



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL EN PROCESOS DE
AUTOMATIZACIÓN**

Tema:

**CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT CILÍNDRICO EDUCATIVO BASADO EN
CONCEPTOS DE LA INDUSTRIA 4.0**

Trabajo de Titulación Modalidad: Proyecto de Investigación, presentado previo a la
obtención del título de Ingeniero Industrial en Procesos de Automatización

ÁREA: Electrónica

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Automatización

AUTOR: Alex Germán Altamirano Paredes

TUTOR: Ing. Franklin Salazar, Mg

Ambato - Ecuador

agosto– 2023

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del Trabajo de Titulación con el tema CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT CILÍNDRICO EDUCATIVO BASADO EN CONCEPTOS DE LA INDUSTRIA 4.0, desarrollado bajo la modalidad Proyecto de Investigación por la señor Alex Germán Altamirano Paredes, estudiante de la Carrera de Ingeniería Industrial en Procesos de Automatización, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que la estudiante ha sido tutorada durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 15 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y el numeral 7.4 del respectivo instructivo.

Ambato, agosto 2023.

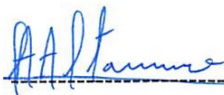
Ing. Franklin Wilfrido Salazar Logroño, Mg.

TUTOR

AUTORÍA

El presente Proyecto de Investigación titulado: CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT CILÍNDRICO EDUCATIVO BASADO EN CONCEPTOS DE LA INDUSTRIA 4.0, es absolutamente original, auténtico y personal. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, agosto 2023.



Alex Germán Altamirano Paredes

C.C. 1805156088

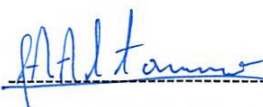
AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación en favor de la Universidad Técnica de Ambato, con fines de difusión pública. Además, autorizo su reproducción total o parcial dentro de las regulaciones de la institución.

Ambato, agosto 2023.



Alex Germán Altamirano Paredes

C.C. 1805156088

AUTOR

APROBACIÓN TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de par calificador del Informe Final del Trabajo de Titulación presentado por la señor Alex Germán Altamirano Paredes, estudiante de la Carrera de Ingeniería Industrial en Procesos de Automatización, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Proyecto de Investigación, titulado CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT CILÍNDRICO EDUCATIVO BASADO EN CONCEPTOS DE LA INDUSTRIA 4.0, nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 17 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y al numeral 7.6 del respectivo instructivo. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con la señora Presidente del Tribunal.

Ambato, agosto 2023.

Ing. Pilar Urrutia, Mg.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Jesús Guamán, Mg.
PROFESOR CALIFICADOR

Ing. Jeanette Ureña Mg
PROFESOR CALIFICADOR

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de titulación a mis abuelitos, Segundo y Elida quien con su apoyo incondicional y consejos han hecho posible el cumplimiento de este objetivo.

A mi hija Sofia quien siempre fue mi motivación para seguir adelante en los momentos difíciles

A mis Padres Angel y Flor que con mucho esfuerzo me dieron la oportunidad de estudiar y seguir mi sueño de ser un profesional.

*Alex Germán Altamirano
Paredes*

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por ser mi fortaleza espiritual y darme el sustento para salir adelante y cumplir mis objetivos.

Agradezco a mi madre y a mi tía Nancy por su apoyo incondicional y por estar conmigo en cada uno de los momentos difíciles.

Agradezco a mis amigos Erika, Wellington, Cyntia y Henry quienes me brindaron su amistad sincera y sin duda sin su ayuda este objetivo no se hubiera cumplido.

*Alex Germán Altamirano
Paredes*

ÍNDICE GENERAL DEL CONTENIDO

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	II
AUTORÍA	III
DERECHOS DE AUTOR	V
APROACION DE TRIBUNAL DE GRADO.....	IV
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO	VII
ÍNDICE GENERAL DEL CONTENIDO	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
RESUMEN EJECUTIVO.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO I – MARCO TEORICO	5
1.1 TEMA DE INVESTIGACIÓN.....	5
1.2 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	5
1.2.1 Contextualización del problema.....	6
1.2.2 Fundamentación teórica	8
1.3 OBJETIVOS	20
1.3.1 Objetivo general.....	20
1.3.2 Objetivos específicos	20
CAPÍTULO II – METODOLOGÍA	21
2.1 MATERIALES	21
2.2 MÉTODOS.....	24
2.2.1 Modalidad de investigación	24
2.3 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	24

2.4 POBLACIÓN Y MUESTRA	25
2.5 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	25
2.6 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	25
CAPÍTULO III – RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
3.1 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	26
3.1.1 <i>Espacio de trabajo del robot</i>	26
3.1.2 <i>Diseño del robot</i>	28
3.1.3 <i>Parámetros DH</i>	32
3.1.4 <i>Diagrama de conexiones</i>	34
3.1.4 <i>Configuración de la etapa de control de ejes</i>	34
3.1.7 <i>Programación para el control manual de ejes</i>	57
3.1.8 <i>Diseño del sistema de monitorización</i>	59
3.1.9 <i>Comunicación del sistema de monitorización</i>	61
3.1.10 <i>Programación del sistema de visión artificial</i>	69
3.1.11 <i>Programación de las secuencias de proceso</i>	71
3.4 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	78
CAPÍTULO IV – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	81
4.1 CONCLUSIONES.....	81
C. MATERIALES DE REFERENCIA	83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
ANEXOS	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Normativa para utilizar en la investigación.....	16
Tabla 2. Parámetros DH para robots cilíndricos.....	18
Tabla 3. Materiales	21
Tabla 4. Tabla de ponderación para criterios de diseño	22
Tabla 5. Ponderación para prioridad.....	22
Tabla 6. Valores de selección para el Controlador Lógico Programable	22
Tabla 7. Valores de selección Driver para motor a pasos	23
Tabla 8. Valores de selección moteres a pasos.....	23
Tabla 9. Características del robot cilíndrico	28
Tabla 10. Entradas y salidas del robot cilíndrico.....	35
Tabla 11. salidas del robot cilíndrico.....	78
Tabla 12. Pruebas de funcionamiento.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. PLC S7-1200.....	9
Figura 2. Raspberry Pi.....	9
Figura 3. Cámara web.....	10
Figura 4. Motor paso a paso	10
Figura 5. Driver de motor paso a pasos	11
Figura 6. Finales de carrera	11
Figura 7. Electroimán de 5v	12
Figura 8. Módulo Relay.....	12
Figura 9. Tornillo sin fin.....	12
Figura 10. Planos de un robot en AutoCAD.....	13
Figura 11. Interfaz del software Tia Portal.....	13
Figura 12. Interfaz del software LabVIEW	14
Figura 13. Interfaz de Cadesimu.....	15
Figura 14. Node Red.....	15
Figura 15. Robot cilíndrico.....	17
Figura 16. Robot cilíndrico parámetros DH	17
Figura 17. Sistema inteligente de la investigación	19
Figura 18. Representación en 3 dimensiones del espacio de trabajo de un robot.	26
Figura 19. Dimensiones en cm de las cajas a clasificar.....	26
Figura 20. Dimensiones del recipiente donde se colocarán las piezas clasificadas	27
Figura 21. Espacio de trabajo del robot.....	27
Figura 22. Base del robot con el eslabón de rotación.....	29
Figura 23. Eslabón de elevación.....	30
Figura 24. Eslabón antebrazo	30
Figura 25. Efector final con el portaherramientas	31
Figura 26. Robot Cilíndrico ensamblado.....	31
Figura 27. Robot cilíndrico construido.....	32
Figura 28. Diagrama de conexiones en Cadesimu	34
Figura 29. Crear un nuevo proyecto	34
Figura 30. Agregar un nuevo dispositivo	34

Figura 31. Configuración de la dirección IP del PLC	35
Figura 32. Agregar objeto tecnológico	35
Figura 33. Selección de tecnología Motion Control.....	36
Figura 34. Configuración de parámetros básicos	37
Figura 35. Configuración de parámetros Avanzados, mecánica	37
Figura 36. Configuración de parámetros Avanzados, límites de posición.	38
Figura 37. Configuración general de la dinámica del eje.	39
Figura 38. Configuración de la parada de emergencia de la dinámica del eje.	40
Figura 39. Configuración general del referenciado	40
Figura 40. Configuración de referenciado activo	41
Figura 41. Agregar objeto tecnológico	42
Figura 42. Selección de tecnología Motion Control.....	42
Figura 43. Configuración de parámetros básicos	43
Figura 44. Configuración de parámetros Avanzados, mecánica	44
Figura 45. Configuración de parámetros Avanzados, límites de posición.	45
Figura 46. Configuración general de la dinámica del eje.	46
Figura 47. Configuración de la parada de emergencia de la dinámica del eje.	47
Figura 48. Configuración general del referenciado	47
Figura 49. Configuración de referenciado activo	48
Figura 50. Agregar objeto tecnológico	49
Figura 51. Selección de tecnología Motion Control.....	49
Figura 52. Configuración de parámetros básicos	50
Figura 53. Configuración de parámetros Avanzados, mecánica	50
Figura 54. Configuración de parámetros Avanzados, límites de posición.	51
Figura 55. Configuración general de la dinámica del eje.	52
Figura 56. Configuración de la parada de emergencia de la dinámica del eje.	52
Figura 57. Configuración general del referenciado	53
Figura 58. Configuración de referenciado activo	54
Figura 59. Agregar nuevo bloque	54
Figura 60. Configuración de bloque	55
Figura 61. Entradas bloque FC	55

Figura 62. Agregar bloque MC_Power	56
Figura 63. Configuración de los ejes MC_Power.....	56
Figura 64. Agregar bloque MC_Reset.....	57
Figura 65. Configuración de los ejes MC_Reset.....	57
Figura 66. Agregar nuevo bloque	57
Figura 67. Configuración de bloque.....	58
Figura 68. Agregar el bloque MC_MoveJog.....	58
Figura 69. Configuración de los bloques MC_MoveJog.....	59
Figura 70. Partes de la pantalla nivel 1.....	59
Figura 71. Partes de la pantalla nivel 2 de planta	60
Figura 72. Partes de la pantalla nivel 3 tendencias históricas	60
Figura 73. Partes de la pantalla nivel 3 tendencias en tiempo real.....	61
Figura 74. Agregar canal en servidor OPC.....	61
Figura 75. Escoger el driver	62
Figura 76. Adaptador de red.....	62
Figura 77. Pantalla de resumen.....	63
Figura 78. Agregar Dispositivo	63
Figura 79. Nombre del dispositivo	63
Figura 80. Modelo del controlador	64
Figura 81. Agregar ip del controlador	64
Figura 82. Configurar el número de puerto de comunicación.....	65
Figura 83. Resumen de la configuración del dispositivo.....	65
Figura 84. Añadir Tags.....	66
Figura 85. Configurar las propiedades de los tags.....	66
Figura 86. Tags del servidor OPC	67
Figura 87. Acceso a data binding de la variable.....	67
Figura 88. Configuración data binding.....	68
Figura 89. Acceso a DSTEP Server	68
Figura 90. Enlazar variables del servidor OPC	69
Figura 91. Vision and motion y NI-IMAQ.....	69
Figura 92. Vi necesarios para visión artificial.....	70

Figura 93. Vi para visión artificial.....	70
Figura 94. Agregar el bloque MC_MoveAbsolute.....	71
Figura 95. Configuración el bloque MC_MoveAbsolute.....	71
Figura 96. Secuencia para el color rojo.....	72
Figura 97. Secuencia para el color verde.....	72
Figura 98. Arquitectura de comunicación IoT.....	73
Figura 99. Base de datos con las variables a comunicar con el servidor Iot.....	73
Figura 100. Ejecución de Node-RED en la Raspberry pi.....	74
Figura 101. Agregar IP del PLC en Node-RED.....	74
Figura 102. Agregar las variables a Node-RED.....	75
Figura 103. Conexión de las variables de PLC a Node-RED.....	75
Figura 104. Conexión de las variables a Ubidots.....	76
Figura 105. Agregar widguets en Ubidots.....	76
Figura 106. Selección de variables en Ubidots.....	77
Figura 107. Comunicación del PLC y Ubidots.....	77
Figura 108. Pruebas de Cochran.....	79

RESUMEN EJECUTIVO

Se desarrolló una célula robotizada con un robot cilíndrico educativo que cuenta con tres grados de libertad para controlar el movimiento de tres motores paso a paso. Este sistema se basa en un PLC SIEMENS S7-1200 DC / DC / DC, en donde se diseñó diferentes interfaces para la interacción entre el usuario y el sistema, permitiendo controlar cada tipo de movimiento de forma independiente, ya sea con movimientos simples o secuenciales, utilizando el modo Jog, posicionamiento absoluto y relativo.

Además, el robot cilíndrico puede llevar a cabo un proceso de clasificación por colores, y debido a su flexibilidad, puede ser configurado y programado según las necesidades del usuario para realizar actividades como paletizar, empaquetar o etiquetar.

El sistema didáctico ha sido sometido a pruebas y ha demostrado una efectividad del 97% en el proceso de clasificación por color, lo que resalta la precisión del módulo didáctico en el control implementado.

Es importante mencionar que la industria 4.0 se fundamenta en el uso de tecnologías avanzadas como el Internet de las Cosas (IoT) y la computación en la nube, lo cual demanda la adopción de nuevas plataformas y estándares. El proyecto de investigación se enfocó en desarrollar un sistema de monitorización dinámico e interactivo que permite interactuar con la célula robotizada. Esto posibilita el monitoreo de la célula robotizada desde cualquier parte del mundo.

Palabras clave: Automatización, Robótica, Industria 4.0, Internet de las cosas

ABSTRACT

A robotic cell has been developed with a cylindrical educational robot that has three degrees of freedom to control the movement of three stepper motors. This system is based on a SIEMENS S7-1200 DC/DC/DC PLC. Different interfaces have been designed for the interaction between the user and the system, allowing to control each type of movement independently, either with simple or sequential movements, using the Jog mode, absolute and relative positioning.

In addition, the cylindrical robot can carry out a color classification process, and due to its flexibility, it can be configured and programmed according to the user's needs to carry out activities such as palletizing, packaging or labeling.

The didactic system has been tested and has shown an effectiveness of 97% in the color classification process, which highlights the precision of the didactic module in the implemented control.

It is important to mention that industry 4.0 is based on the use of advanced technologies such as the Internet of Things (IoT) and cloud computing, which demands the adoption of new platforms and standards. The research project focused on developing a dynamic and interactive monitoring system that allows interaction with the robotic cell. This makes it possible to monitor the robotic cell from anywhere in the world.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, estamos inmersos en la era de la Industria 4.0, donde la convergencia de la tecnología y la automatización ha transformado los procesos de fabricación en diversos sectores industriales [1]. En este contexto, la educación desempeña un papel crucial al preparar a las nuevas generaciones para aprovechar las oportunidades y enfrentar los desafíos de esta revolución tecnológica [2]. Con esta visión, el objetivo de esta tesis es desarrollar y construir un robot cilíndrico educativo que se base en los principios y conceptos de la Industria 4.0. Este robot educativo se concibe como una herramienta pedagógica destinada a brindar una comprensión práctica de los fundamentos de la automatización y la integración de sistemas en el contexto de la industria moderna [3].

A lo largo de este estudio, se abordará minuciosamente el proceso de diseño y construcción del robot cilíndrico. Esto incluirá la selección cuidadosa de los componentes electrónicos y mecánicos que conformarán el robot, así como la programación y el control necesarios para su funcionamiento. Además, se prestará especial atención a la capacidad del robot para interactuar con otros dispositivos y sistemas a través de tecnologías de comunicación avanzadas. Una vez completada la construcción del robot cilíndrico, se procederá a realizar una evaluación mediante prueba y error para analizar su funcionalidad, utilidad y capacidad después de haber integrado tecnologías avanzadas, como la visión artificial y un servidor remoto. En primer lugar, la integración de la visión artificial permitirá al robot reconocer y distinguir colores. Esto abrirá un amplio abanico de posibilidades en cuanto a la detección de objetos, la clasificación de elementos y la interacción con su entorno. Se llevarán a cabo pruebas rigurosas para evaluar la precisión y confiabilidad de esta funcionalidad, asegurándose de que el robot sea capaz de identificar y reaccionar correctamente a los colores requeridos en las tareas y actividades planteadas.

Además, se ha implementado una secuencia programada para cada opción planteada. Esto significa que el robot podrá ejecutar una serie de acciones predeterminadas en respuesta a determinadas opciones o comandos. Esta capacidad programada le permitirá realizar tareas específicas de manera autónoma, lo que aumentará su utilidad y versatilidad como herramienta educativa. Se realizarán pruebas exhaustivas para verificar la correcta ejecución de las secuencias programadas, asegurando que el robot responda adecuadamente

a las opciones proporcionadas y realice las acciones correspondientes. Por último, se ha establecido un servidor remoto que permitirá controlar el robot desde cualquier lugar del mundo. Esta funcionalidad brinda la posibilidad de interactuar y controlar el robot a distancia, lo que amplía su alcance y utilidad en entornos educativos. Los usuarios podrán acceder al robot a través de una conexión remota y enviar comandos para su operación. Se realizarán pruebas de conectividad y estabilidad del servidor, asegurando que el control del robot sea eficiente y confiable desde cualquier ubicación.

La evaluación de estas funcionalidades integradas, incluyendo la visión artificial, la secuencia programada y el control remoto, será fundamental para determinar la eficacia y el valor agregado que brindan al robot cilíndrico educativo. Los resultados de esta evaluación permitirán optimizar y perfeccionar estas características, garantizando un desempeño óptimo y una experiencia de aprendizaje enriquecedora para los estudiantes interesados en la industria 4.0 y la automatización.

En resumen, este estudio tiene como objetivo contribuir al campo de la educación tecnológica al proporcionar una propuesta concreta y aplicada para aplicar los conceptos esenciales de la Industria 4.0 a través de la construcción y utilización de un robot cilíndrico educativo.

CAPÍTULO I – MARCO TEORICO

1.1 Tema de investigación

CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT CILÍNDRICO EDUCATIVO BASADO EN CONCEPTOS DE LA INDUSTRIA 4.0

1.2 Antecedentes investigativos

En la investigación SISTEMA INTELIGENTE PARA CONTROL Y MONITORIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN ROBÓTICA USANDO MOTION CONTROL Y VISIÓN ARTIFICIAL SMART CONTROL AND MONITORING SYSTEM OF A ROBOTIC STATION OPERATING WITH MOTION CONTROL AND ARTIFICIAL VISION, se ha diseñado un robot cartesiano paletizador con controles inteligentes para procesos industriales. El robot integra software como Motion Control, LabVIEW y Visión Artificial, y se conecta a través de Profinet. Su diseño incluye un sistema de detección de cajas por color, control inalámbrico y clasificación automática. Los datos se procesan mediante una conexión OPC con los softwares mencionados. La simulación en TiaPortal demostró una precisión de 3 mm. Este robot cartesiano paletizador representa una solución eficiente y precisa para tareas de manipulación y paletizado en entornos industriales, aprovechando tecnologías avanzadas y controles inteligentes [4].

La investigación realizada PROTOTIPO DE UNA ESTACIÓN DE AUTO - LAVADO UTILIZANDO SISTEMAS DE CONTROL INTELIGENTES, se desarrolló un prototipo de estación de autolavado con sistemas inteligentes de control. Se utilizó un controlador lógico programable S7-1200-1214 dc/dc/dc y una Raspberry Pi, conectados mediante Ethernet. Se verificó que la velocidad de transmisión y lectura de datos desde la web hasta el PLC es alta, con tiempos de 2.16 segundos y 860 milisegundos respectivamente. Además, se implementó un pago automático mediante un botón de pago en línea de PayPal. Se agregó un mensaje de alerta que se envía al teléfono móvil, utilizando Twilio como plataforma de comunicación y programando con Node-Red. [5].

Existen investigaciones como DISEÑO DE UN SISTEMA ROBÓTICO CARTESIANO PARA APLICACIONES INDUSTRIALES, el cual desarrollan robots cartesianos para aplicaciones industriales, con el objetivo de realizar operaciones de manipulación de carga

y descarga, evitando el uso de mano de obra por razones de seguridad. El sistema incluye una estructura mecánica, actuadores, elementos de transmisión, unidad de control de movimiento y un efector. En cuanto al control, se implementaron funciones de posicionamiento, control de velocidad y protecciones en el prototipo. Para el control del robot, se eligió el equipo Simovert Máster Drives Motion Control de Siemens, que permite el control de múltiples ejes mediante comunicación Profibus [1].

En investigaciones como DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF AN ARTIFICIAL VISION SYSTEM BASED ON FREE USE LANGUAGES FOR THE COACH SYSTEM PRODUCTS ON THE INTEGRATED MANUFACTURING CENTER (IMC), el cual desarrolla un sistema seleccionador de productos que se basa en la visión artificial a través de la integración de una cámara integrada al software Python que trabaja con las librerías open cv. El funcionamiento se basa en un posicionador de objetos que se encuentra configurado a un sistema de colores RGB frente de la cámara. El sistema, tiene la facilidad de informar a los usuarios si los elementos que se encuentra en este según los colores y la forma correspondiente, obteniendo una manera de clasificación acorde de las necesidades de las plantas de producción. En la presente investigación, se utilizarán todos los aspectos mencionados en los párrafos anteriores en un Sistema inteligente de monitorización y control basados en conceptos de Industria 4.0 [6].

