajo, utilizando algoritmos de control que interpretan las órdenes de movimiento y las traducen en acciones precisas de los actuadores, permitiendo así producir trazos con alta fidelidad y precisión.

Elementos y equipos requeridos.

Módulos requeridos para esta práctica:

- Brazo robótico Annin AR4
- Tablero de control del brazo robótico AR4
- Monitor PC
- Cables de fuerza
- Pinza de escritura

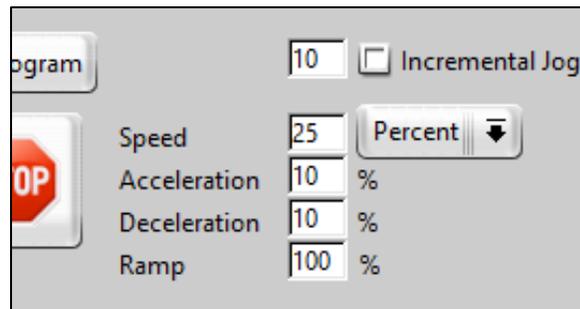
Procedimiento experimental

1. Realizar práctica 1 y 2, obligatorio.

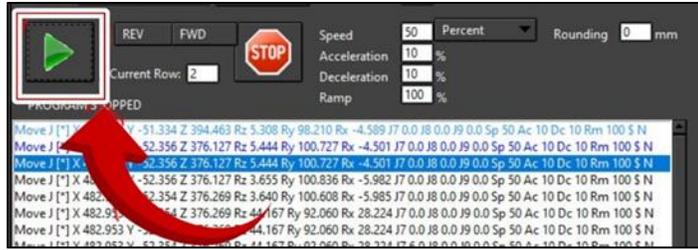
2. **Inicialización del sistema.** Para esta práctica acoplamos la pinza de escritura a la base del eje.



3. **Definición de los parámetros de movimiento.** Se establecen los parámetros de pulsos, rango de articulación, la velocidad, aceleración, desaceleración y la rampa de impulso, para definir los límites dentro de los cuales se realizarán los movimientos aleatorios. Es recomendable que los principiantes no excedan en 25% de velocidad.



4. **Movimiento y ajuste.** Conociendo los movimientos básicos de las prácticas 1 y 2, analizamos la estabilidad y control de los movimientos en diferentes velocidades y aceleraciones. Luego colocamos un cuaderno en nuestra base del módulo de trabajo, en cualquier posición. Para esta práctica se lo colocará en la posición donde se realizó la calibración del brazo.



7. Observamos como nuestro brazo robótico empieza a realizar automáticamente el trazo de línea que ajustamos en nuestra práctica.



➤ PRÁCTICA VI.

Selección de Objetos “movimientos – repetitivos”.

6.1 Objetivo.

El realizar la selección de objetos con nuestro brazo robótico Annin AR4 simulando un entorno industrial son: evaluar la precisión y repetibilidad en la selección de objetos mediante movimientos cíclicos y preprogramados; optimizar la velocidad y eficiencia en la selección y manipulación de objetos en tareas de alta frecuencia; demostrar la capacidad del brazo robótico para realizar movimientos precisos y controlados en entornos de producción en masa; reducir el tiempo de ciclo y aumentar la productividad en la selección y manipulación de objetos; y demostrar la durabilidad y resistencia del brazo robótico en operaciones de alta frecuencia y larga duración.

Teoría básica.

La selección de objetos con movimientos repetitivos se basa en la programación de movimientos cíclicos y predecibles que permiten al brazo robótico seleccionar y manipular objetos de manera precisa y eficiente, mediante el uso de sensores y algoritmos de control que garantizan la repetibilidad y precisión en la selección, y la optimización de la velocidad y eficiencia en la tarea, permitiendo así automatizar procesos de producción en masa y aumentar la productividad en entornos industriales.

Elementos y equipos requeridos.