1.2.1 Contextualización del problema

La automatización a nivel mundial ha experimentado un notable crecimiento en los últimos años gracias a los avances en inteligencia artificial y robótica. Según la Federación Internacional de Robótica, la adopción de robots en la industria ha aumentado aproximadamente un 85% entre 2010 y 2019. Se estima que alrededor del 50% de las labores realizadas por los trabajadores podrían ser automatizadas utilizando las tecnologías actuales. La automatización contribuye a mejorar la eficiencia, reducir costos y elevar la calidad de los productos. Sin embargo, también plantea desafíos, como la necesidad de reestructurar empleos. En resumen, la implementación de la automatización está transformando diversos sectores y modelos de negocio a nivel global [7].

Según la Federación Internacional de Robótica, la creación de robots en Europa crece entre un 5% y un 23% anualmente [8]. Este crecimiento se basa en varios factores, como la disminución de profesionales disponibles en los próximos años y la mejora de las empresas en rentabilidad, velocidad de producción y calidad del producto. Por lo tanto, la robotización y la Industria 4.0 son indispensables para sistemas inteligentes [9]. Es crucial que las industrias implementen sistemas automatizados para tareas complejas, mejorando la operabilidad y rentabilidad.

En Ecuador, la automatización ha experimentado un notable progreso en diferentes sectores, como la manufactura, agroindustria, logística y servicios financieros. Se ha adoptado tecnología automatizada para mejorar la productividad, eficiencia y calidad de productos. A pesar de los desafíos, como la capacitación de mano de obra especializada, la automatización sigue siendo una herramienta clave para el desarrollo económico del país. Se han implementado robots y sistemas automatizados en diversas industrias para optimizar procesos y aumentar la competitividad. La búsqueda de soluciones automatizadas continúa en crecimiento, fomentando la modernización y la adaptación de las empresas ecuatorianas a estas tecnologías en evolución.

Los sistemas de control inteligentes, en combinación con la visión artificial, son herramientas esenciales para empresas que desean optimizar recursos y prevenir riesgos para los trabajadores. Estos sistemas evitan la presencia humana en lugares peligrosos y evitan que las personas realicen tareas complejas que puedan afectar su salud, presenta una utilidad teórica, puesto que, una vez finalizado el estudio, servirá como referencia para los futuros proyectos que estén relacionados con la temática, en el mismo aspecto, permitirá una utilidad práctica para investigadores al determinar otras características para estos tipos de robots cilíndricos.

La investigación factible, debido a que se cuenta con los equipos y herramientas necesarias para la ejecución del armado del robot cilíndrico, además se cuenta con el laboratorio de robótica de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato. Los beneficiarios del proyecto de investigación son los estudiantes de la universidad, especialmente los de la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial. Este proyecto les permite mejorar sus destrezas de programación y aprender de

forma práctica las aplicaciones de la robótica en la Industria. Además, las empresas que deseen utilizar sistemas inteligentes para el control de sus plantas operativas también se benefician de este proyecto. Asimismo, los futuros investigadores que necesiten realizar estudios relacionados con esta temática encuentran en el sistema robotizado una alternativa de estudio durante su formación.

El sistema robotizado es similar a los sistemas reales y utiliza equipos presentes en las empresas del sector industrial. Al ser de bajo costo, contribuye significativamente a la factibilidad de uso por parte de los estudiantes, especialmente aquellos que cursan carreras de automatización y robótica.

1.2.2 Fundamentación teórica

Hardware

Controlador Lógico Programable S7-1200

Controlador Lógico Programable (PLC por sus siglas en inglés), es un equipo compacto de alta precisión para automatizar los distintos procesos industriales a través de sus herramientas programables. El hardware presenta versiones estándar y es flexible en rendimiento, además contiene una interfaz integrada, profinet para programación, con conexiones HMI y arquitecturas de datos distribuidas [10].

El PLC consta con las siguientes características:

- Alta capacidad de procesamiento
- Alimentación de 85-264 VAC, 47-63 Hz, 300mA
- PROFINET integrado
- Cuenta con 14 entradas digitales de 24 VDC
- Cuenta con 10 salidas digitales tipo Rly
- Bloques de función para el control de ejes



Figura 1. PLC S7-1200

Raspberry Pi

Es una computadora de bajo costo y con un tamaño compacto, del porte de una tarjeta de crédito, puede ser conectada a un monitor de computador o un TV. Es un pequeño computador que corre un sistema operativo Linux capaz de permitirle a las personas de todas las edades explorar la computación y aprender a programar lenguajes como Scratch y Python.

La Raspberry Pi 3 B+ cuenta con un GPIO de 40 pines, el cual permite el contacto con el mundo exterior, tanto por sensores como con actuadores, en este punto es importante conocer que el GPIO de Raspberry trabaja con un nivel de 3.3V, permite conectar sensores que operan a 5V necesitaras un conversor de niveles lógicos. Debido que el procesador de la Raspberry Pi no tiene un conversor de analógico a digital integrado, por lo tanto, se debe usar un conversor ADC externo adicional [8].



Figura 2. Raspberry Pi

Cámara web

Dispositivo que permite realizar la visión artificial, el cual, a través de sus imágenes, permite al ordenador, como el PLC tomar decisiones en función de la programación realiza y envía señales a un actuador [3].



Figura 3. Cámara web

Motor paso a paso

El motor paso a paso Nema 17 es de tipo bipolar, con un ángulo de paso de $1,8^\circ$, es decir, puede dividir cada una de las revoluciones o vueltas en 200 pasos.

Cada bobinado de los que tiene en su interior soporta 1.2A de intensidad a 4v de tensión, con lo que es capaz de desarrollar una fuerza considerable de 3.2 kg/cm, además al trabajar con ejes permitirá el control de forma precisa del giro y obtener movimientos de precisión [9].



Figura 4. Motor paso a paso

Driver de motor a pasos

Este dispositivo es un controlador profesional para Motores Paso a Paso diseñado para acoplar a un motor de dos fases. El dispositivo es compatible con Arduino y cualquier microcontrolador que pueda generar señales lógicas de 5VDC. El driver tiene un amplio rango de entrada de 9~42VDC y puede manejar una corriente pico de hasta 4 Amperios suficiente para la mayoría de las referencias. Los microswitch presentes en la bornera te permiten configurar la resolución de los pasos y la corriente de salida del motor [11].



Figura 5. Driver de motor paso a pasos

Finales de carrera

Es un sensor electromecánico que detecta la posición de un elemento móvil mediante accionamiento mecánico.

Además de ser los sensores más instalados alrededor del mundo, no dejan de ser sensores de contacto que necesitan estar en contacto físico con el objeto para detectar la llegada de un elemento móvil a una determinada posición [12].



Figura 6. Finales de carrera

Electroimán de 5v

Es un tipo de imán donde el campo magnético es generado por una corriente eléctrica y puede atraer y sostener un peso de 1Kg, además tiene un voltaje de funcionamiento de 3.2 a 5VDC, con una corriente de trabajo máxima y de accionamiento de 200mA y 4.3mA respectivamente [12].



Figura 7. Electroimán de 5v

Módulo Relay

Dispositivo que permite controlar el encendido o apagado de alta potencia, que trabaja con Arduino u otros sistemas digitales [12].



Figura 8. Módulo Relay

Tornillo sin fin

Disposición que transmite el movimiento entre ejes que están en ángulo recto (perpendiculares). Cada vez que el tornillo sin fin da una vuelta completa, la corona que tiene unida avanza un número de dientes igual al número de entradas del sinfin [2].

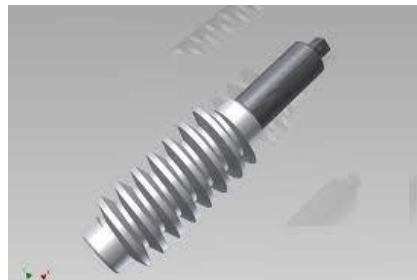


Figura 9. Tornillo sin fin

Software

AUTOCAD

Software asistido por computador que permite el diseño y la construcción de planos 2D y 3D [13].

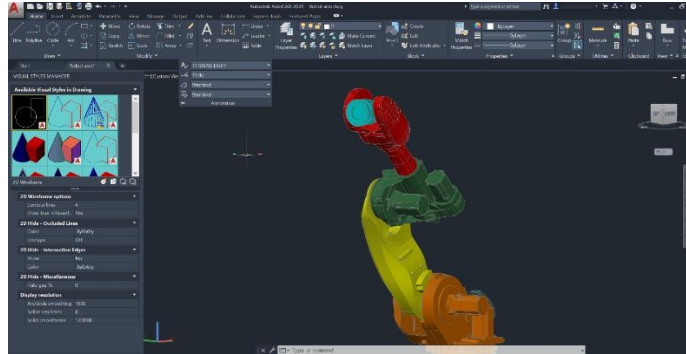


Figura 10. Planos de un robot en AutoCAD

TiaPortal

Sistema ingenieril que permite configurar de forma inteligente y eficiente todos los procesos de producción. Ofrece un entorno de ingeniería unificado para todas las tareas de control, visualización y accionamiento de actuadores. Además, incorpora las nuevas versiones de software **SIMATIC Step 7**, WinCC y Stardrive para la programación, parametrización y diagnóstico de los controladores **SIMATIC**, pantallas de visualización y accionamientos, la nueva versión del sistema de ingeniería **SIMATIC STEP 7** para la planificación, la programación y el diagnóstico de controladores **SIMATIC** [14].

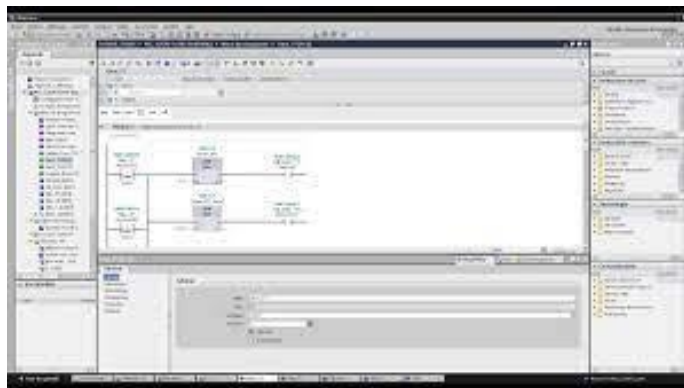


Figura 11. Interfaz del software Tia Portal

LabVIEW

Software que proporciona un potente entorno de desarrollo gráfico para el diseño de aplicaciones de Ingeniería de adquisición de datos, análisis de medidas y presentación de datos gracias a un lenguaje de programación sin la complejidad de otras herramientas de desarrollo [15].

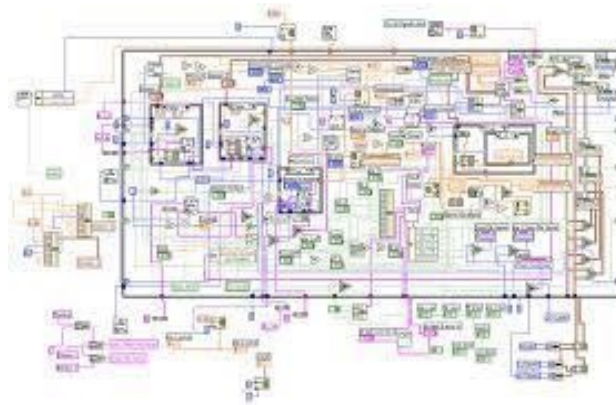


Figura 12. Interfaz del software LabVIEW

KepServer ex

Es una solución de conectividad que adquiere cualquier tipo de dato proveniente de un proceso industrial y lo deja disponible en un formato estándar y seguro para cualquier plataforma de supervisión, monitorización, control o análisis de información [16].

CADESIMU

Software que permite la creación de diagramas eléctricos y electrónicos para la simulación de esquemas de mandos de control y potencia previo al ensamblaje real [17].

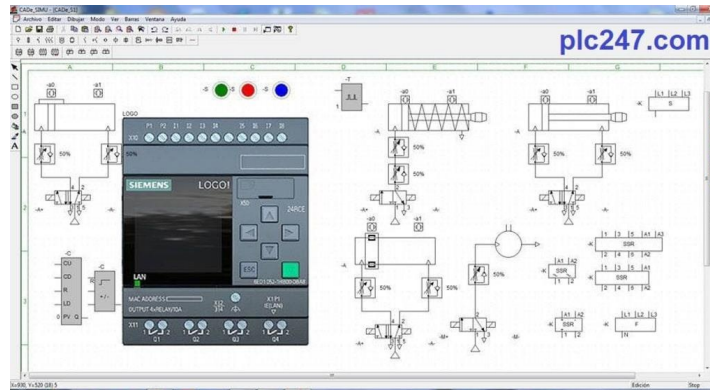


Figura 13. Interfaz de Cadesimu

NODE RED

Node-RED es una plataforma de programación visual de código abierto que permite la conexión y automatización de dispositivos y servicios mediante nodos interconectados en flujos. Con una interfaz gráfica intuitiva, los usuarios arrastran y conectan nodos para definir la lógica de sus aplicaciones, sin necesidad de escribir código. Es especialmente popular en el Internet de las cosas (IoT), facilitando la integración de dispositivos inteligentes y servicios. Ofrece una amplia biblioteca de nodos preconstruidos y es compatible con varias plataformas. Node-RED es flexible, escalable y cuenta con una comunidad activa de soporte y desarrollo de nodos [18].

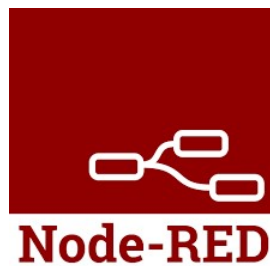


Figura 14. Node Red

UBIDOTS

Ubidots es una plataforma en la nube para IoT que permite conectar, almacenar y analizar datos en tiempo real de dispositivos y sensores. Fundada en 2013, ofrece una interfaz amigable para monitorear y controlar dispositivos conectados, así como crear aplicaciones y paneles personalizados. Los usuarios pueden enviar y gestionar datos desde diversos dispositivos y sensores, además de establecer reglas y alertas

basadas en eventos. Ubidots se utiliza en diversos sectores como agricultura, industria, energía y salud para mejorar la eficiencia y tomar decisiones informadas basadas en datos del Internet de las cosas [19].

Normativa a utilizar

El proyecto de investigación se utiliza la siguiente normativa eléctrica y de nomenclatura vigente que se detalla a continuación:

Tabla 1. Normativa para utilizar en la investigación

Normativa eléctrica		
<i>Norma Internacional IEC 61082: Preparación de la documentación usada en electrotecnia</i>	IEC 61082-1	Requerimientos generales
	IEC 61802-2	Orientación de la función de los esquemas
	IEC 61082-3	Esquemas, tablas y lista de conexiones
	IEC 61082-4	Documentos de localización e instalación
Normativa para el Sistema de monitorización		
<i>Normas ISA</i>	Norma ANSI 5.1	Símbolos generales
		Letras de identificación
		Símbolos de proceso
	Normas ANSI 101	Sistemas de monitoreo
		SCADA
		Interfaces HMI
		Salas de control
		Gestión de alarmas

Robot cilíndrico

Un robot cilíndrico, es aquel que presenta un tipo de articulación giratorio para el movimiento rotacional y una prismática para el movimiento que se da de forma angular alrededor del eje articulado. La articulación giratoria se encuentra en función del movimiento rotacional alrededor del eje común [20]. Son utilizadas de forma recurrente en los procesos de fundición a presión, soldadura por puntos, los procesos de montaje y el transporte de objetos según las características del diseño de la estación industrial [21].

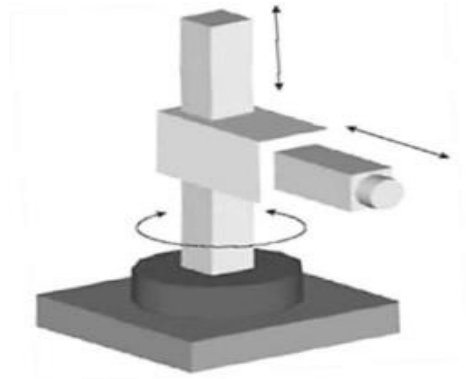


Figura 15. Robot cilíndrico

Cinemática de robot cilíndrico

La cinemática del robot cilíndrico se basa en calcular cual es la posición y la orientación que va a tomar este en cualquier punto del sistema cartesiano, sin tomar en cuenta el peso las fuerzas que se apliquen sobre ellos [22]. Para el cálculo de estas variables se utiliza la representación de Denavit-Hartenberg (D-H) y las matrices de transformación homogénea., como se indica en la figura 11 y tabla 01.

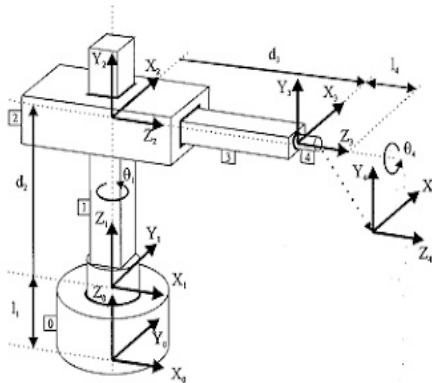


Figura 16. Robot cilíndrico parámetros DH

Tabla 2. Parámetros DH para robots cilíndricos

Eslabón	θ_1	d_1	a_1	α_1
1	θ_1	l_1	0	0
2	0	d_2	$-a_2$	$-\pi/2$
3	0	d_3	0	0
4	θ_4	l_4	0	0

En donde, las variables de articulación son $\theta_1, \theta_4, d_2, d_3$.

Industria 4.0

La Industria 4.0 promete una nueva revolución que combina tecnologías operativas y de fabricación avanzadas con tecnologías inteligentes que se integrarán en organizaciones, personas y activos. Esta revolución se caracteriza por la aparición de nuevas tecnologías como la robótica, la analítica, la inteligencia artificial, la tecnología cognitiva, la nanotecnología y el Internet de las cosas, logrando cohesionarse con la finalidad de desarrollar sistemas inteligentes que permitan la automatización total de los procesos industriales, maximizando sus niveles de producción y rentabilidad [23].

Sistema inteligente

Se definen como una tecnología que opera en un entorno y que posee capacidades cognitivas para el control y la monitorización, capaz de tomar decisiones para alcanzar objetivos marcados, en la figura 17, se detalla el modelo del sistema inteligente para el proyecto de investigación.

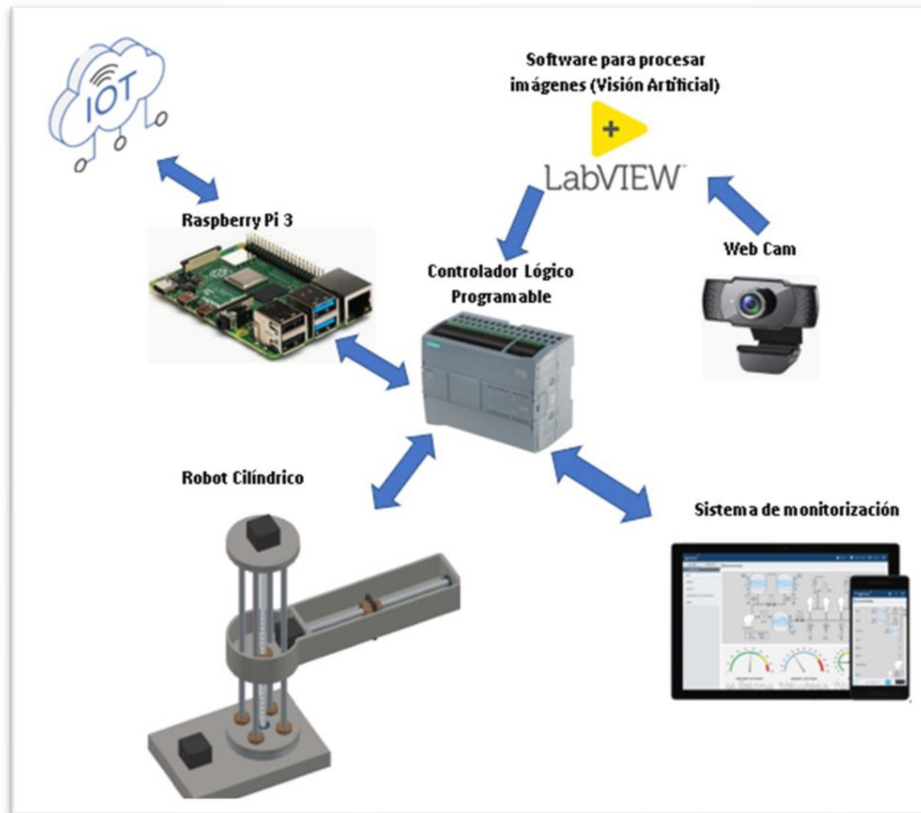


Figura 17. Sistema inteligente de la investigación

Sistema SCADA

Es una herramienta de automatización y control industrial que se utiliza en los distintos procesos operacionales de una empresa, el cual, puede controlar, monitorear, recolectar datos para que genere informes y subsane posibles errores en los sistemas manejados.

El sistema SCADA permite:

- Controlar de manera remota o local distintos procesos industriales
- Procesamiento de datos en tiempo real
- Interacción con dispositivos del sistema (sensores, actuadores, monitores e interfaz HMI)
- Creación de paneles de alarma en caso de fallos en el funcionamiento del sistema

Internet de las cosas

El término IoT hace referencia a los sistemas de dispositivos físicos que reciben y transfieren datos a través de las redes inalámbricas, con poca intervención humana y es posible con la integración de dispositivos informáticos en todo tipo de objetos. El funcionamiento de los sistemas de IoT tradicionales consiste en enviar, recibir y analizar los datos de forma permanente en un ciclo de retroalimentación. Según el tipo de tecnología de IoT, las personas o los sistemas de inteligencia artificial y aprendizaje automático (IA/ML) pueden analizar estos datos casi de inmediato o durante cierto tiempo [23].

Visión artificial

Es un conjunto de métodos y técnicas encaminadas a extraer información útil de imágenes utilizando dispositivos electrónicos programables. Estos sistemas se caracterizan por la implementación y ejecución de tareas de prueba que requieren un alto grado de repetibilidad y flexibilidad. La visión artificial permite percibir los objetos a través de cámaras para interpretar y posteriormente procesarlos con los controladores que dominan el sistema [24].

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Construir un robot cilíndrico educativo basado en conceptos de la Industria 4.0.

1.3.2 Objetivos específicos





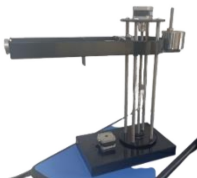
- Diseñar el sistema de automatización para el robot cilíndrico educativo.
- Analizar la arquitectura y determinar los equipos necesarios para la construcción del robot cilíndrico.
- Validar el sistema de automatización para el robot cilíndrico educativo a través de pruebas de funcionamiento.

CAPÍTULO II – METODOLOGÍA

2.1 Materiales

En la tabla 3 se enlista los materiales que se utilizaron para el desarrollo de la investigación.

Tabla 3. Materiales

Materiales	Ilustración	Descripción
Microsoft Word		Microsoft Word es un programa informático orientado al procesamiento de textos.
Celular		Registro de evidencia fotográficas y coordinación de reuniones, también se ocupó como cámara para la visión artificial.
Computador		Máquina electrónica capaz de procesar información, que permite el desarrollo del proyecto.
AutoCAD 2021		AutoCAD es un software de diseño asistido por computadora utilizado para dibujo 2D y modelado 3D, que permite el desarrollo del layout de la empresa.
Node Red		Es una plataforma de programación visual de código abierto que permite conectar y automatizar dispositivos, servicios y aplicaciones mediante nodos interconectados en flujos, simplificando la creación de aplicaciones y flujos de trabajo.
Ubidots		Ubidots es una plataforma en la nube para IoT que conecta, almacena y analiza datos de dispositivos y sensores.
Controlado Lógico Programable		Utilizado en automatización industrial para controlar y supervisar procesos, sirve como controlador del robot cilíndrico.
Estructura metálica		La estructura metálica de un robot cilíndrico se refiere al esqueleto o armazón hecho de materiales metálicos que proporciona la base y soporte para todos los componentes y actuadores del robot.

Selección de Elementos

2.1.1 Elementos Eléctricos

Tabla 4. Tabla de ponderación para criterios de diseño

Ponderación para criterios de diseño				
Inaceptable	Pobre	Moderado	Buena	Excelente
0	1	2	3	4

Tabla 5. Ponderación para prioridad

Ponderación para prioridad		
Baja	Media	Alta
1	2	3

2.1.1.1 Controlador Lógico Programable

Tabla 6. Valores de selección para el Controlador Lógico Programable

		Candidato 1: PLC S7 1200 1214C DC/DC/DC		Candidato 2: PLC Logo V8		Candidato 3: PLC S7 1200 1214C AC/DC/Rly	
Criterio de diseño	Prioridad	Característica Candidato 1	P.	Característica Candidato 2	P.	Característica Candidato 3	P.
Numero de salidas rápidas: mínimo 3	3	4	5	0	0	0	0
Número de entradas: mínimo 9	3	14	5	10	5	14	5
Precio	2	550\$	4	\$200	1	\$450	3
Puntaje		38		17		21	

2.1.1.2 Driver para motor a Pasos

Tabla 7. Valores de selección Driver para motor a pasos

		Candidato 1: Driver Pololu MP6500		Candidato 2: driver HY div268n		Candidato 3: Driver DRV8834	
Criterio de diseño	Prioridad	Característica a Candidato 1	P.	Característica a Candidato 2	P.	Característica a Candidato 3	P.
Voltaje de operación: 24V	3	10V	2	50V	5	35V	5
Corriente máxima por fase: mínimo 2.5A	3	1.5A	1	5A	5	1.5A	2
Microstepping: mínimo 1/16	2	1/8	1	1/16	4	1/32	5
Puntaje		11		38		31	

Selección: Driver HY div268n

2.1.1.3 Motores a pasos

Tabla 8. Valores de selección moteres a pasos

		Candidato 1: Nema 17 4418F-01		Candidato 2: Nema 17 4418L-36		Candidato 3: Nema 17 4418S-01	
Criterio de diseño	Prioridad	Característica Candidato 1	P.	Característica Candidato 2	P.	Característica Candidato 3	P.
Corriente: Máximo 1.7A	3	0.67A	5	2A	3	1.7A	5
Torque: mínimo 0.4Nm	3	0.19Nm	2	0.71Nm	5	0.43Nm	4
Peso:	1	0.159 kg	4	0.386 kg	3	0.25Kg	2
Puntaje		25		27		29	

Selección: Nema 17 4418S-01

2.2 Métodos

Para para el desarrollo de esta investigación se utilizan los siguientes tipos y procedimientos de investigación.

2.2.1 Modalidad de investigación

La investigación empleó las siguientes modalidades de investigación para el desarrollo y cumplimiento de los objetivos planteados.

Investigación aplicada

Se consideró esta investigación ya que su objetivo es abordar problemas o desafíos prácticos del mundo real. Para la construcción del robot cilíndrico educativo se recurrió a las metodologías, procedimientos y conocimientos prácticos adquiridos en los módulos de PLC'S, Redes Industriales, Robótica Industrial y Mecatrónica.

Investigación Bibliográfica – Documental

Se recurrió a esta modalidad, debido a que se basó en la revisión de fuentes primarias y secundarios de información, como; artículos científicos, libros actualizados, tesis de cuarto nivel, patentes, con la finalidad de contar con datos que entreguen fundamento y criterio objetivo para el análisis y discusión sobre la temática a investigar.

Investigación de campo

Es de campo, puesto que se recurrió a los laboratorios de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato y a los equipos que cuenta la institución para la elaboración y desarrolló de la investigación.

Investigación descriptiva

Se utilizó esta modalidad porque, se describió los procedimientos, actividades y funcionamiento del robot cilíndrico acorde de los objetivos planteados de la investigación.

2.3 Enfoque de la investigación

La investigación pretende realizar la monitorización y control de un robot cilíndrico basado en el concepto de industria 4.0, a través de la implementación de un sistema de control de movimiento, visión artificial, pantallas HMI y la utilización de los equipos, herramientas y materiales necesarias para el diseño y construcción del prototipo del robot.

2.4 Población y muestra

Al tratarse del desarrollo de un prototipo de robot cilíndrico, la investigación no necesitó una población o muestra definida.

2.5 Recolección de información

La información recolectada se la obtendrá de fuentes de primer nivel (libros, artículos científicos, tesis, etc.) y los datos que entreguen las pruebas de funcionamiento del robot cilíndrico. Se utiliza como técnica la observación, la descripción del robot mediante el uso de los softwares de control.

2.6 Procesamiento y análisis de datos

La información recolectada se procesó, como se describe a continuación:

- Revisión de la información recolectada y posterior supresión de aquella que no aporte de forma objetiva con la investigación.
- Validación de los datos recolectados a través de pruebas de funcionamiento con el software SPSS.
- Elaboración del informe final con los resultados y conclusiones de la investigación.

CAPÍTULO III – RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de resultados

3.1.1 Espacio de trabajo del robot

El espacio del trabajo del robot es la zona que abarca el robot donde el centro de herramienta del robot puede llegar sin tener problemas significativos como pérdida de precisión colisiones etc.

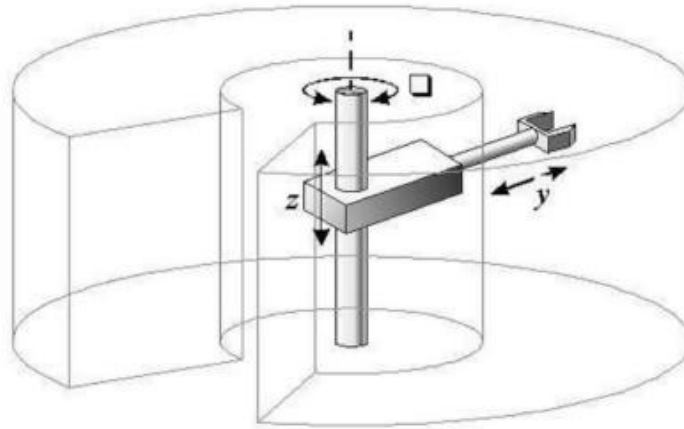


Figura 18. Representación en 3 dimensiones del espacio de trabajo de un robot.

El robot cilíndrico realizará la siguiente actividad: va a clasificar cajas de un volumen de 72cm^3 en recipientes de 1215cm^3 la clasificación será por el color (rojo o verde) de las cajas, la dimensión de la caja será 6cm de largo, 4cm de ancho y 3cm de altura esta será de cartón con recubrimiento metálico en la parte superior, mientras que el recipiente será de 15cm de largo, 9cm de ancho y 9cm de altura y era de madera en su totalidad.

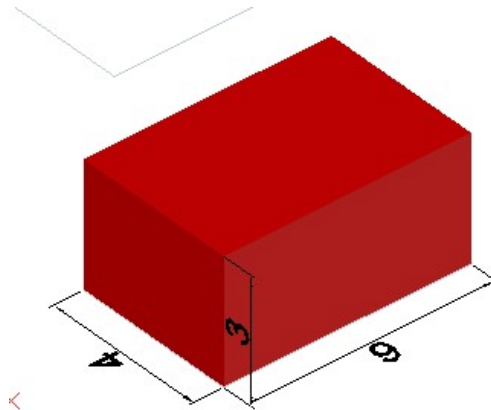


Figura 19. Dimensiones en cm de las cajas a clasificar

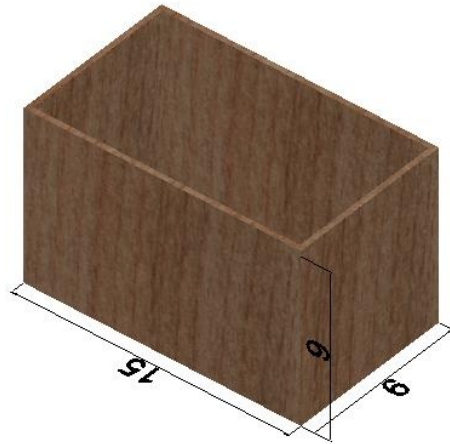


Figura 20. Dimensiones del recipiente donde se colocarán las piezas clasificadas

Para que el espacio de trabajo del robot cilíndrico sea considerado adecuado para realizar la actividad planteada, tiene que poder acceder por completo a todos los elementos de la célula robotizada. En la siguiente imagen se muestra el espacio de trabajo adecuado para que el robot pueda realizar la actividad de manera correcta.

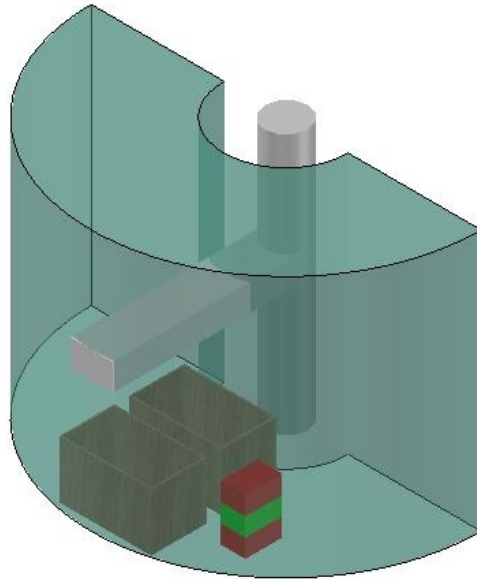


Figura 21. Espacio de trabajo del robot

En la ilustración anterior se puede observar que el espacio de trabajo del robot cubre en la totalidad a los elementos a los que tiene que acceder para realizar la clasificación de las cajas.

Las dimensiones del espacio de trabajo son las siguientes: radio del semicírculo interior es de 10cm, el radio del semicírculo exterior 32cm y altura de 37cm.

Cálculo del área y espacio de trabajo

radio interior = r1 = 10cm

radio exterior = r2 = 32cm

Altura = h = 37cm

$$\text{Área de trabajo} = \frac{r2^2 * \pi}{2} - \frac{r1^2 * \pi}{2}$$

$$\text{Área de trabajo} = \frac{(32cm)^2 * \pi}{2} - \frac{(10cm)^2 * \pi}{2}$$

Área de trabajo = 1451.42cm²

*Espacio de trabajo = Área de trabajo * h*

*Espacio de trabajo = 1451.42cm² * 37cm*

Espacio de trabajo = 53702.54cm³

3.1.2 Diseño del robot

Las características de un robot son los parámetros con las que debe cumplir para realizar la actividad planteada, las características principales son el espacio de trabajo y dimensiones que debe tener el robot para poder acceder a dicho espacio.

Tabla 9. Características del robot cilíndrico

Características del robot cilíndrico	
Área de trabajo	1451.42cm ²
Espacio de trabajo	53702.54cm ³
Longitud de trabajo eje x	22cm
Longitud de trabajo eje z(altura)	37cm
Ángulo de rotación	180°

3.1.2.1 Diseño del eslabón de rotación

El eslabón de rotación es el encargado de rotar el robot este está apoyado en la base que le dará estabilidad y se unirá con el eslabón de elevación, el giro del robot será controlado por un motor a pasos nema 17, el diseño se lo realizo en el software AutoCAD.

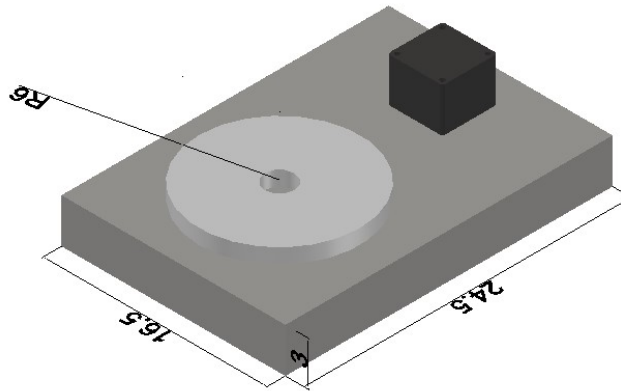


Figura 22. Base del robot con el eslabón de rotación

3.1.2.2 Diseño del eslabón de elevación

El eslabón de elevación es el encargado de subir y bajar al eslabón antebrazo el mismo tiene 4 ejes acerados de un diámetro de 10mm y un motor mema17 en la parte superior, el motor nema 17 está unido con un acople a un tornillo sin fin el cual permite el movimiento vertical del eslabón antebrazo.

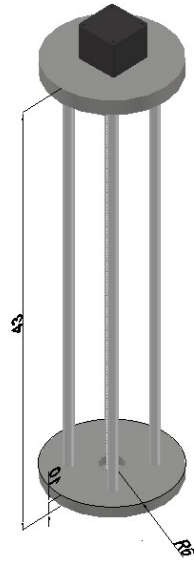


Figura 23. Eslabón de elevación

3.1.2.3 Diseño del eslabón antebrazo

El eslabón antebrazo es el encargado de realizar el movimiento horizontal, este se ubica de forma perpendicular al eslabón de elevación y se mantiene unido a este con un acople para tornillo sin fin, para realizar el movimiento horizontal el eslabón antebrazo posee un motor nema 17 unido a un tornillo sin fin mediante un acople flexible.

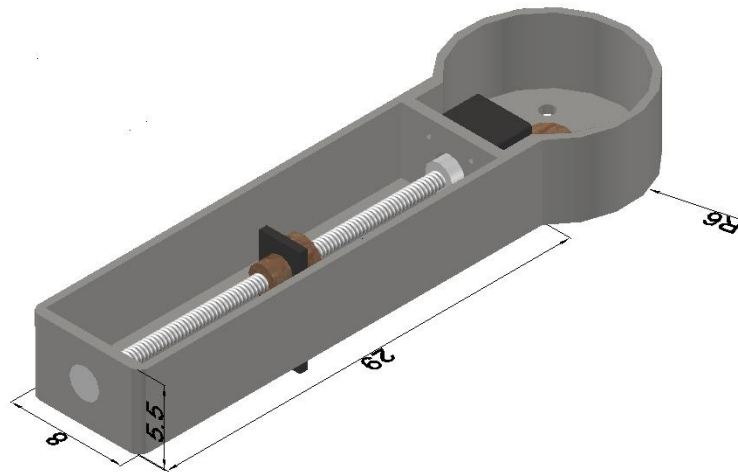


Figura 24. Eslabón antebrazo

3.1.2.4 Efecto final del robot cilíndrico

El robot cilíndrico tendrá por efecto final un electroimán ya que las cajas que tiene que clasificar son imantadas el mismo tendrá que ser anclado al portaherramientas.

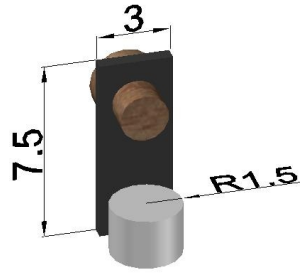


Figura 25. Efector final con el portaherramientas

3.1.2.5 Ensamble de todas las piezas del Robot cilíndrico

El robot cilíndrico consta de 3 motores a pasos nema 17 encargados de mover al robot en el eje x, ejes z y eje rotacional el software donde se dibujó el robot ya ensamblado es AutoCAD.

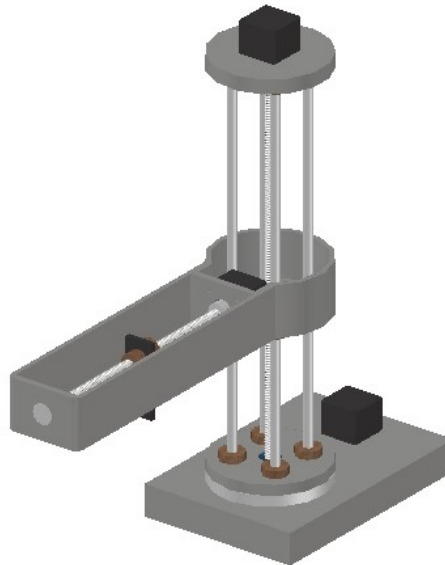


Figura 26. Robot Cilíndrico ensamblado

3.1.2.6 Construcción del robot cilíndrico

El robot cilíndrico se construyó siguiendo los planos diseñados previamente, el robot fue construido con acero de 2.5mm ejes acerados de 10mm.

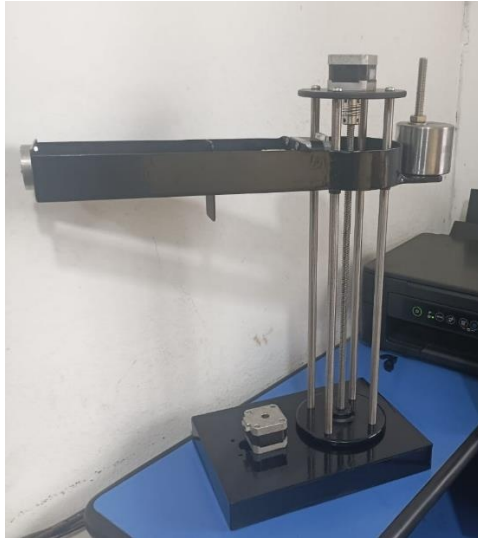
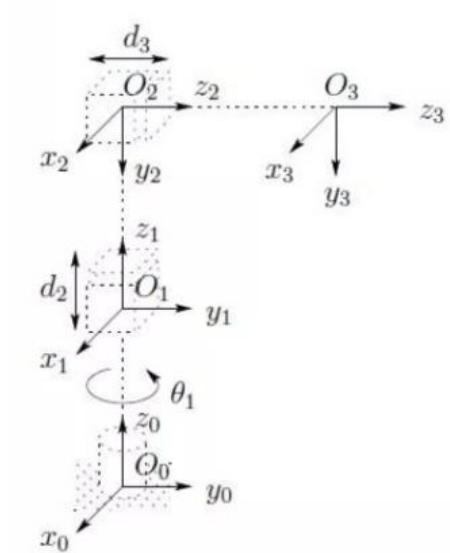


Figura 27. Robot cilíndrico construido

3.1.3 Parámetros DH



Parámetros DH para el robot cilíndrico

j	a_i	α_i	d_i	θ_i
1	0	0	d_1	θ_1^*
2	0	-90	d_2^*	0
3	0	0	d_3^*	0

Matriz de D-H

$$A_i = R_{z,\theta_i} T_{z,d_i} T_{x,\alpha_i} R_{x,a_i}$$

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

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

$$A_1 = \begin{bmatrix} C_1 & -S_1 & 0 & 0 \\ S_1 & C_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_3^0 = A_1 A_2 A_3 = \begin{bmatrix} C_1 & 0 & -S_1 & -S_1 d_3 \\ S_1 & 0 & C_1 & C_1 d_3 \\ 0 & -1 & 0 & d_1 + d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

3.1.4 Diagrama de conexiones Conexión eléctrica en software de simulación

Para asegurar el adecuado desempeño del control bajo el PLC (Controlador Lógico Programable), se utilizó el software Cadesimu para simular las conexiones eléctricas que contiene el sistema.