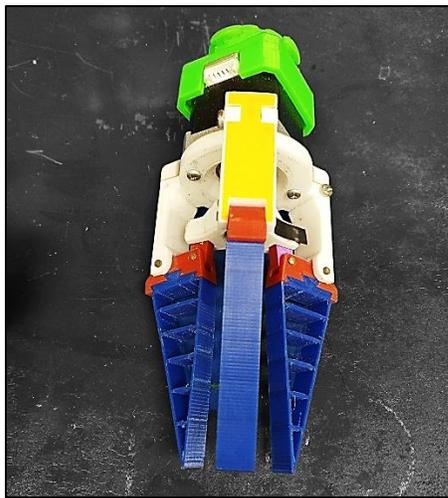
Módulos requeridos para esta práctica:

- Brazo robótico Annin AR4
- Tablero de control del brazo robótico AR4
- Monitor PC
- Cables de fuerza
- Pinza triple

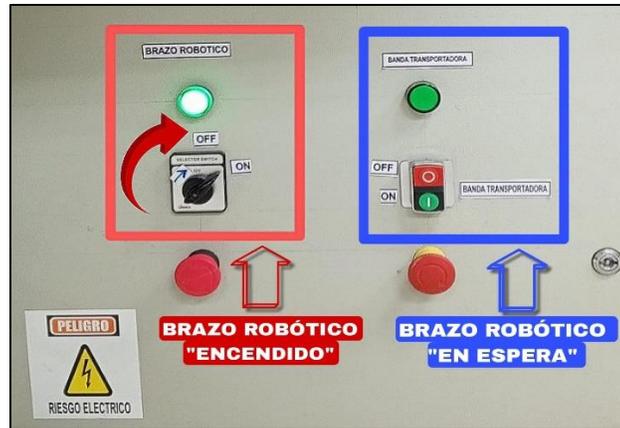
- Sensores inductivos
- Banda transportadora
- Objetos para seleccionar

Procedimiento experimental

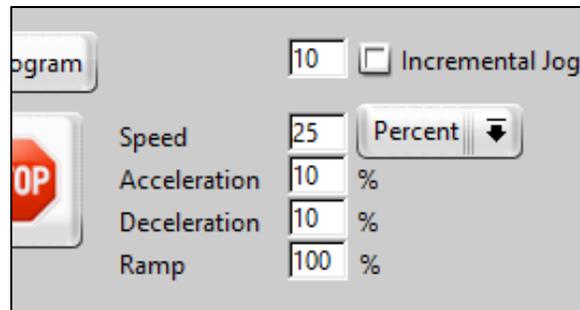
1. Para esta práctica es obligatorio realizar práctica 1, 2 y 3.
2. **Inicialización del sistema.** Para esta práctica acoplamos la pinza triple a la base del eje.



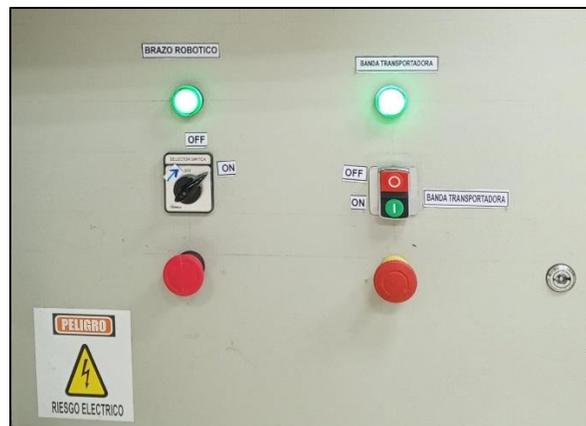
3. **Identificación de condiciones.** Ya establecidas las precondiciones necesarias para iniciar la operación, incluyendo la activación del selector del brazo robótico en modo "ON", sin embargo, aún no se debe activar el pulsador de control de la banda transportadora, lo que indica que este segundo sistema se encuentra en estado de espera, para iniciar el proceso de selección y manipulación de objetos una vez coloquemos los objetos a seleccionar activamos el pulsador e iniciamos el movimiento de la banda transportadora.



4. **Definición de los parámetros de movimiento.** Se establecen los parámetros de pulsos, rango de articulación, la velocidad, aceleración, desaceleración y la rampa de impulso, para definir los límites dentro de los cuales se realizarán los movimientos aleatorios. Es recomendable que los principiantes no excedan en 25% de velocidad.