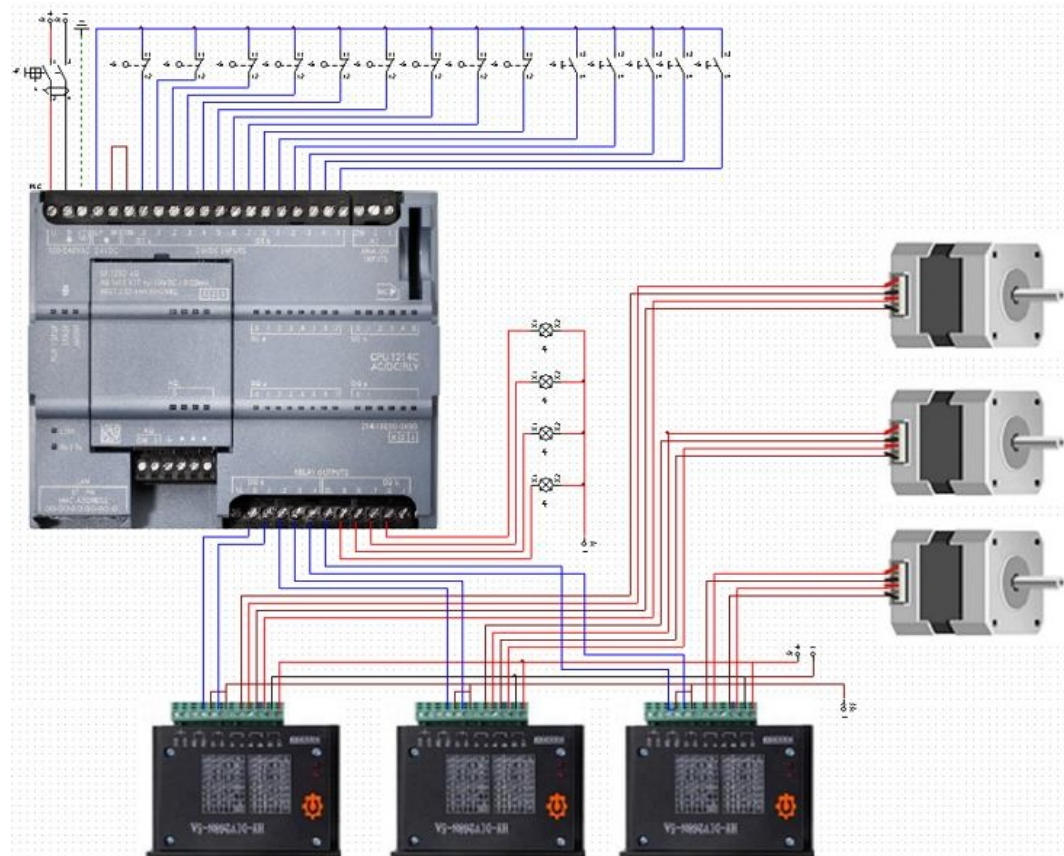


Figura 28. Diagrama de conexiones en Cadesimu

El sistema eléctrico Consta de un PLC, 9 finales de carrera, 5 pulsadores 3 Drivers hy-div268n para control de motores a pasos, 3 motores a pasos y 4 Indicadores de luminosidad. El controlador lógico programable es el encargado de leer todos los sensores procesarlos y enviar acciones de control hacia los actuadores, a continuación, se muestra una tabla con los elementos conectados a las entradas y salidas del PLC.

Tabla 10. Entradas y salidas del robot cilíndrico

Direcciones I/O	Tipo	Elemento
I0.0	Entrada	Final de Carrera + eje X
I0.1	Entrada	Final de Carrera - eje X
I0.2	Entrada	Home X
I0.3	Entrada	Final de Carrera + eje Z
I0.4	Entrada	Final de Carrera - eje Z
I0.5	Entrada	Home Z
I0.6	Entrada	Final de Carrera + eje Rotación
I0.7	Entrada	Final de Carrera - eje Rotación
I1.0	Entrada	Home Rotación
I1.1	Entrada	Start/Stop
I1.2	Entrada	Habilitar Ejes
I1.3	Entrada	Deshabilitar Ejes
I1.4	Entrada	Referenciado
I1.5	Entrada	Reset Ejes
Q0.0	Salida	Eje X impulso
Q0.1	Salida	Eje X sentido
Q0.2	Salida	Eje Y impulso
Q0.3	Salida	Eje Y sentido
Q0.4	Salida	Eje Rotación impulso
Q0.5	Salida	Eje Rotación sentido
Q0.6	Salida	Indicador Start
Q0.7	Salida	Indicador Stop
Q1.0	Salida	Indicador habilitado ejes
Q1.1	Salida	Indicador error ejes

3.1.4 Configuración de la etapa de control de ejes

A continuación se describe de forma detallada la configuración de cada uno de los ejes en el software TIA Portal.

3.1.4.1 Crear un nuevo proyecto y configurar el PLC

1. Iniciamos creando un proyecto nuevo y asignándole un nombre.

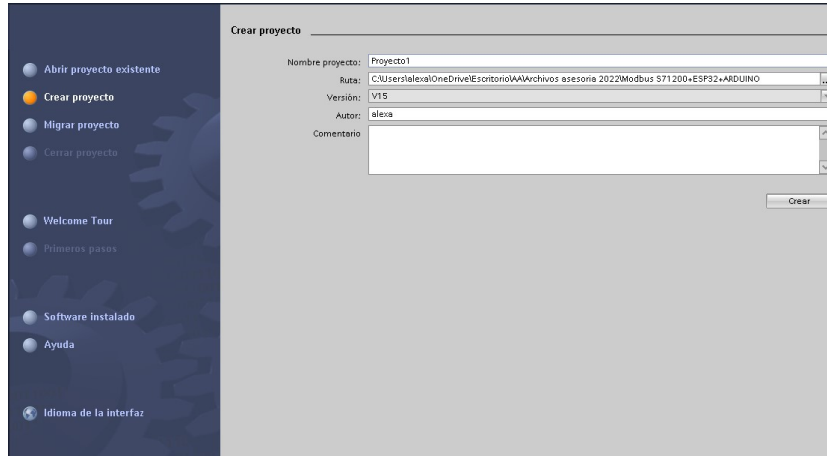


Figura 29. Crear un nuevo proyecto

2. Una vez creado el proyecto nuevo se abrirá una nueva ventana en la que se debe acceder a: dispositivos y redes, agregar dispositivo, seleccionar la CPU S7-1200 1214C DC/DC/DC, una vez ahí se despliega una lista de referencia específica de la CPU requerida, finalmente se oprime el botón agregar y se abrirá la vista general del proyecto.

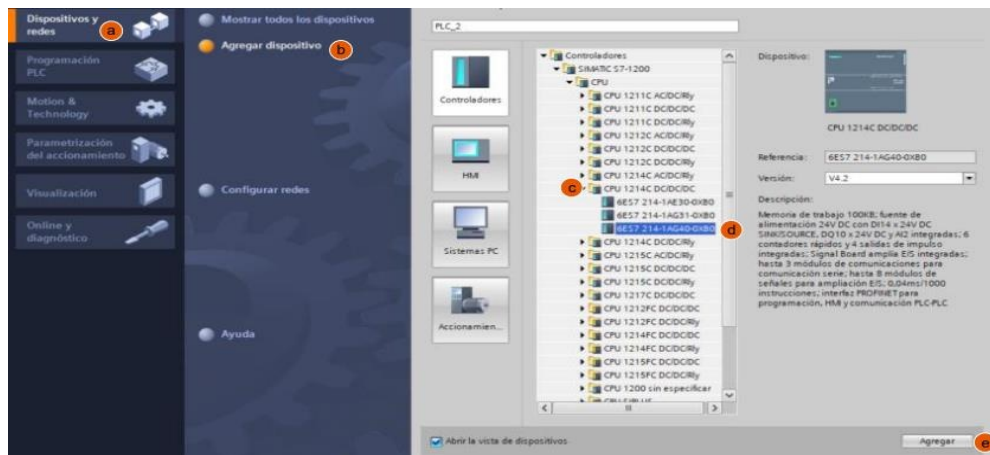


Figura 30. Agregar un nuevo dispositivo

3. Una vez agregado el dispositivo y abierto la vista general del proyecto debemos configurar el dispositivo agregado, para esto daremos clic sobre el PLC, luego en interfaz profinet, finalmente en direcciones Ethernet, ahí agregamos la dirección IP del PLC.

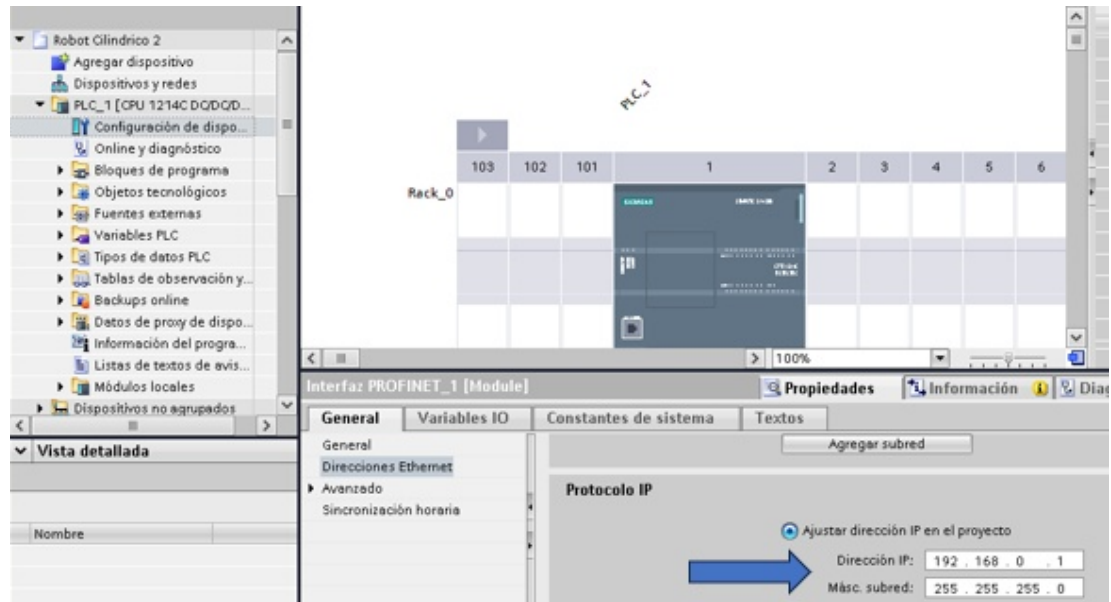


Figura 31. Configuración de la dirección IP del PLC

3.1.4.2 Configuración del eje X

1. Una vez configurado la dirección IP del PLC se procede a abrir la carpeta CPU, seleccionar objetos tecnológicos en el árbol de proyecto y agregar objeto.

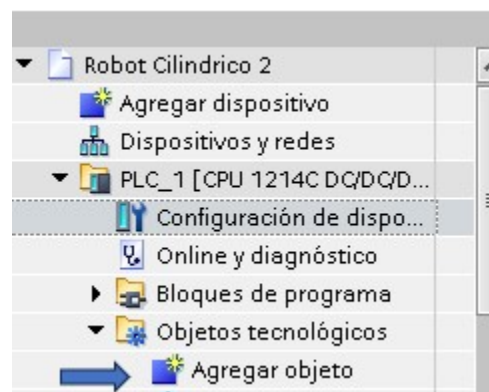


Figura 32. Agregar objeto tecnológico

2. Al dar clic en agregar objeto se abre una ventana de dialogo en la que se va a seleccionar tecnología, Motion Control y finalmente TO_Axis_PTO.

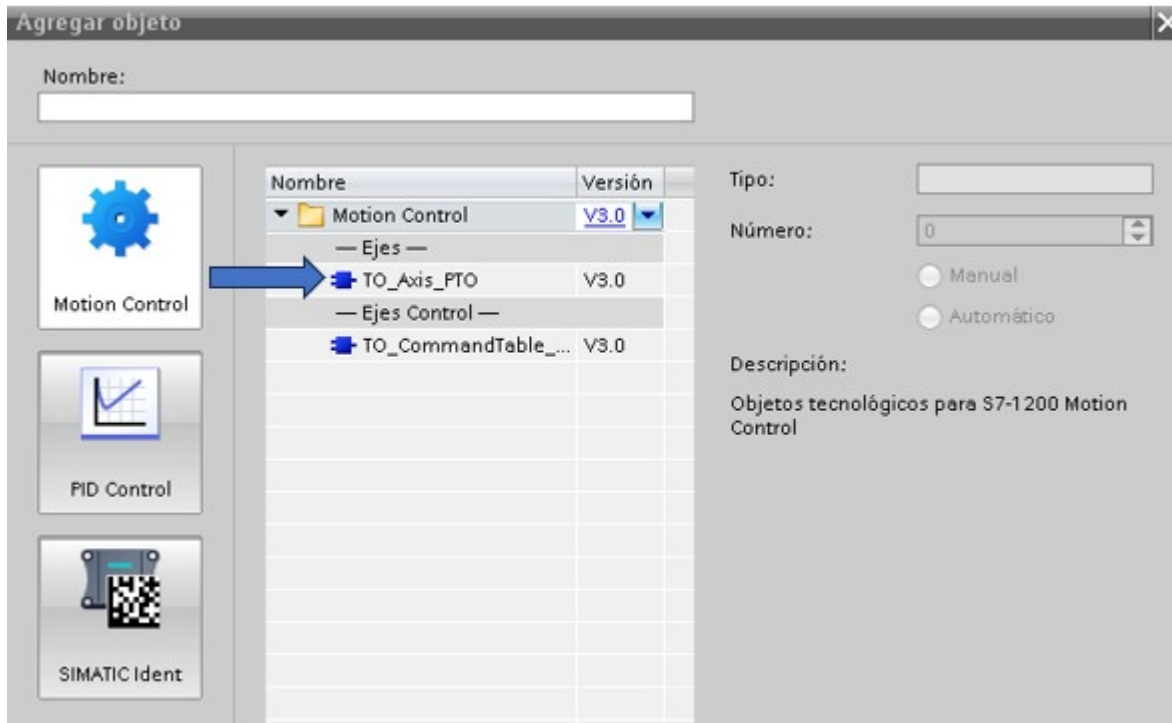


Figura 33. Selección de tecnología Motion Control

3. Una vez seleccionado TO_Axis_PTO. Se abre automáticamente la venta de configuración del Eje, en parámetros básicos en general se configura:
 - a) El generador de pulsos para el eje x utilizaremos el generador de pulsos “Pulse_1”
 - b) Configurar la dirección de la salida de impulsos para el eje X.
 - c) Configurar la dirección de sentido para el eje X.
 - d) Seleccionar la unidad de medida para posición.

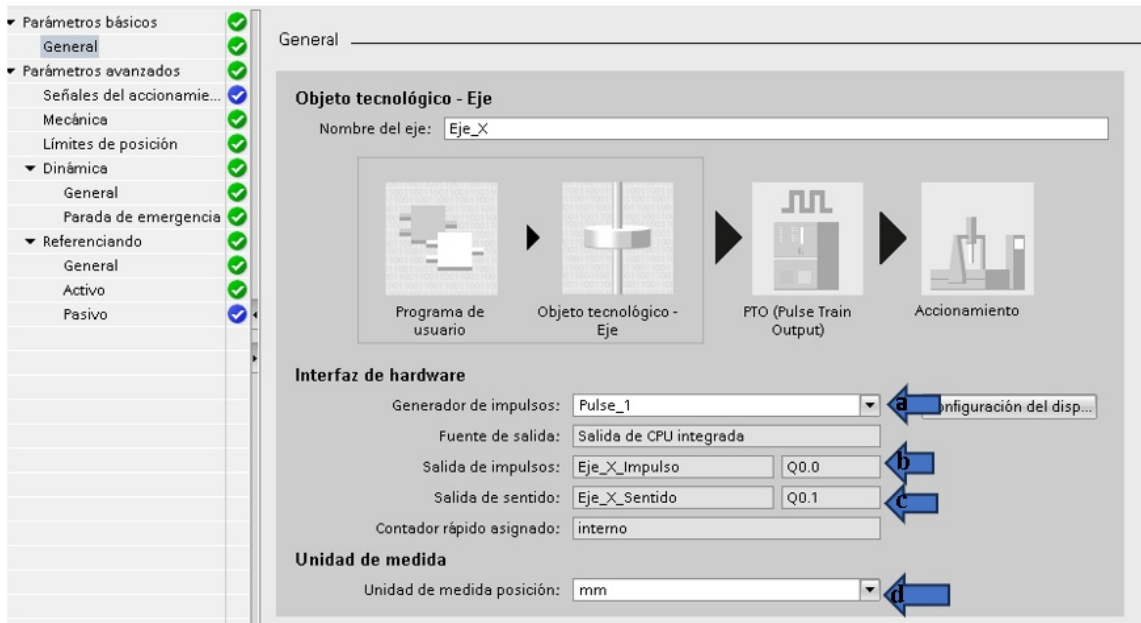


Figura 34. Configuración de parámetros básicos

4. Una vez realizado la configuración de los parámetros básicos se realiza la configuración de parámetros avanzados en la parte mecánica se configura:
 - a) Los impulsos por vuelta del motor.
 - b) El movimiento por vuelta del motor.

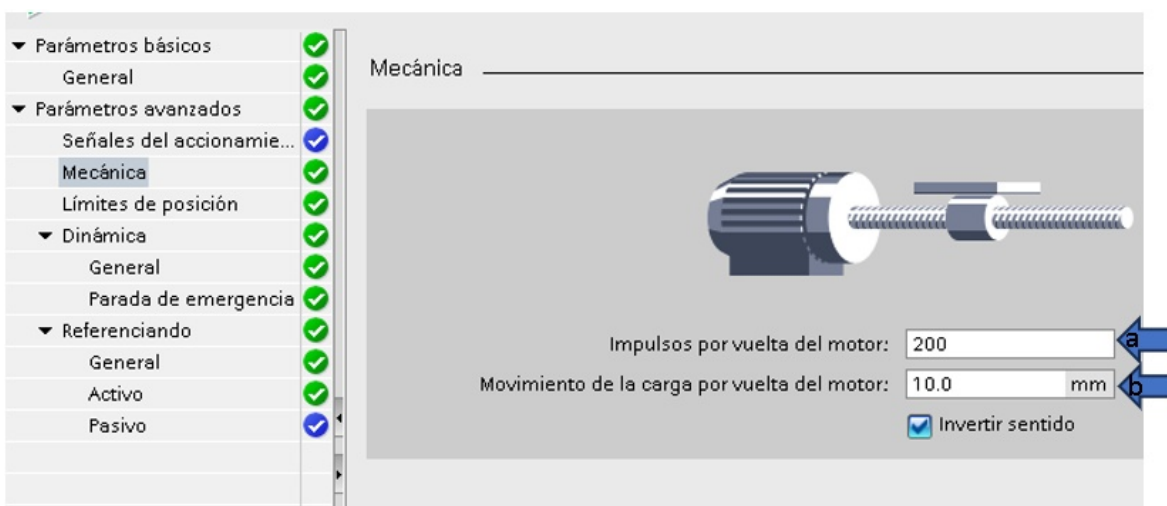


Figura 35. Configuración de parámetros Avanzados, mecánica

5. Después de configurar la mecánica del eje se configura los límites de posición en este apartado se configura:
 - a) El tipo de final de carrera (hardware o software).
 - b) Entrada final de carrera por HW inferior.

- c) El nivel del final de carrera por HW inferior.
- d) Entrada final de carrera por HW superior.
- e) El nivel del final de carrera por HW superior.