5. **Movimiento y ajuste.** Conociendo los movimientos básicos de las prácticas 2, 3 y la práctica 4, analizamos la estabilidad y control de los movimientos en diferentes velocidades y aceleraciones. Luego observamos y verificamos el correcto funcionamiento de nuestra banda transportadora.

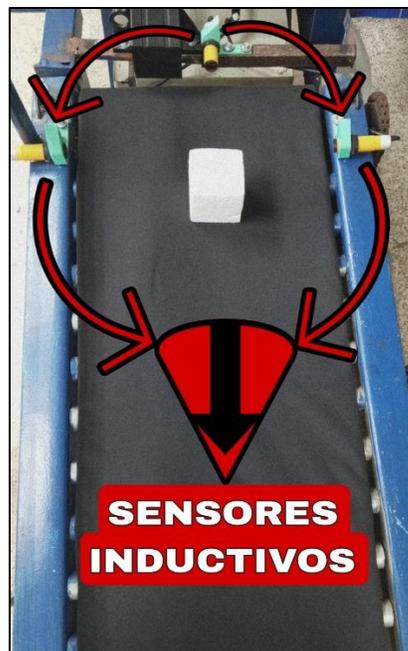


6. Preparación para tareas específicas. Preparamos el brazo robótico para realizar tareas determinadas, por obligación todos los objetos deben de tener la misma textura y medida. Seguimos los siguientes pasos:

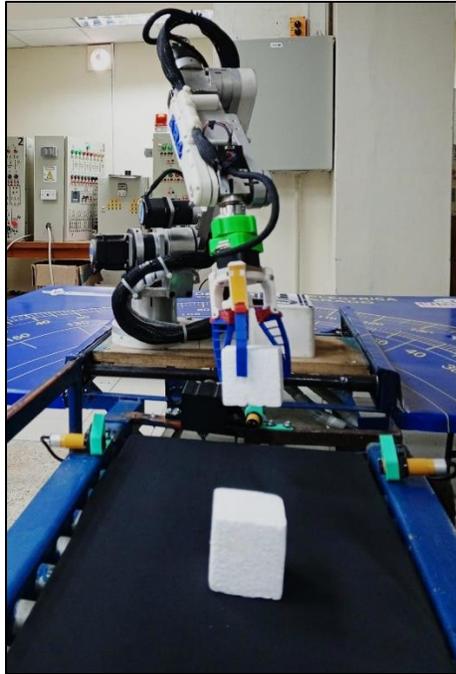
- Con el hongo de emergencia de la banda transportadora la paramos por un momento y colocamos uno de los objetos sobre la banda transportadora, por exigencia debe de ir en una posición centrada y con la misma distancia en los laterales. Esta distancia lateral no es fija ya que dependerá del tamaño del objeto.



- Iniciamos el bucle como lo aprendimos en la práctica 4 y desactivamos el hongo de emergencia que previamente habíamos activado y los sensores inductivos detectarán el objeto, ahora la banda transportadora parará hasta que deje de detectar dicho objeto.



7. Configuración del sistema. Cuando los sensores detectan el objeto, la banda transportadora detendrá la marcha y dará oportunidad a configurar nuestro sistema. Con los pasos ya aprendidos en las prácticas antes mencionadas. Una vez realizados todos los movimientos necesarios para agarrar los objetos sin olvidar ningún paso. Aquí finalizamos nuestro bucle y colocamos todos los objetos que tengamos, encendemos la banda transportadora y damos PLAY en nuestro programa ejecutable.



8. Finalización del sistema. Cuando los sensores detectan el objeto, la banda transportadora detendrá la marcha y nuestro brazo robótico estará en un bucle hasta que decidamos darle STOP a nuestro sistema.



9. Nota importante. Esta práctica toma una relevancia significativa ya que, conociendo el manejo básico de un brazo robótico, en este caso, nuestro modelo basado en ANNIN AR4 podemos adentrarnos en ensayos de simulación industrial a pequeña escala tomando ejemplos reales.

En entornos industriales, las tareas que involucran movimientos repetitivos son comunes, como el traslado manual de cajas, lo que implica riesgos ergonómicos significativos para los operarios, además de ineficiencias asociadas al cansancio y lesiones musculares que comprometen su productividad. La implementación de un brazo robótico permite automatizar estas tareas, programándolo para ejecutar movimientos precisos y repetitivos, liberando al personal para ser reasignado a funciones de mayor valor agregado, mejorando así la eficiencia y reduciendo el riesgo de lesiones laborales.



➤ PRÁCTICA VII.

Soldadura.

7.1 Objetivo.

Los objetivos de realizar soldadura con un brazo robótico son las de alcanzar una alta precisión y consistencia en la unión de piezas metálicas, mediante la aplicación controlada de calor y material de aporte; mejorar la eficiencia y productividad en procesos de soldadura, reduciendo el tiempo de ciclo y el desperdicio de material; aumentar la seguridad en el lugar de trabajo, al minimizar la exposición de los operarios a riesgos asociados con la soldadura manual; y lograr una mayor calidad y fiabilidad en las uniones soldadas, gracias a la repetibilidad y control preciso del brazo robótico.

Teoría básica.

Para realizar soldadura con un brazo robótico se basa en la integración de algoritmos de control que permiten al brazo robótico seguir una trayectoria precisa y controlada, aplicando el arco de soldadura en el punto exacto y con la intensidad adecuada, utilizando técnicas como la soldadura MIG/MAG, TIG o ARC, y materiales de aporte adecuados, para lograr una unión consistente, mediante la fusión controlada de los metales base y de aporte.

Para este ensayo utilizaremos un portaelectrodo al cual se le modeló e imprimió en 3D una base para que encaje en nuestro brazo robótico y nos facilite el proceso de soldadura.

Elementos y equipos requeridos.

Módulos requeridos para esta práctica:

- Brazo robótico Annin AR4
- Tablero de control del brazo robótico AR4
- Monitor PC
- Cables de fuerza

- Pinza portaelectrodo para soldadura
- Máquina de soldar
- Objeto a soldar

Procedimiento experimental

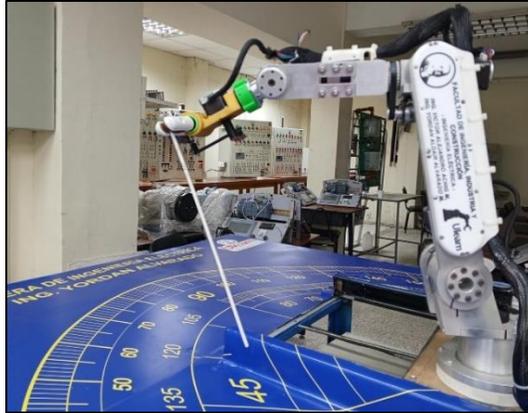
Para esta práctica es obligatorio realizar práctica 1,2,3 y 4.

Inicialización del sistema. Para esta práctica acoplamos la pinza portaelectrodo para soldadura a la base del eje.



Identificación de condiciones. Ya establecidas las precondiciones necesarias para iniciar la operación, incluyendo la activación del selector del brazo robótico en modo "ON", sin embargo, aún no se debe activar la máquina de soldar, lo que indica que este segundo sistema se encuentra en estado de espera para iniciar el proceso de soldadura de objetos metálicos.

- **Configuración del Sistema.** Damos inicio al programa dándole todos los pasos necesarios para empezar la práctica, como ya sabemos debemos de tener en cuenta, guardar todos los pasos sin olvidar ninguno.



- **Movimientos y ajustes.** Cabe mencionar que para fines prácticos académicos basta con realizar un solo punto de soldadura, este programa se puede modificar y agregar diferentes accesorios si queremos que nuestro brazo robótico suelde constantemente, como la implementación de sensores que nos desplacen y acerquen los objetos a soldar, también puede ser la implementación de otro brazo robótico que trabaje en iguales condiciones que nuestro Annin ar4 o un operador que comande nuestro sistema a distancia. Por motivo de tiempo se tomó la decisión de realizar un solo punto de suelda para nuestra demostración académica.