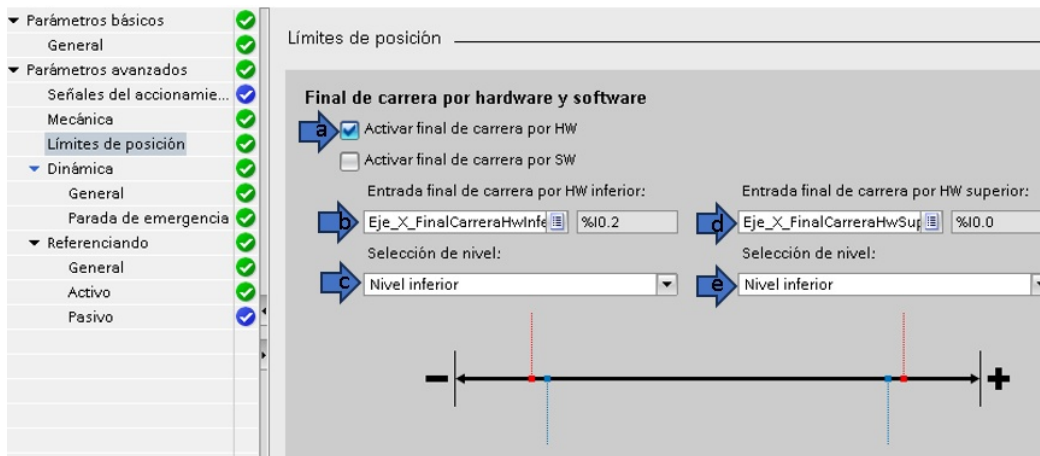


Figura 36. Configuración de parámetros Avanzados, límites de posición.

6. Una vez configurado los parámetros avanzados se configura la dinámica del eje, los parámetros a configurar son los siguientes:
 - a) Unidad de los límites de velocidad.
 - b) Velocidad máxima.
 - c) Velocidad de arranque/parada.
 - d) Aceleración
 - e) Deceleración
 - f) Tiempo de aceleración
 - g) Tiempo de deceleración

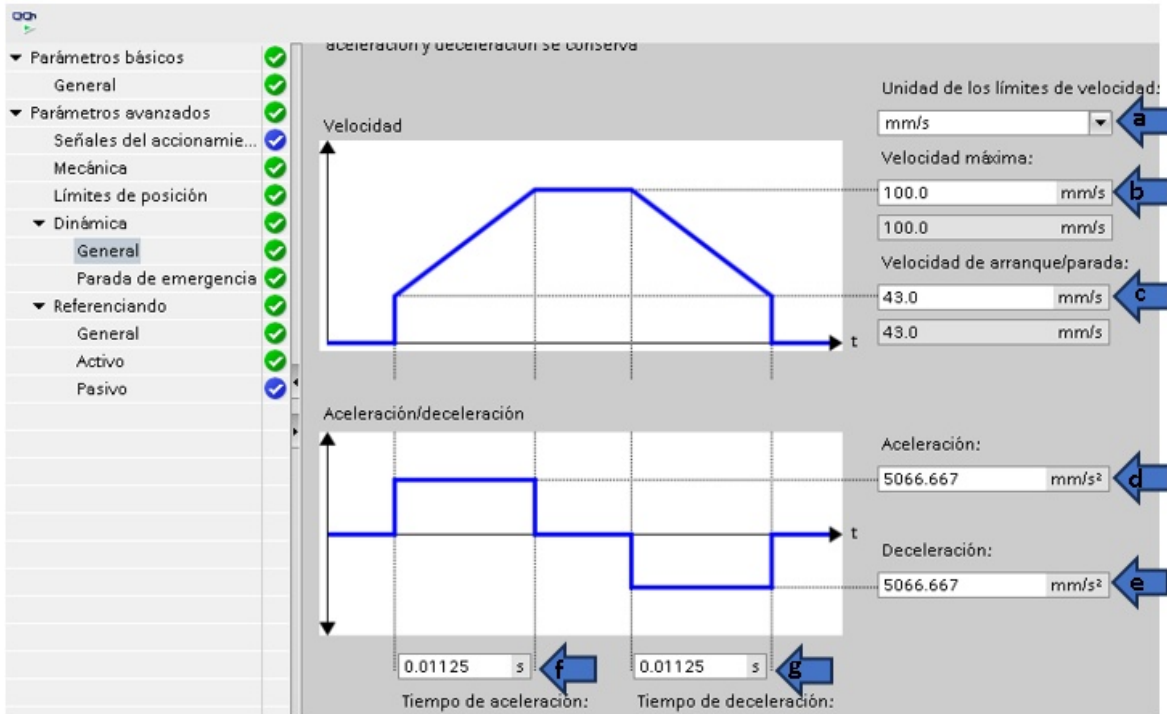


Figura 37. Configuración general de la dinámica del eje.

7. Después de realizar la configuración general de la dinámica del eje se realiza la configuración de la dinámica para la parada de emergencia, los parámetros a configurar son los siguientes.
 - a) Velocidad máxima
 - b) Velocidad de arranque/parada
 - c) Deceleración de parada de emergencia
 - d) Tiempo de deceleración de parada de emergencia

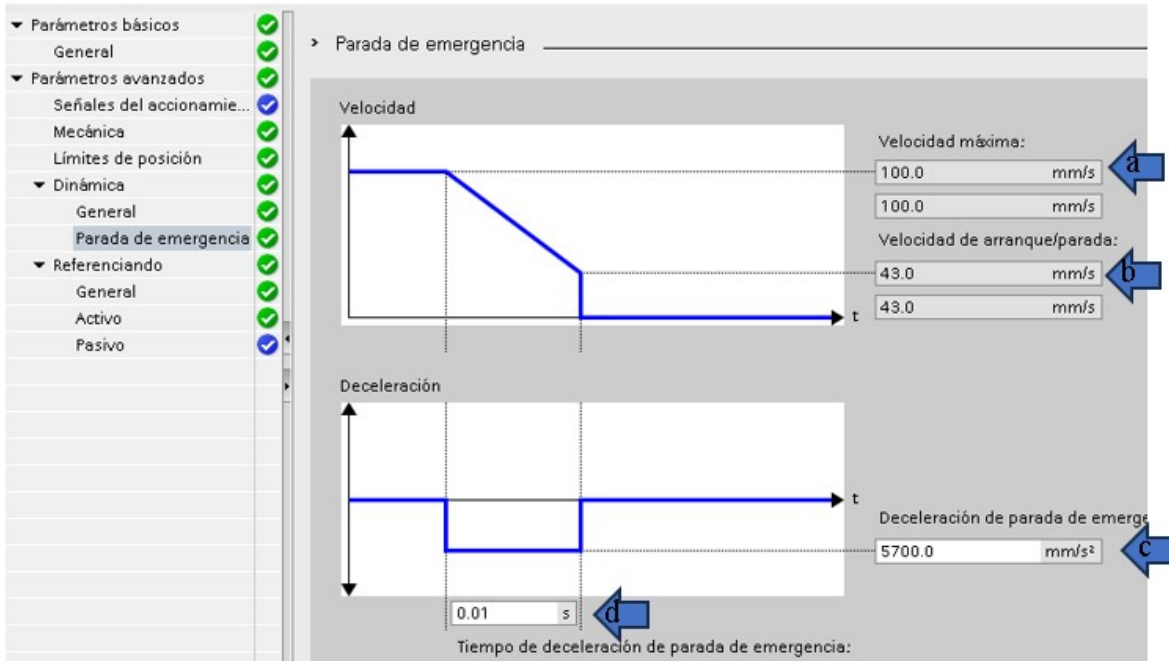


Figura 38. Configuración de la parada de emergencia de la dinámica del eje.

8. Una vez configurado la parada de emergencia se configura el referenciado, la configuración general del referenciado, los parámetros o configurar son los siguientes.
 - a) Entrada del sensor del punto de referencia
 - b) Selección del nivel del sensor del punto de referencia

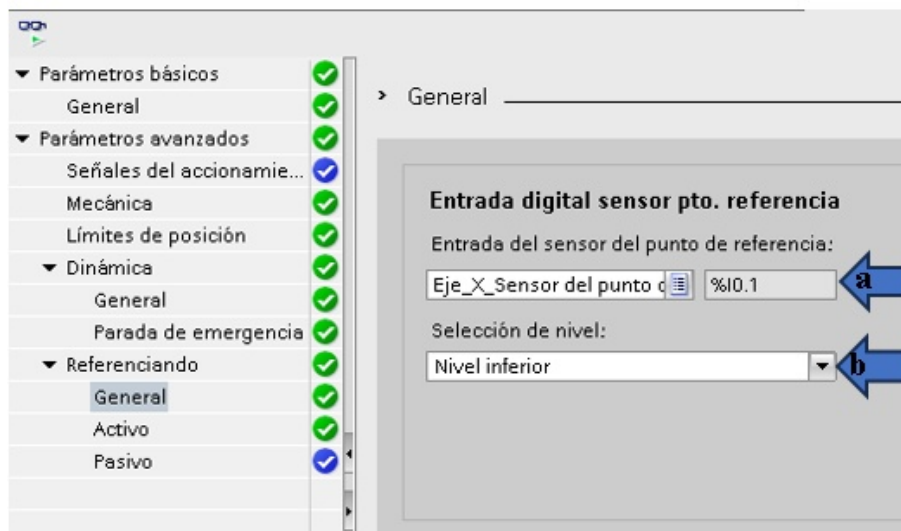


Figura 39. Configuración general del referenciado

9. Una vez realizada la configuración general del referenciado se configura el referenciado activo, los parámetros a configurar son:
- Sentido de aproximación/referencia
 - Lado del sensor del punto de referencia
 - Velocidad de aproximación
 - Velocidad de búsqueda del punto de referencia
 - Decalaje del punto de referencia

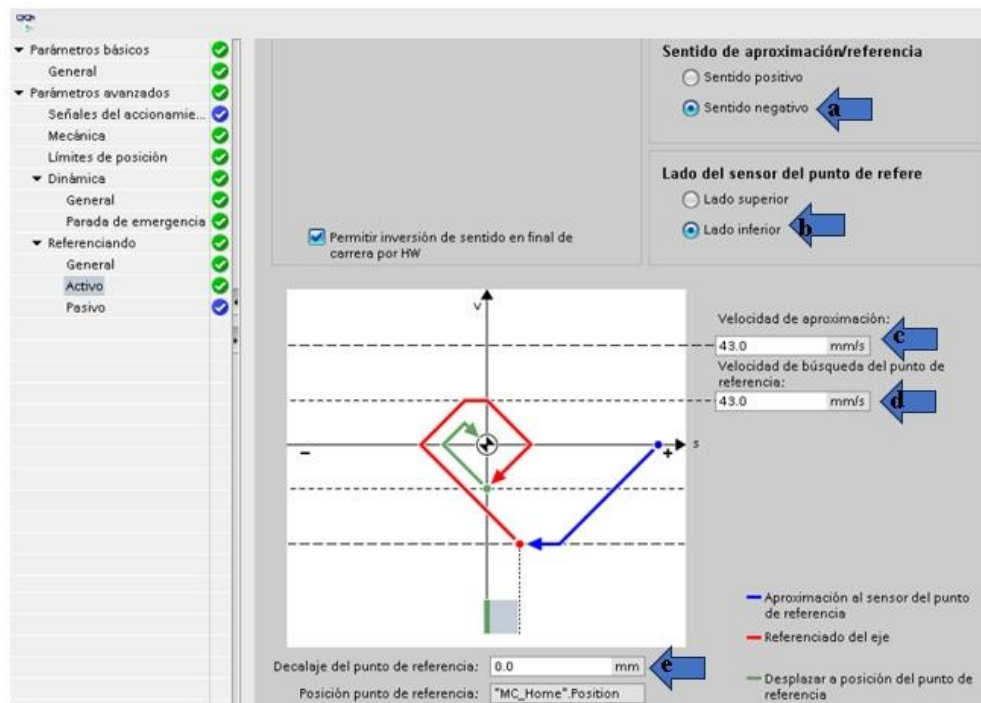


Figura 40. Configuración de referenciado activo

3.1.4.3 Configuración del eje Z

1. Una vez se configuro el eje X se procede agregar un nuevo objeto tecnológico.

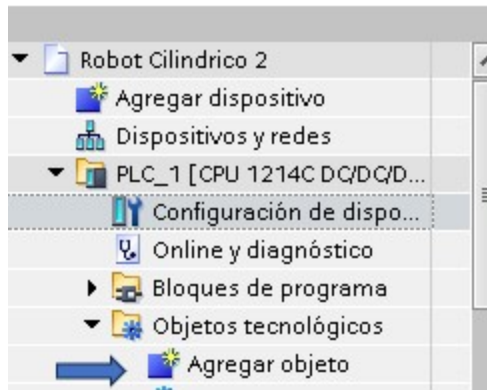


Figura 41. Agregar objeto tecnológico

2. Al dar clic en agregar objeto se abre una ventana de dialogo en la que se va a seleccionar tecnología, Motion Control y finalmente TO_Axis_PTO.

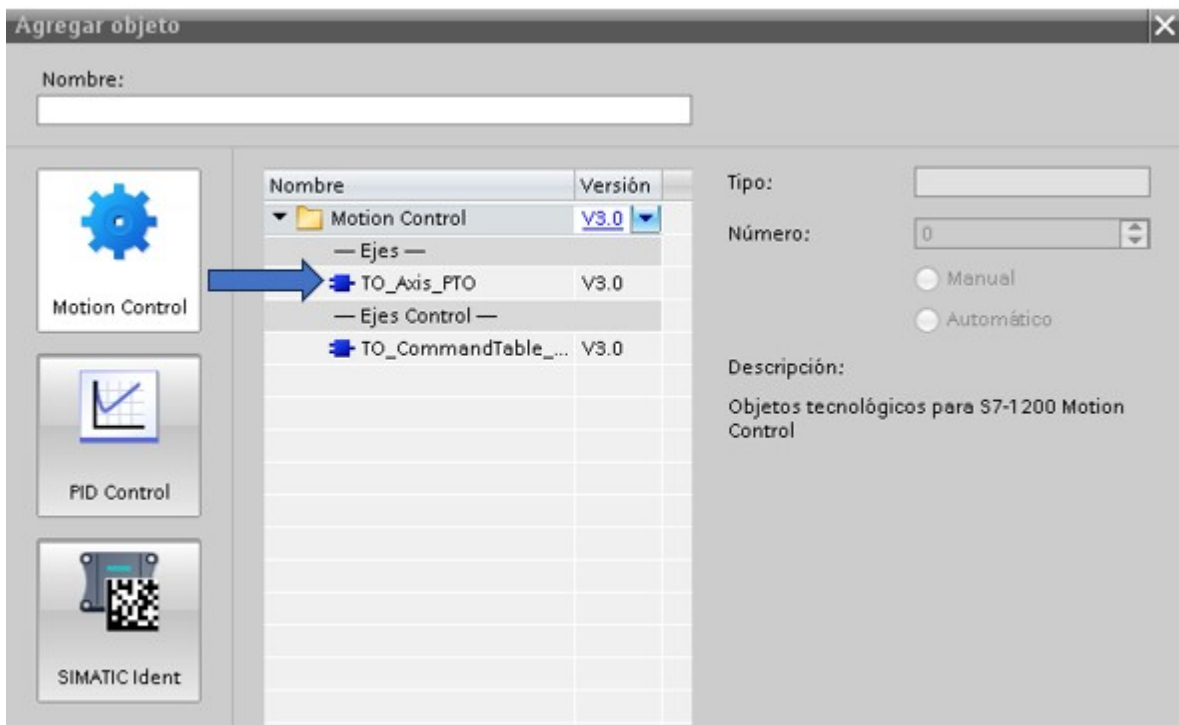


Figura 42. Selección de tecnología Motion Control

3. Una vez seleccionado TO_Axis_PTO. Se abre automáticamente la venta de configuración del Eje, en parámetros básicos en general se configura:
 - a) El generador de pulsos para el eje x utilizaremos el generador de pulsos “Pulse_2”
 - b) Configurar la dirección de la salida de impulsos para el eje Z.
 - c) Configurar la dirección de sentido para el eje Z.
 - d) Seleccionar la unidad de medida para posición.



Figura 43. Configuración de parámetros básicos

4. Una vez realizado la configuración de los parámetros básicos se realiza la configuración de parámetros avanzados en la parte mecánica se configura:
 - a) Los impulsos por vuelta del motor.
 - b) El movimiento por vuelta del motor.

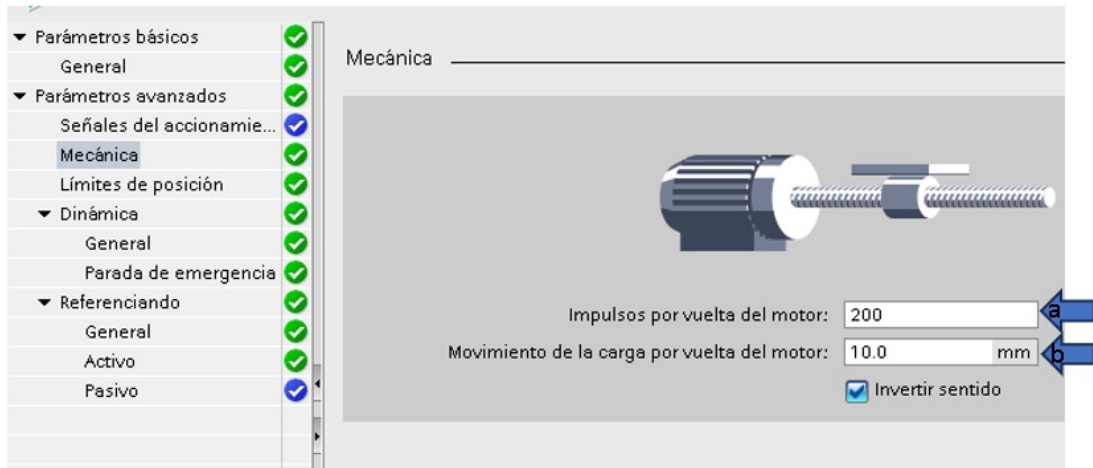


Figura 44. Configuración de parámetros Avanzados, mecánica

5. Después de configurar la mecánica del eje se configura los límites de posición en este apartado se configura:
 - a) El tipo de final de carrera (hardware o software).
 - b) Entrada final de carrera por HW inferior.
 - c) El nivel del final de carrera por HW inferior.
 - d) Entrada final de carrera por HW superior.
 - e) El nivel del final de carrera por HW superior.

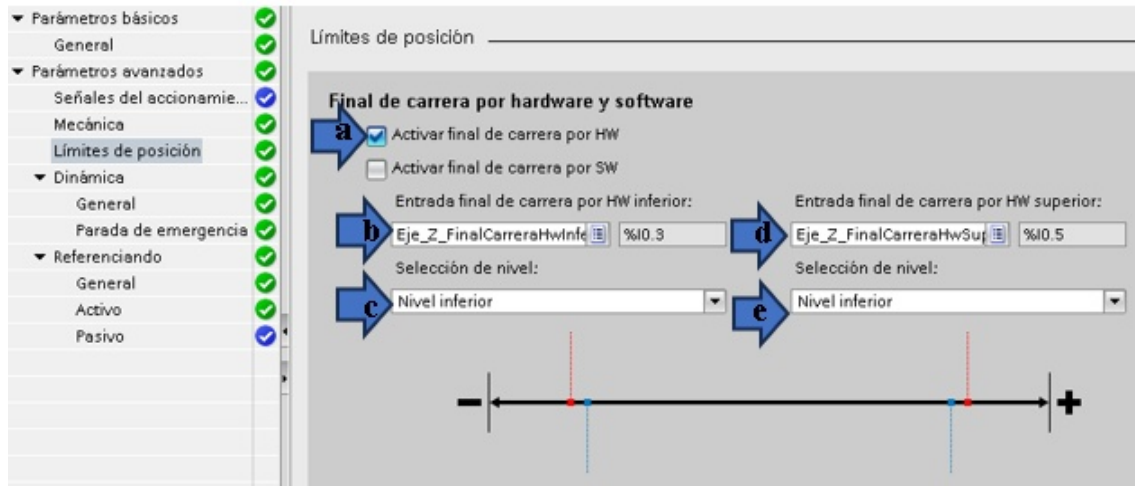


Figura 45. Configuración de parámetros Avanzados, límites de posición.

6. Una vez configurado los parámetros avanzados se configura la dinámica del eje, los parámetros a configurar son los siguientes:
 - a) Unidad de los límites de velocidad.
 - b) Velocidad máxima.
 - c) Velocidad de arranque/parada.
 - d) Aceleración
 - e) Deceleración
 - f) Tiempo de aceleración
 - g) Tiempo de deceleración

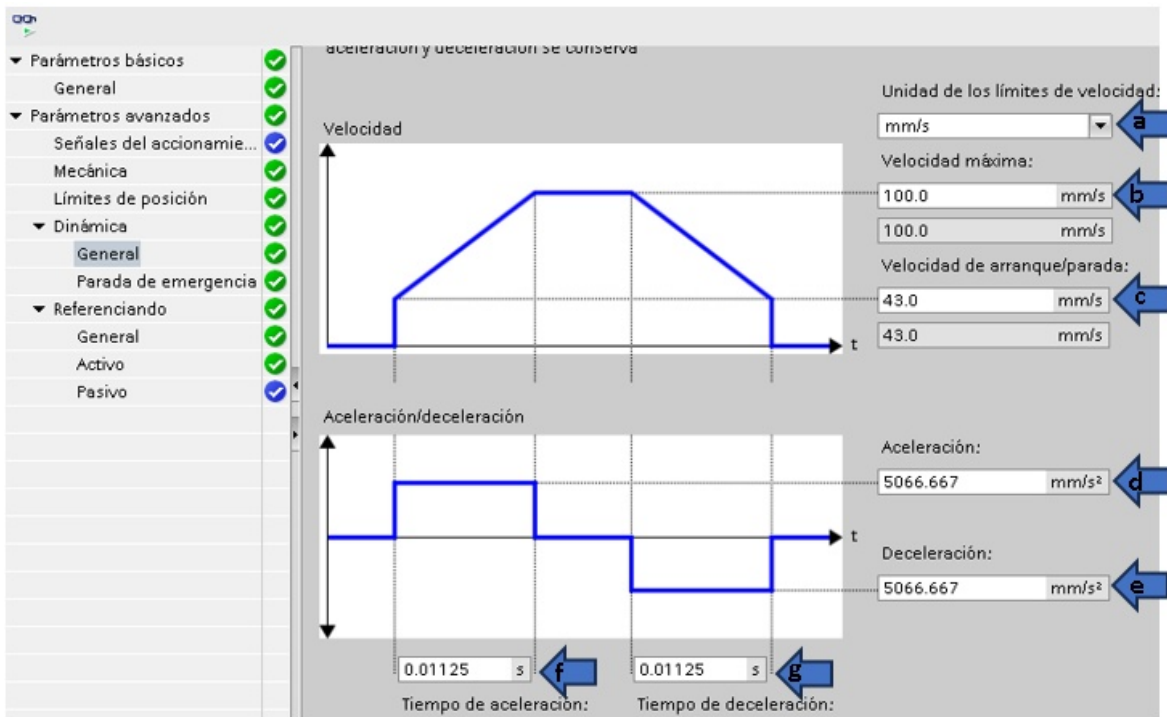


Figura 46. Configuración general de la dinámica del eje.