Nota Importante. Por lo siguiente, la práctica de suma relevancia ya que en las industrias de ensamblajes se realiza el trabajo de soldar y esto hace que los operadores que realizan este tipo de prácticas a futuro tengan problemas oculares o de quemaduras que conllevan a graves

consecuencias físicas.

8. PRÁCTICA VIII

Pintura

8.1 Objetivo.

La implementación de un sistema de pintado con compresor y brazo robótico busca alcanzar objetivos como: precisión y consistencia en la aplicación de pintura, reducción de residuos y desperdicio de material, aumento de la eficiencia y productividad en procesos de pintura, mejora en la calidad y uniformidad del acabado, reducción de la exposición de los operarios a sustancias químicas y polvo, y flexibilidad para adaptarse a diferentes geometrías y diseños de piezas, mediante la programación y control preciso del movimiento del brazo robótico y la regulación de la presión y caudal de pintura.

8.2 Teoría básica.

Se basa en la integración de tecnologías como la robótica y la electro-pneumática, para controlar el movimiento preciso del brazo robótico y la aplicación de pintura a través de un sistema de compresor, que proporciona una presión y caudal controlados, permitiendo una aplicación uniforme y precisa sobre la pieza a pintar, mediante la programación de trayectorias y parámetros de pintura, como velocidad, distancia y ángulo de aplicación.

Elementos y equipos requeridos.

Módulos requeridos para esta práctica:

- Brazo robótico Annin AR4
- Tablero de control del brazo robótico AR4
- Monitor PC
- Cables de fuerza

- Pinza con acople de pistola de pintura.
- Objeto para pintar.

Procedimiento experimental

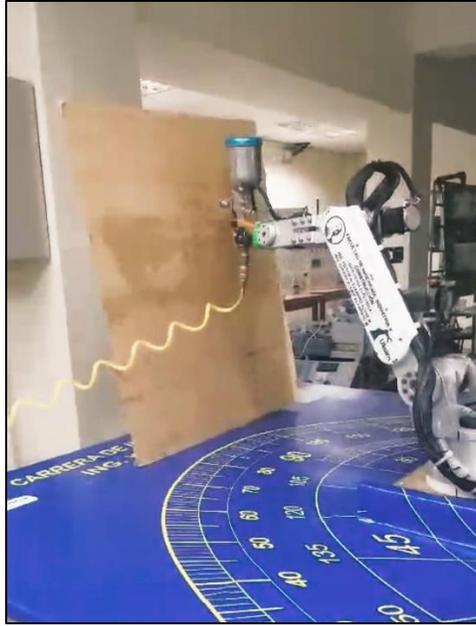
Para esta práctica es obligatorio realizar práctica 1, 2, 3 y 4.

Inicialización del sistema. Para esta práctica acoplamos la pinza con acople de pistola de pintura.



Identificación de condiciones. Ya establecidas las precondiciones necesarias para iniciar la operación, incluyendo la activación del selector del brazo robótico en modo "ON", sin embargo, aún no se debe activar el compresor, lo que indica que este segundo sistema se encuentra en estado de espera, para iniciar el proceso del pintado de objetos.

Inicialización del sistema. Realizamos todos los pasos que queremos, definimos nuestro sistema y realizamos todos los pasos para que una vez pintemos, nuestro brazo robótico pinte. Para estos fines prácticos académicos y para esta práctica se implementó el rociar con nuestra pistola con cafetera impulsada por el compresor y con movimientos automáticos realizados por nuestro brazo robótico como si fuese pintura, el uso de agua en una superficie de Plywood como se muestra en la siguiente imagen.



Nota Importante. Otra práctica que toma relevancia ya que en muchas industrias de ensamblaje se usan pistolas de gravedad y compresores para realizar acabados, pintura desde cero, entre otros.

Entonces con nuestro ANNIN podemos realizar estas labores para que haya mayor eficiencia laboral y el personal no sufra el riesgo de intoxicación por los químicos de pintura o asfixia por el permanente uso de mascarillas así evitando estos riesgos.

6. Recursos

6.1. Recursos humanos

Tabla 5. *Detalle de los recursos humanos y su aporte en el desarrollo del proyecto.*

Nombre	Función o cargo	Aporte al proyecto
Yordan Alvarado Moreira	Estudiante	Autor
Ing. Marcos Ponce Jara	Docente	Tutor del Proyecto

6.2. Recursos institucionales

Tabla 6. *Detalle de los recursos institucionales y lugar de origen.*

Equipo/laboratorio/software (otros)	Área	Facultad
Módulo completo de procesos industriales específicos con Brazo Robótico AR4 y RaspBerry PI	Laboratorio de controles	Ingeniería
Brazo Robótico AR4	Laboratorio de controles	Ingeniería

6.3. Recursos materiales y económicos

Los recursos materiales y los rubros económicos por invertir en el presente proyecto se detallan en la Tabla 7.

Tabla 7. *Detalle de los recursos materiales y económicos necesarios para la elaboración del proyecto.*

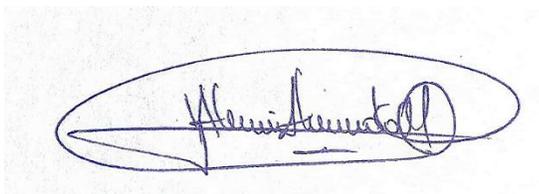
N.º	Descripción	Cantidad U	Valor unitario \$	Valor total \$
-----	-------------	------------	-------------------	----------------

1	Tablero dieléctrico de control industrial 80cmx70cmx20cm	1	158,45	158,45
2	Estructuras con banda transportadora.	1	200	200
3	Cilindro Hidráulico doble efecto	2	31,85	63,7
4	Motor paso a pasa bipolar	2	128,8	257,6
5	Sensor capacitivo npn ljc18a3-b-z/bx 6-36v 300m	1	12,99	12,99
6	Sensor inductivo npn lj18a3-8-z/ax 6-36v	1	11,99	11,99
7	Disyuntor Trifásico, 220 V, 40 A	1	35,67	35,67
8	Disyuntor Bifásico, 220 V, 32 A	2	19,4	38,8
9	Contactador Trifásico, 220 V, 12 A	1	25,6	25,6
10	Luces Piloto	3	19,67	59,01
11	Riel DIM	1	1,804	1,804
12	Canaleta 4cmx6m	1	2,9	2,9
13	Plafón 60cmx60cm	1	16,45	16,45
14	Pulsadores	4	6,8	27,2
15	Hongo de Emergencia	1	19,85	19,85
16	Contactores Auxiliares del Disyuntor	4	3,5	14
17	Relé Térmico	1	35,92	35,92
18	Clavija Macho, 4 Terminales	1	5,95	5,95
19	Prensaestopas	1	2,45	2,45
20	Barra de Tierra, 60 A, 30cm	1	18,56	18,56
21	Conductor 12 AWG	75	1,5	112,5
22	Conductor 12 AWG			
23	Conductor Concéntrico 4x10 AWG	20	1,8	36
24	Cámara Web Cam	2	25	50
25	Palanca de videojuegos Joystick	1	70	70
25	Terminales Bananas	35	1,58	55,3
26	Impresiones 3D	4	120	480
26	TOTAL			1.813

TOTAL: mil ochocientos trece dólares

9. Cronograma

Actividades	Mes																			
	Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Declaración de modalidad de la modalidad de titulación	■	■	■	■																
Notificación de designación a los docentes tutores					■	■	■													
Elaboración del anteproyecto									■	■	■	■	■	■						
Revisión y coerción de anteproyecto con el tutor														■	■					
Entrega de anteproyecto a la comisión académica																	■			
Revisión del par académico y correcciones																				
Aprobación de notificación del anteproyecto de titulación																				

A handwritten signature in blue ink, enclosed within a large, horizontal oval shape. The signature is cursive and appears to read 'Alvarado Moreira Yordan Aldair'. Below the signature is a solid horizontal line.

Alvarado Moreira Yordan Aldair

131370647-3