7. Después de realizar la configuración general de la dinámica del eje se realiza la configuración de la dinámica para la parada de emergencia, los parámetros a configurar son los siguientes.
 - a) Velocidad máxima
 - b) Velocidad de arranque/parada
 - c) Deceleración de parada de emergencia
 - d) Tiempo de deceleración de parada de emergencia

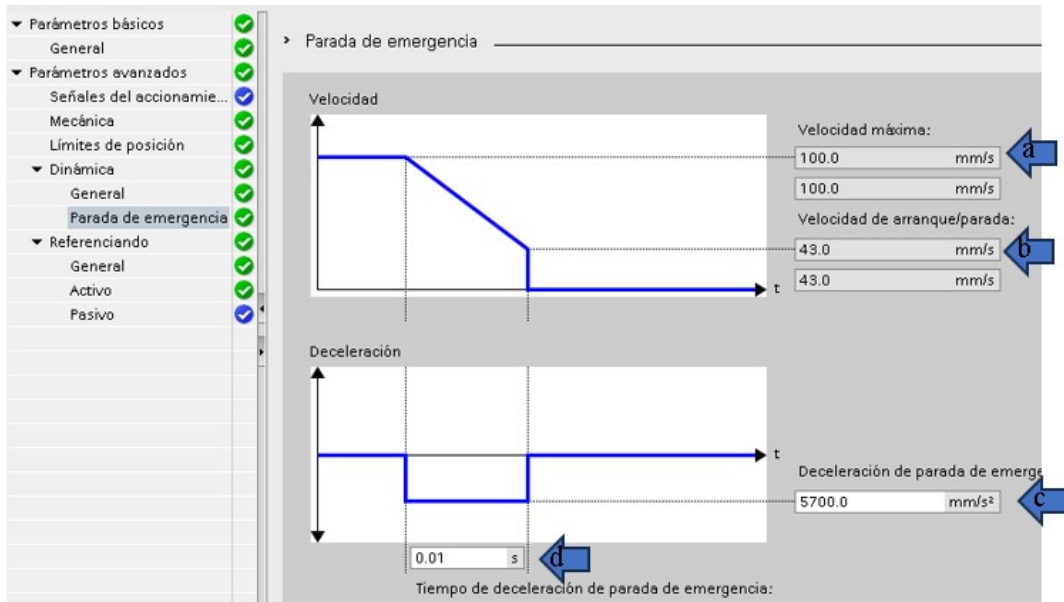


Figura 47. Configuración de la parada de emergencia de la dinámica del eje.

8. Una vez configurado la parada de emergencia se configura el referenciado, la configuración general del referenciado, los parámetros o configurar son los siguientes.
 - a) Entrada del sensor del punto de referencia
 - b) Selección del nivel del sensor del punto de referencia

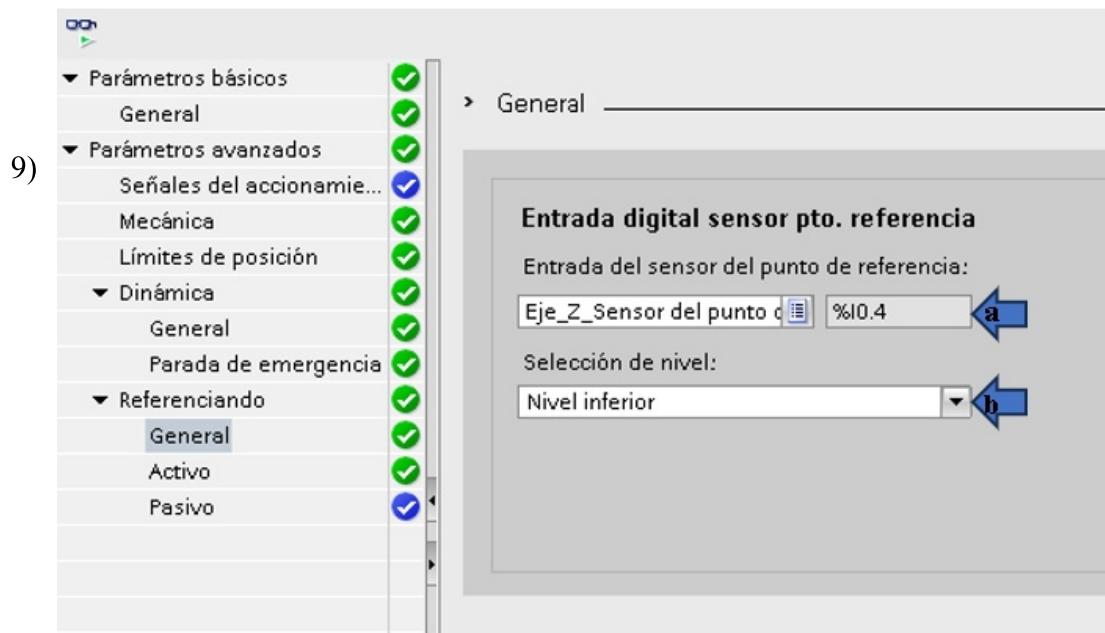


Figura 48. Configuración general del referenciado

alizada la configuración general del referenciado se configura el referenciado activo, los parámetros a configurar son:

- a) Sentido de aproximación/referencia
- b) Lado del sensor del punto de referencia
- c) Velocidad de aproximación
- d) Velocidad de búsqueda del punto de referencia
- e) Decalaje del punto de referencia

3.1.4.4 Configuración del eje rotatorio

1. Una vez se configuro el eje X se procede agregar un nuevo objeto t

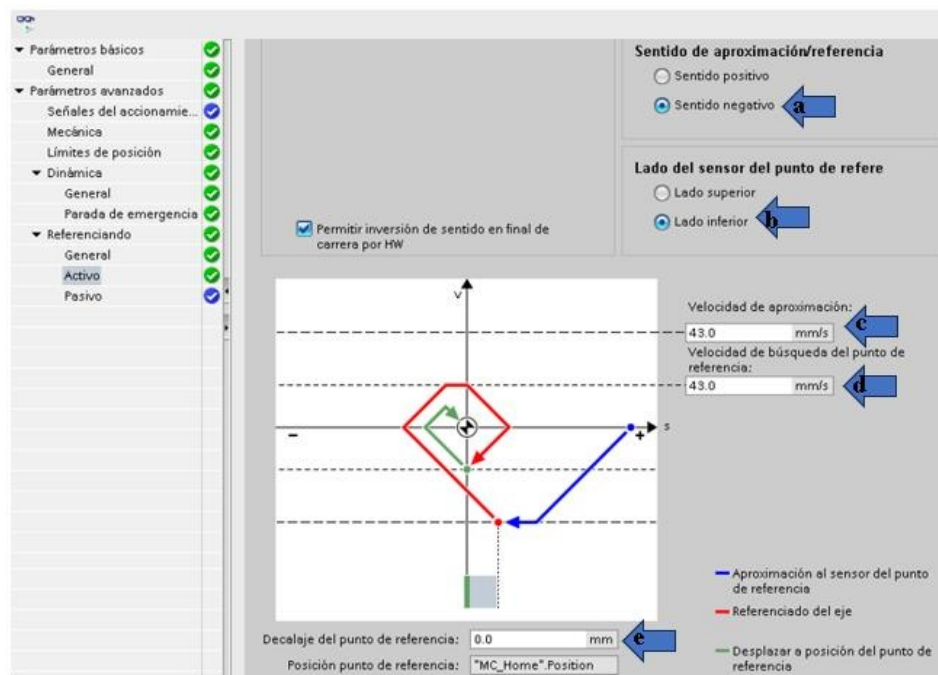


Figura 49. Configuración de referenciado activo

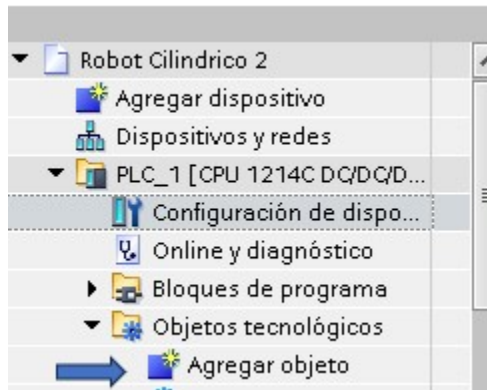


Figura 50. Agregar objeto tecnológico

2. Al dar clic en agregar objeto se abre una ventana de dialogo en la que se va a seleccionar tecnología, Motion Control y finalmente TO_Axis_PTO.

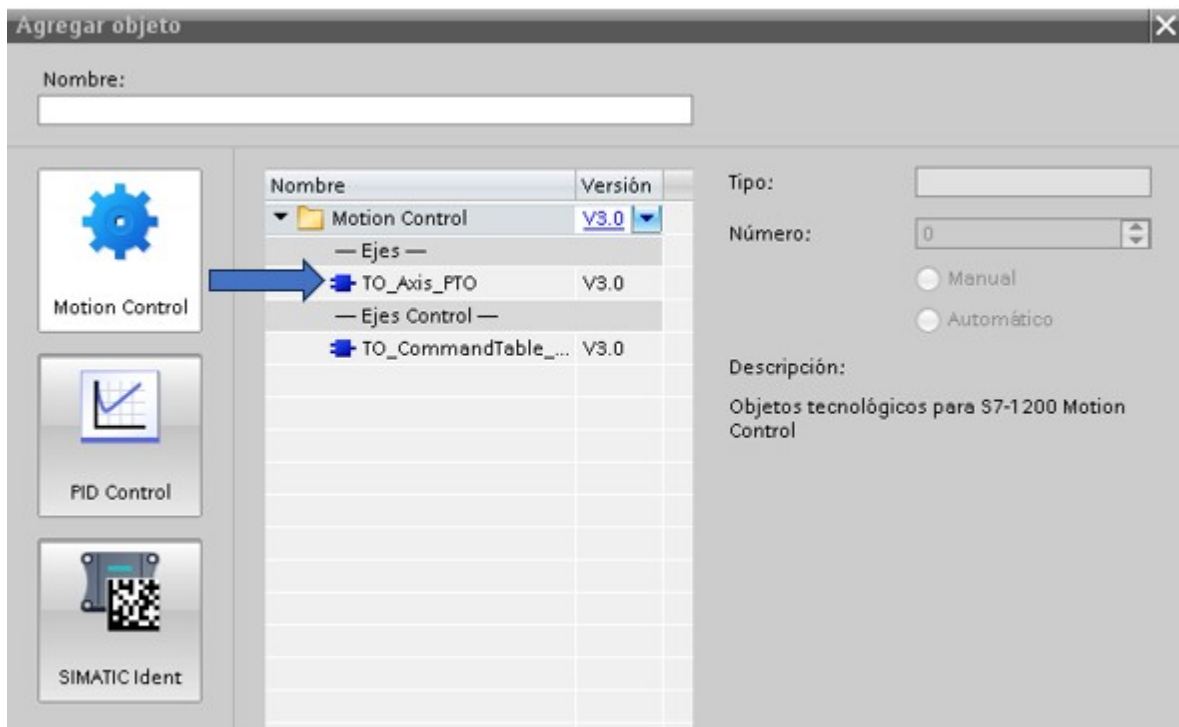


Figura 51. Selección de tecnología Motion Control

3. Una vez seleccionado TO_Axis_PTO. Se abre automáticamente la venta de configuración del Eje, en parámetros básicos en general se configura:
 - a) El generador de pulsos para el eje x utilizaremos el generador de pulsos “Pulse_3”
 - b) Configurar la dirección de la salida de impulsos para el eje Rotacional.

- c) Configurar la dirección de sentido para el eje Rotacional.
- d) Seleccionar la unidad de medida para posición.



Figura 52. Configuración de parámetros básicos

- 4. Una vez realizado la configuración de los parámetros básicos se realiza la configuración de parámetros avanzados en la parte mecánica se configura:
 - a) Los impulsos por vuelta del motor.
 - b) El movimiento por vuelta del motor.

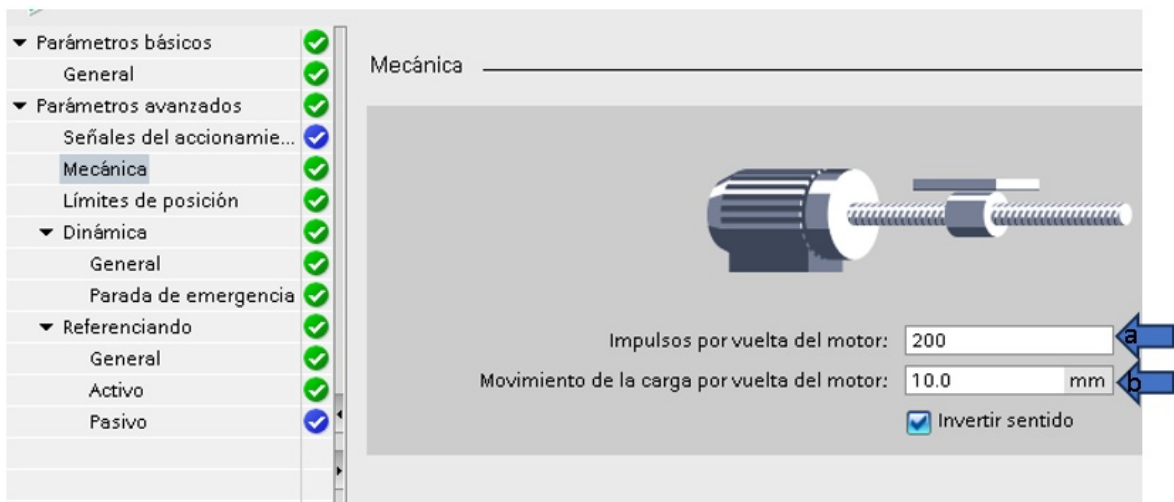


Figura 53. Configuración de parámetros Avanzados, mecánica

- 5) Después de configurar la mecánica del eje se configura los límites de posición en este apartado se configura:
- El tipo de final de carrera (hardware o software).
 - Entrada final de carrera por HW inferior.
 - El nivel del final de carrera por HW inferior.
 - Entrada final de carrera por HW superior.
 - El nivel del final de carrera por HW superior.

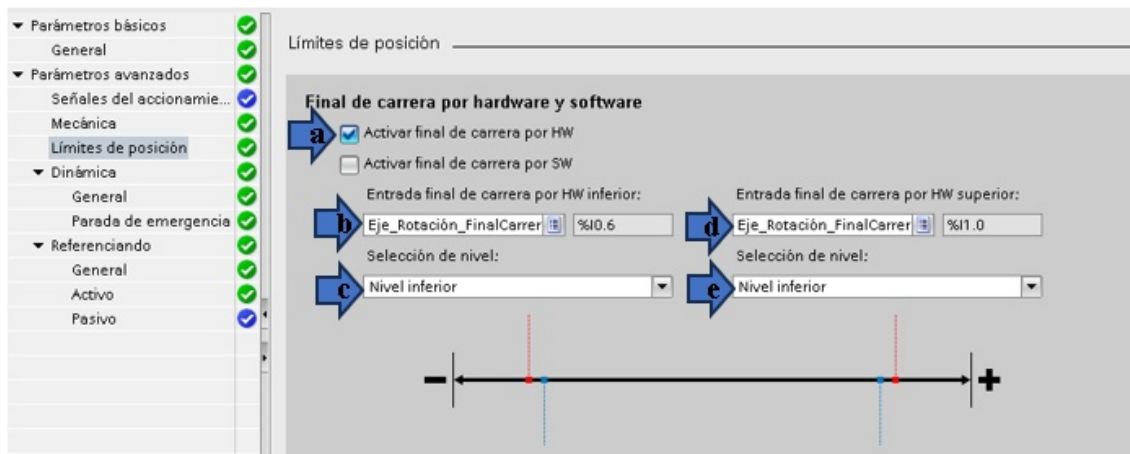


Figura 54. Configuración de parámetros Avanzados, límites de posición.

6. Una vez configurado los parámetros avanzados se configura la dinámica del eje, los parámetros a configurar son los siguientes:
- Unidad de los límites de velocidad.
 - Velocidad máxima.
 - Velocidad de arranque/parada.
 - Aceleración
 - Deceleración
 - Tiempo de aceleración
 - Tiempo de deceleración

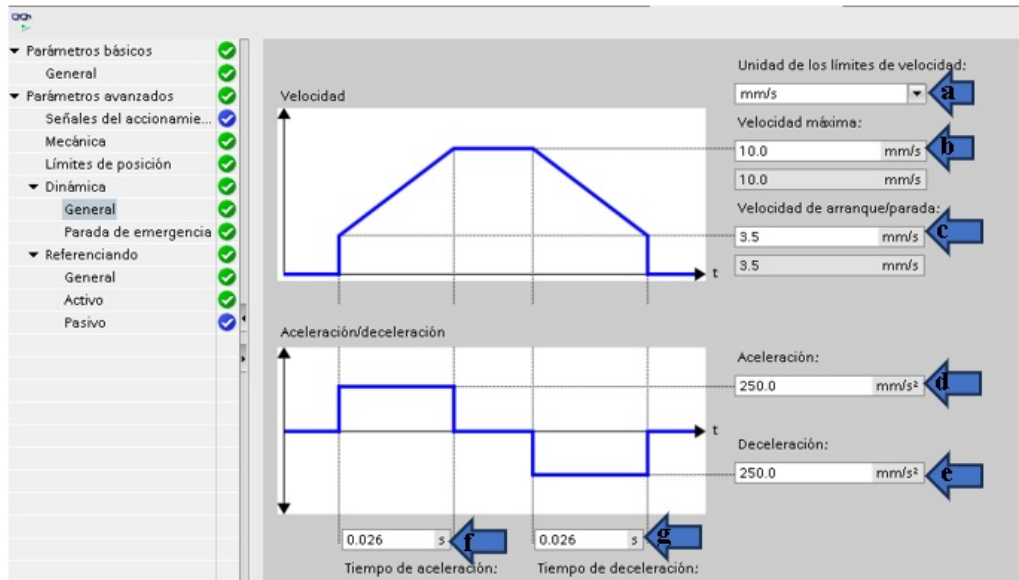


Figura 55. Configuración general de la dinámica del eje.

7. Después de realizar la configuración general de la dinámica del eje se realiza la configuración de la dinámica para la parada de emergencia, los parámetros a configurar son los siguientes.

- Velocidad máxima
- Velocidad de arranque/parada
- Deceleración de parada de emergencia
- Tiempo de deceleración de parada de emergencia

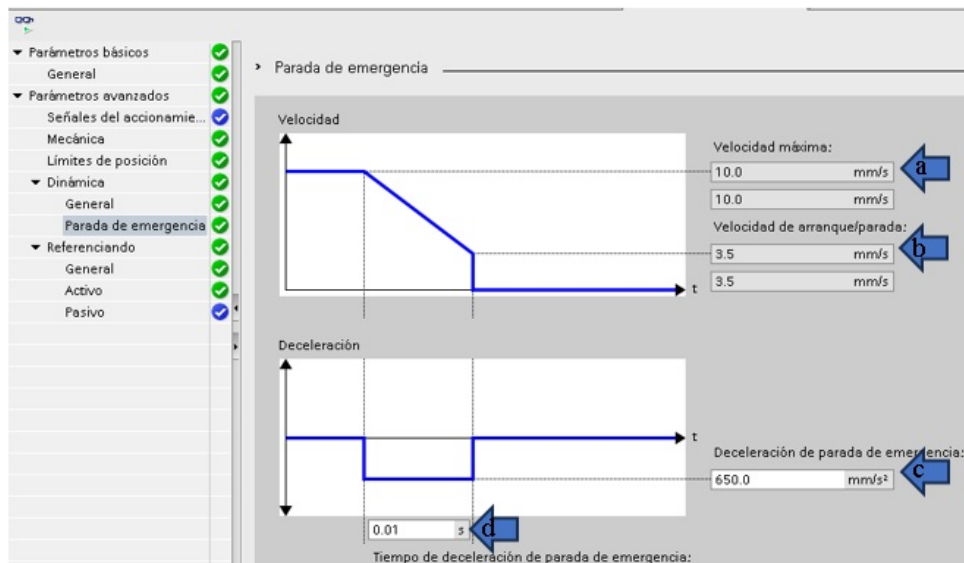


Figura 56. Configuración de la parada de emergencia de la dinámica del eje.

8. Una vez configurado la parada de emergencia se configura el referenciado, la configuración general del referenciado, los parámetros o configurar son los siguientes.
- a) Entrada del sensor del punto de referencia
 - b) Selección del nivel del sensor del punto de referencia

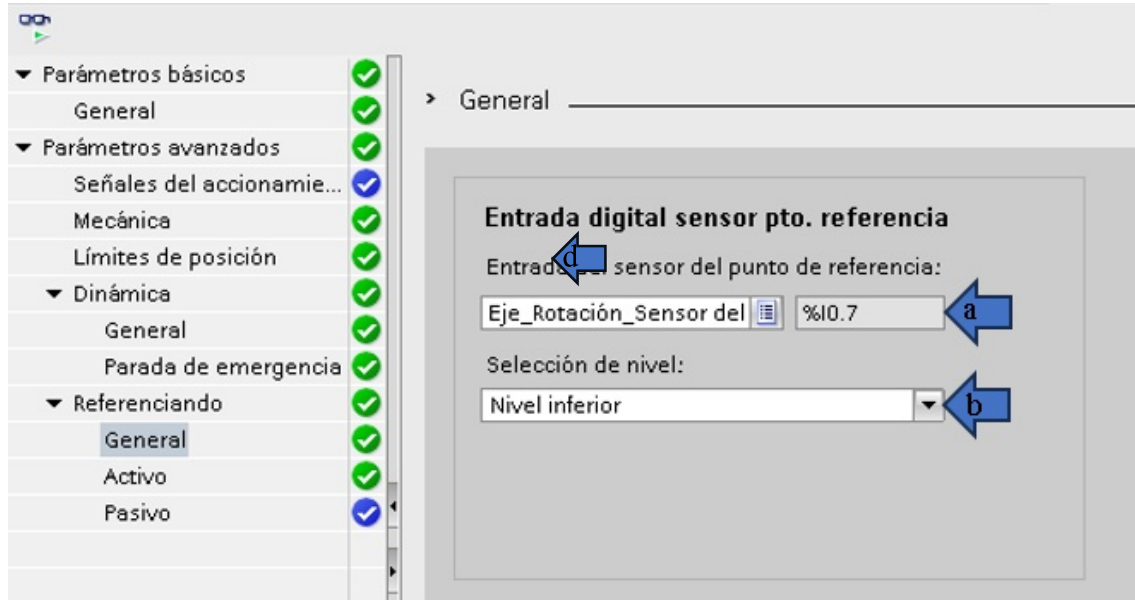


Figura 57. Configuración general del referenciado

9. Una vez realizada la configuración general del referenciado se configura el referenciado activo, los parámetros a configurar son:
- a) Sentido de aproximación/referencia
 - b) Lado del sensor del punto de referencia
 - c) Velocidad de aproximación
 - d) Velocidad de búsqueda del punto de referencia
 - e) Decalaje del punto de referencia

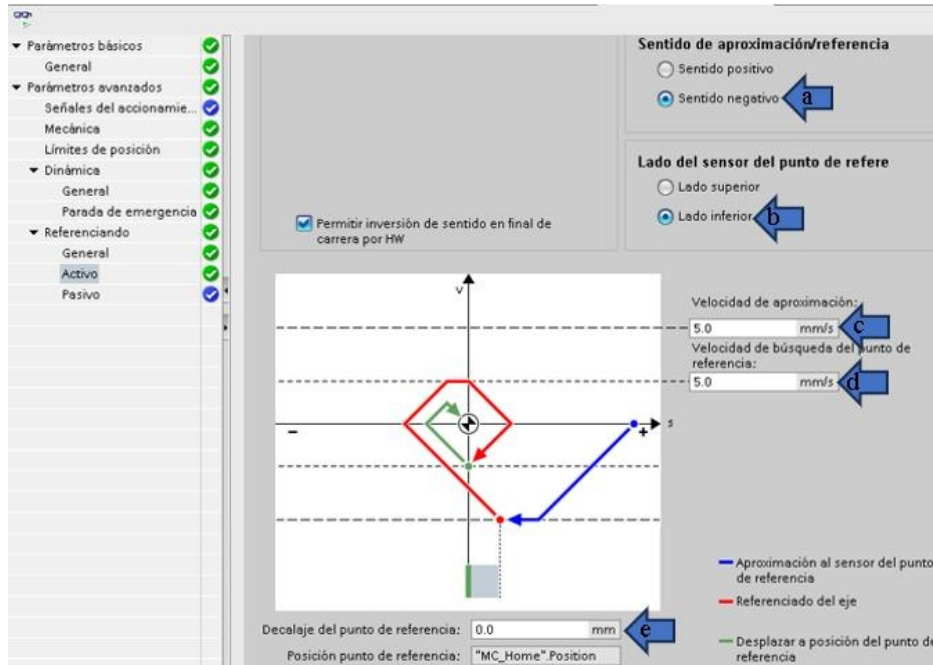


Figura 58. Configuración de referenciado activo

3.1.6 Programación de los bloques principales

Los bloques principales que permiten la configuración de los ejes son el bloque MC_POWER y MC_RESET ya que permiten la habilitación y reset de los ejes respectivamente, una vez terminado la correcta configuración de los objetos tecnológicos para cada eje se procede a programar los bloques MC_POWER y MC_RESET como se describe a continuación.

1. Se crea un bloque de función FB agregándolo desde “agregar nuevo bloque”

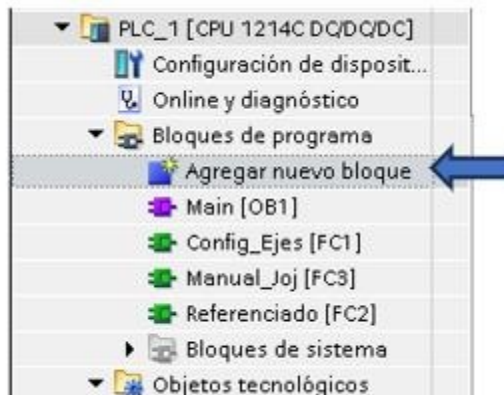


Figura 59. Agregar nuevo bloque

2. Una vez se abre la ventana de dialogo se debe:
 - a) Agregar un nombre
 - b) Escoger el lenguaje de programación

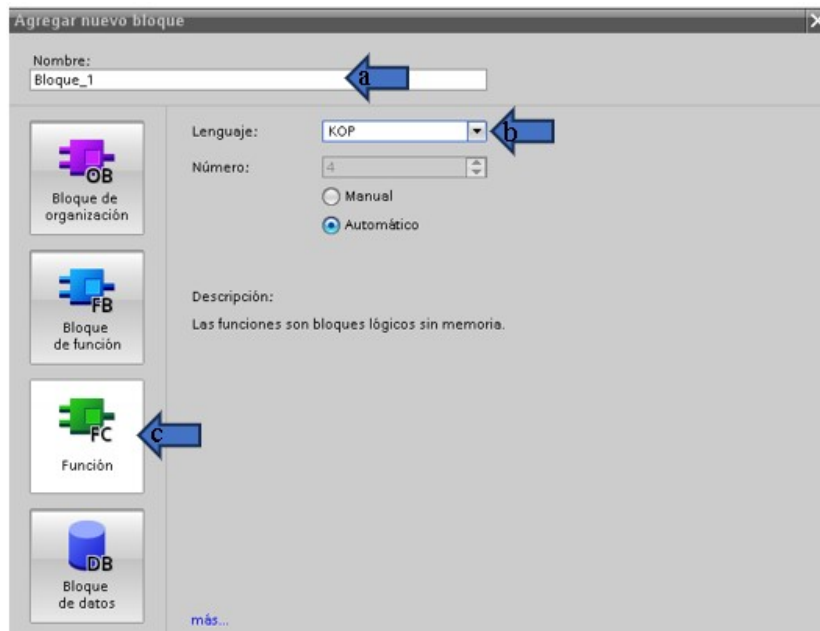


Figura 60. Configuración de bloque

- c) Tipo de bloque de organización
3. Agregar las entradas al bloque configuración de ejes

	Nombre	Tipo de datos	Valor predet.
1	Input		
2	Habilitar Ejes	Bool	
3	Reset Ejes	Bool	
4	Output		
5	<Agregar>		
6	InOut		
7	<Agregar>		
8	Temp		
9	<Agregar>		
10	Constant		

Figura 61. Entradas bloque FC

4. Agregar el bloque MC_Power
 - a) Abrir la sección tecnología
 - b) Desplegar Morion Control

c) Agregar 3 bloques MC_Power

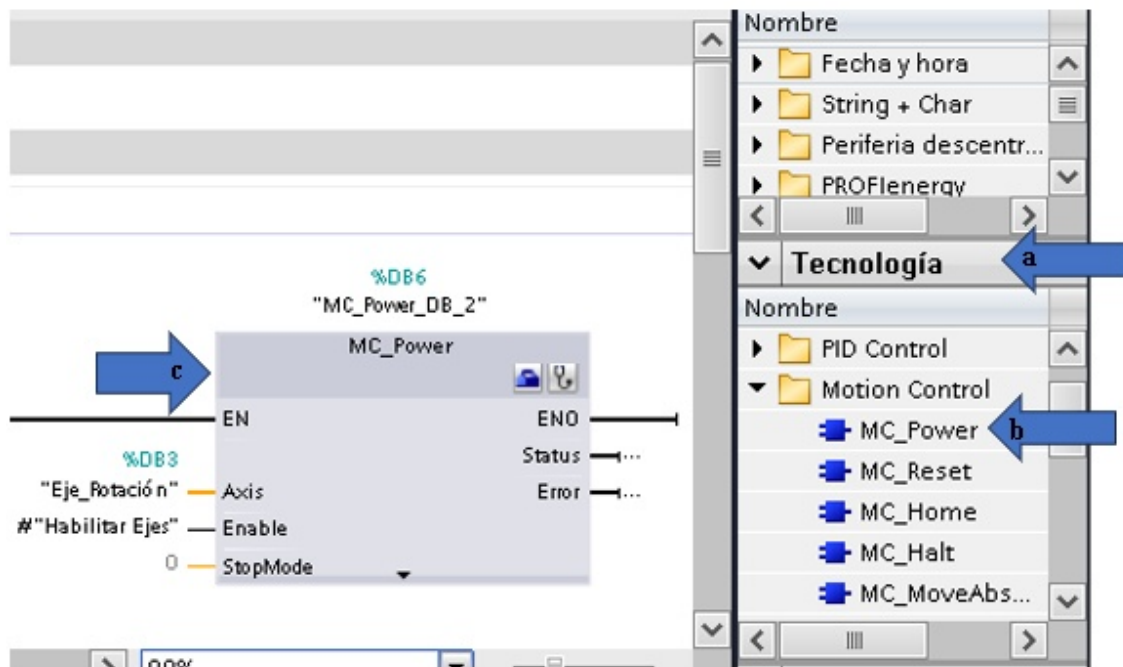


Figura 62. Agregar bloque MC_Power

5. Configuración del bloque MC_Power

- a) Agregar el eje.
- b) Agregar la entrada de habilitación del eje.

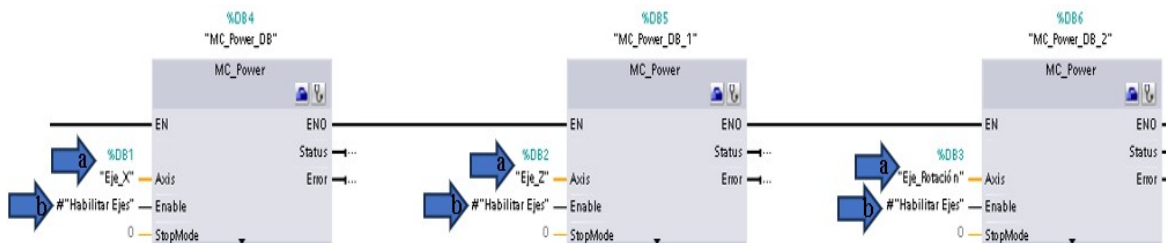


Figura 63. Configuración de los ejes MC_Power

6. Agregar el bloque MC_Reset

- a) Abrir la sección tecnología
- b) Desplegar Motion Control
- c) Agregar 3 bloques MC_Reset

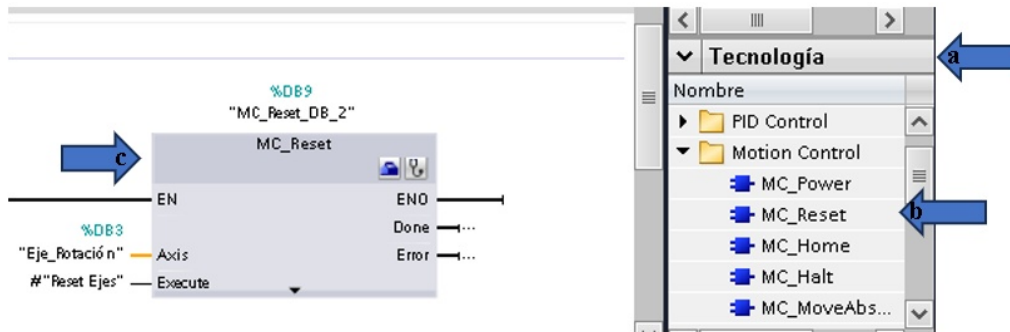


Figura 64. Agregar bloque MC_Reset

7. Configuración del bloque MC_Reset

- a) Agregar el eje.
- b) Agregar la entrada de reset del eje.

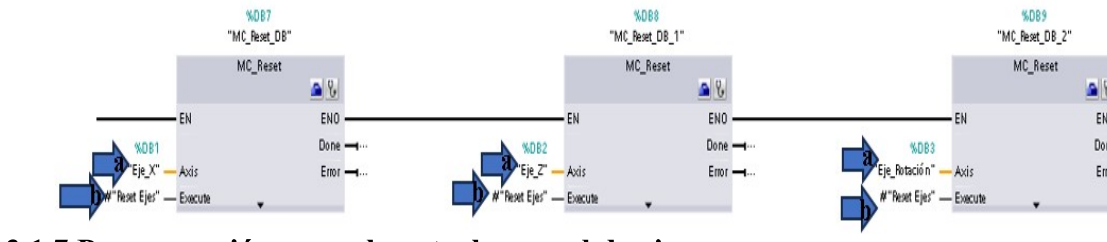


Figura 65. Configuración de los ejes MC_Reset

El control manual de ejes o Modo Jog permite manipular los ejes en sentido positivo y negativo el bloque que permite realizar los movimientos de forma manual es: MC_MoveJog, los pasos a seguir para realizar la programación de ejes es la siguiente:

1. Se crea un bloque de función FB agregándolo desde “agregar nuevo bloque”



Figura 66. Agregar nuevo bloque

2. Una vez se abre la ventana de dialogo se debe:
 - d) Agregar un nombre
 - e) Escoger el lenguaje de programación
 - f) Tipo de bloque de organización

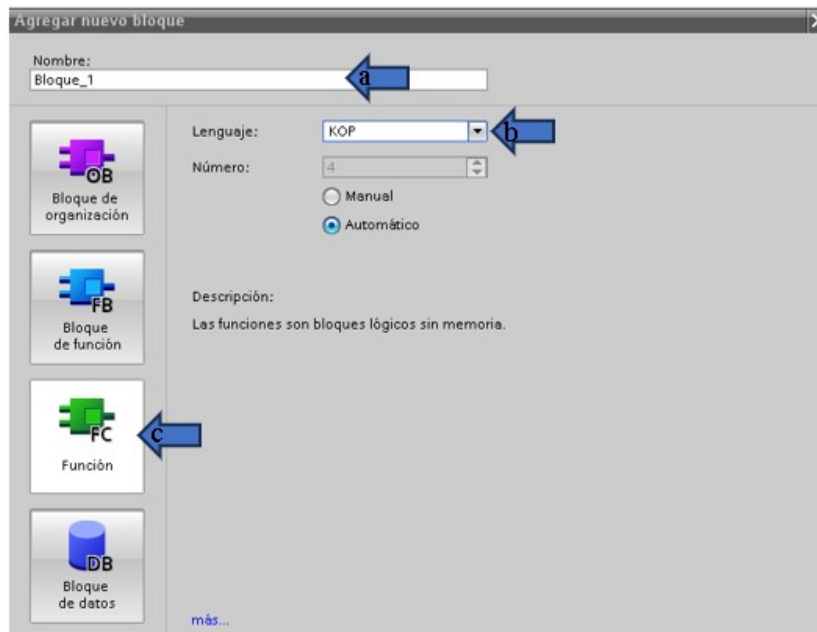


Figura 67. Configuración de bloque

3. Agregar el bloque MC_MoveJog

- a) Abrir la sección tecnología
- b) Desplegar Morion Control
- c) Agregar 3 bloques MC_Reset

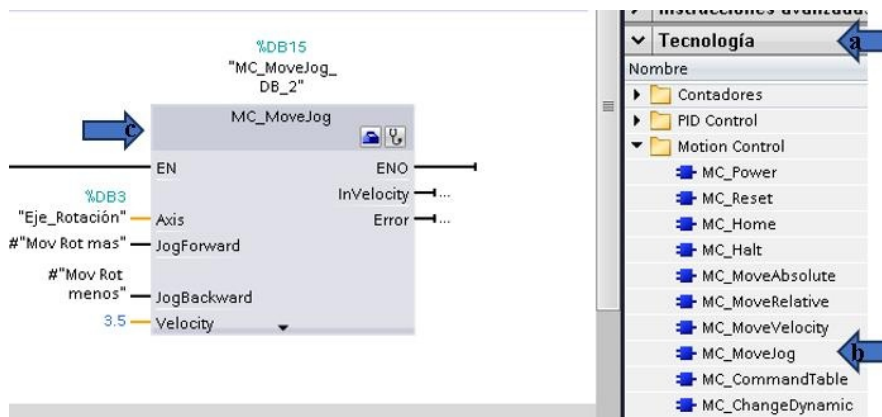
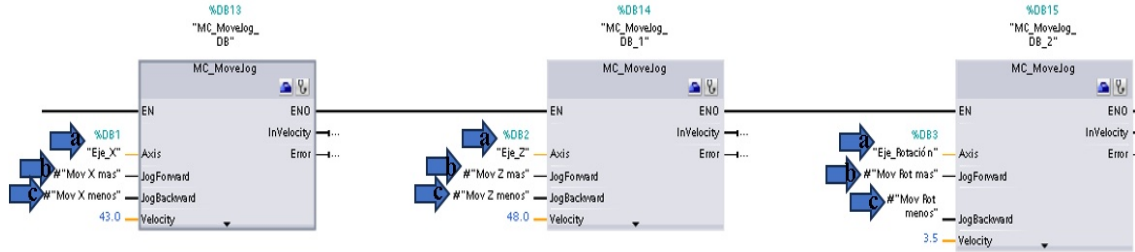


Figura 68. Agregar el bloque MC_MoveJog

4. Configuración del bloque MC_Reset

- a) Agregar el eje.
- b) Agregar las direcciones para JogForward.

c) Agregar las direcciones para JogBackward.



3.1.8 Diseño del sistema de monitorización

El sistema de monitorización está basado en la norma isa 101 y programado en NI LabVIEW, el primer paso es realizar el diseño de las pantallas, en el sistema de monitorización existen pantallas de nivel 1, nivel 2 y nivel 3.

Figura 69. Configuración de los bloques MC_MoveJog

La pantalla nivel 1 contiene un resumen del proceso, mostrando una gráfica con la cantidad de objetos clasificados por color y un total de estos además de un indicador que muestra lo que está enfocando la cámara.



Figura 70. Partes de la pantalla nivel 1

3.1.8.2 Pantalla nivel 2

En el nivel 2 existe una pantalla de planta que muestra todos los sensores, actuadores y mandos como se muestra a continuación:

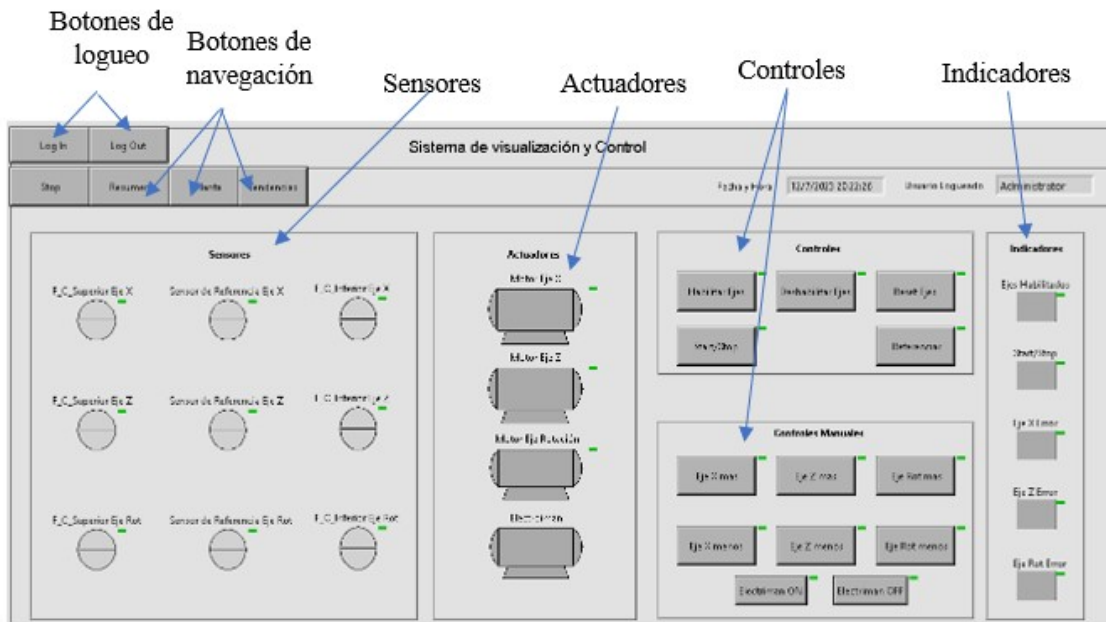


Figura 71. Partes de la pantalla nivel 2 de planta

3.1.8.2 Pantallas nivel 3

En el nivel 3 existen 2 pantallas una de tendencias en tiempo histórico y otra de tendencias en tiempo real. En la pantalla de tendencias en tiempo histórico se muestra la gráfica de producción en tiempo histórico tal como se muestra continuación.

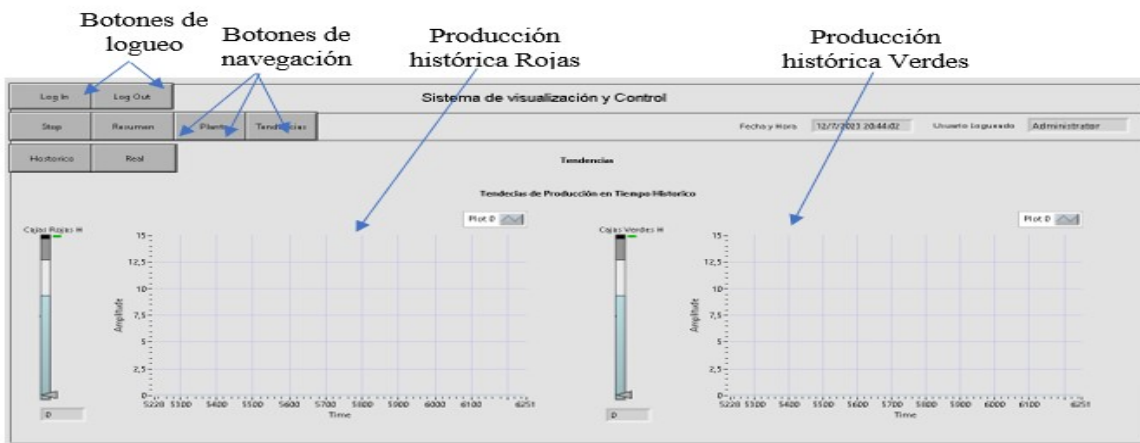


Figura 72. Partes de la pantalla nivel 3 tendencias históricas

La otra pantalla nivel 3 son las tendencias en tiempo real la misma muestra graficas de la producción que se refrescan cada 100 milisegundos para asegurar que la gráfica que estas muestran son la producción exacta en el momento de observación.

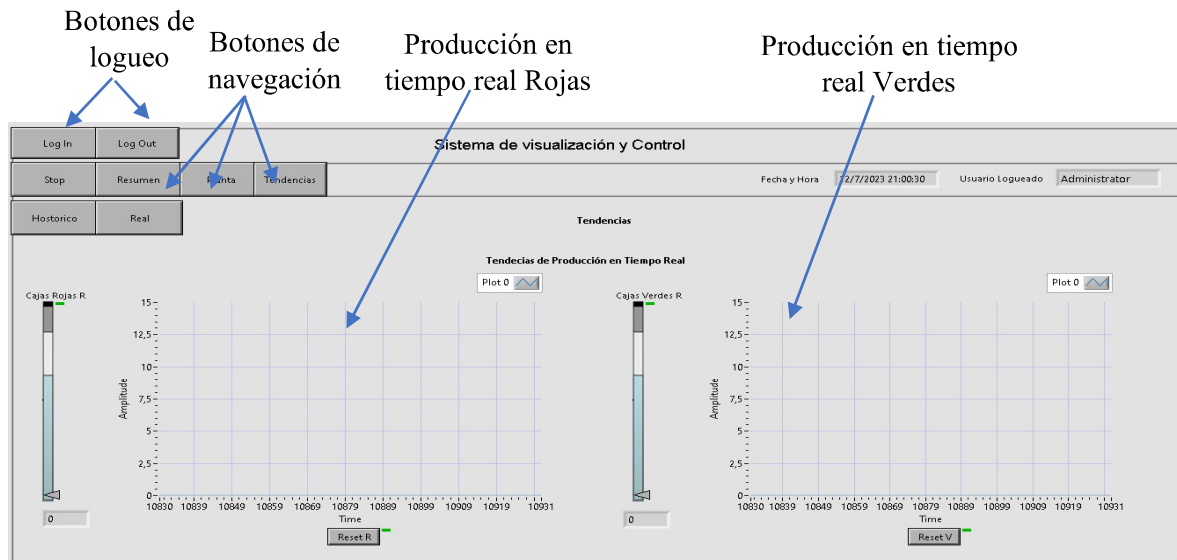


Figura 73. Partes de la pantalla nivel 3 tendencias en tiempo real

3.1.9 Comunicación del sistema de monitorización

El sistema de monitorización programado en LabVIEW se comunicará mediante OPC con el controlador del robot cilíndrico, para configurar el sistema de monitorización se siguen los siguientes pasos.

1. Agregar un nuevo canal en este caso el canal llevara el nombre de Siemens

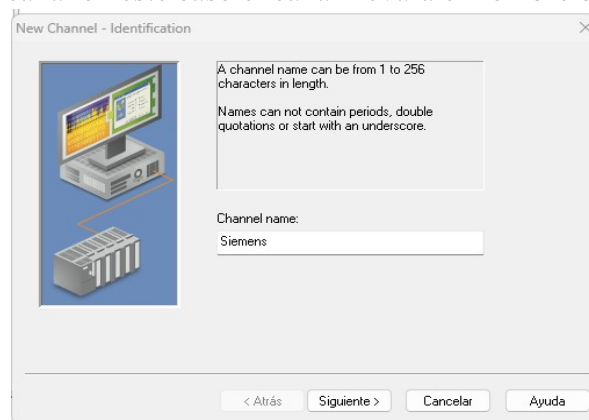


Figura 74. Agregar canal en servidor OPC

2. En el apartado de device driver se escoge Siemens TCP/IP Ethernet como se muestra en la imagen.

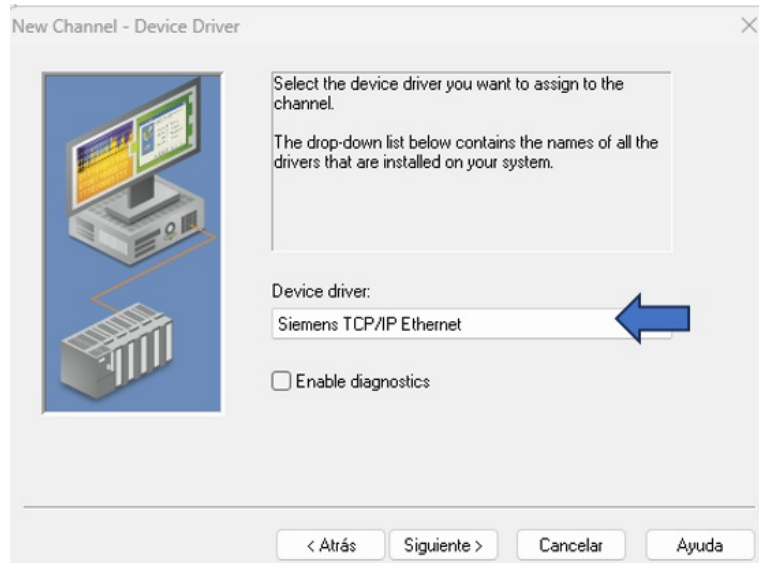


Figura 75. Escoger el driver

3. En el apartado Network Adapter o adaptador de red se escoge el adaptador Qualcomm Atheros

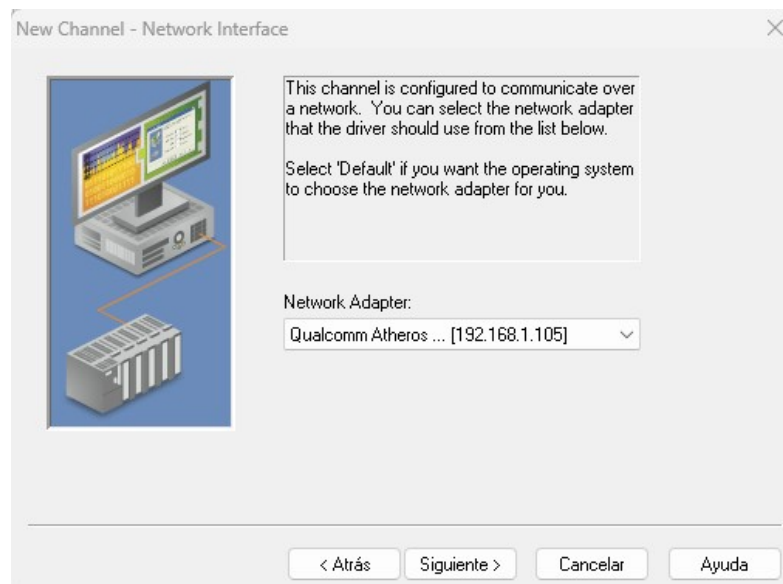


Figura 76. Adaptador de red

4. Finalmente, nos aparecerá una ventana de resumen en la que vamos a dar finalizar para que se cree el canal.

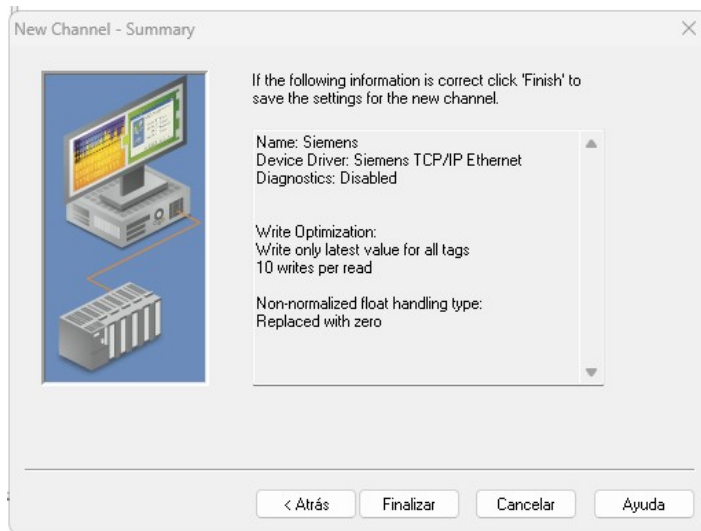


Figura 77. Pantalla de resumen

5. Luego vamos a agregar un Dispositivo al canal que acabamos de crear.

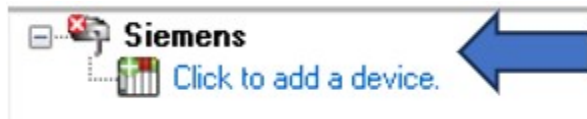


Figura 78. Agregar Dispositivo

6. Agregar un nombre al dispositivo en este caso al PLC.

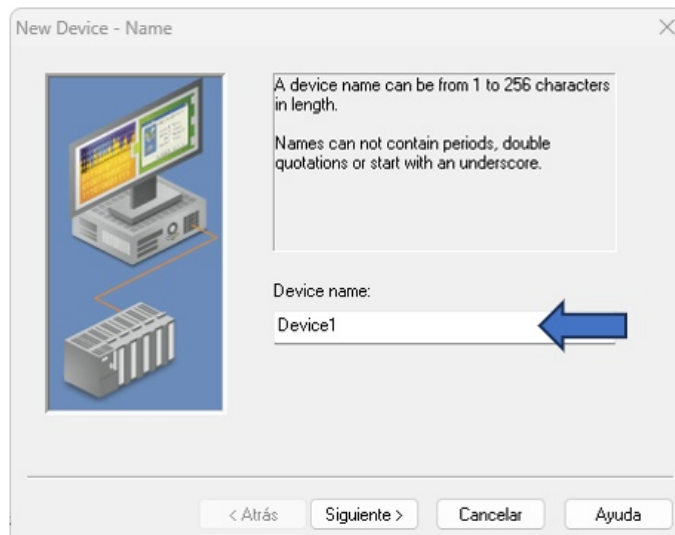


Figura 79. Nombre del dispositivo

7. Se escoge el modelo del Controlador en este caso el controlador usado es el PLC de la marca Siemens el modelo S7 1200

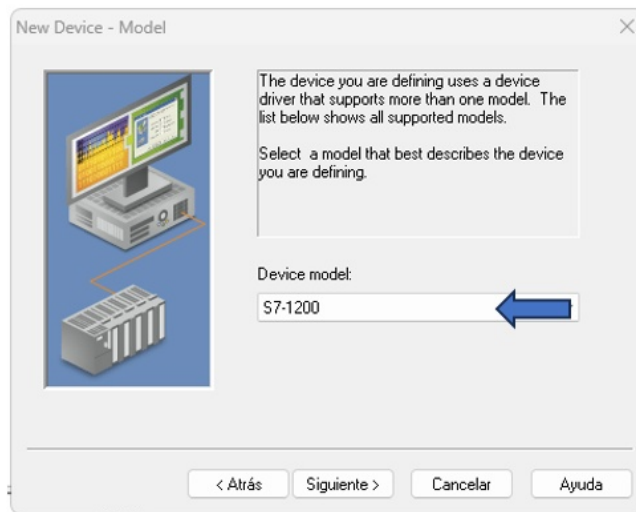


Figura 80. Modelo del controlador

8. Una vez agregado el modelo del controlador se configura la ip del controlador como se muestra a continuación.

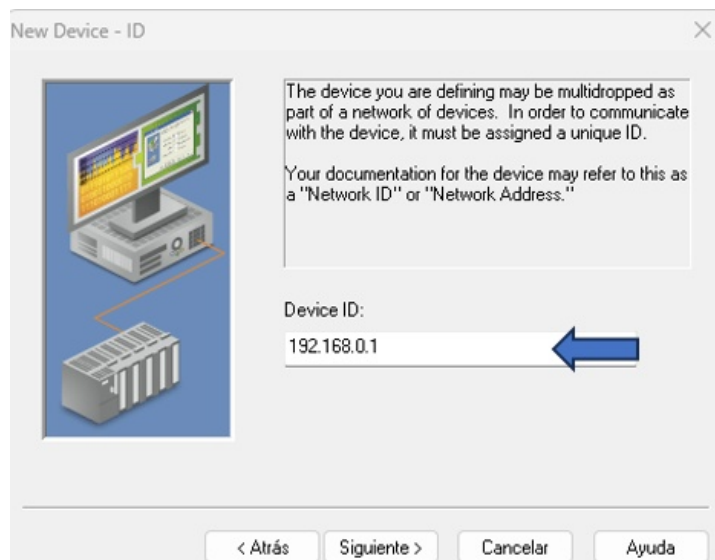


Figura 81. Agregar ip del controlador

9. Después de configurar la IP de controlador se escoge el puerto de comunicación 102

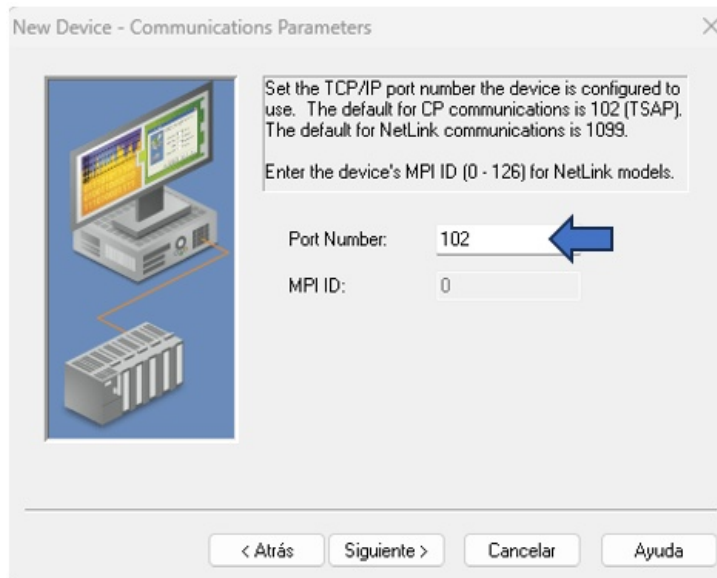


Figura 82. Configurar el número de puerto de comunicación

10. Para terminar de configurar el dispositivo se revisa el resumen de toda la configuración y se da a finalizar.

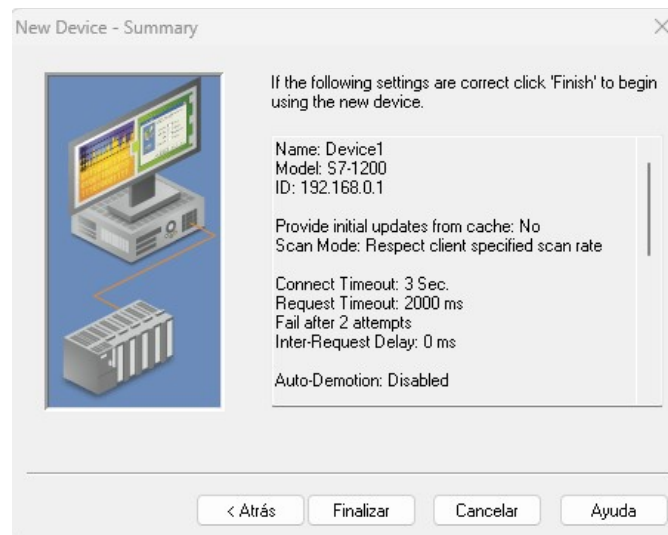


Figura 83. Resumen de la configuración del dispositivo

11. Una vez configurado el dispositivo se procede a añadir todos los tags

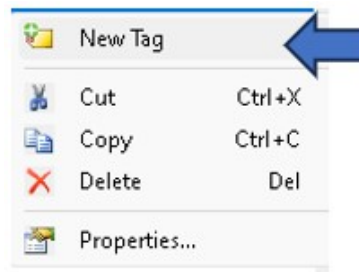


Figura 84. Añadir Tags

12. Se procede a configurar el cada uno de los tags

- a) Añadir un nombre
- b) Añadir dirección
- c) Añadir tipo de dato
- d) Añadir el acceso al cliente
- e) Configurar la tasa de refresco

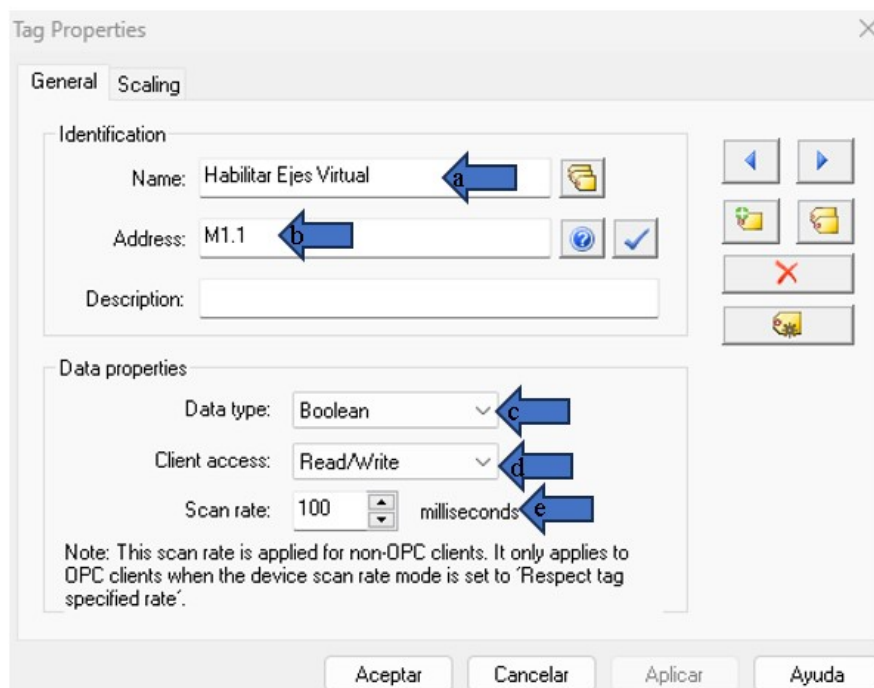


Figura 85. Configurar las propiedades de los tags

Nota: el paso 11 y 12 se debe repetir por cada tag

Tag Name	Address	Data Type	Scan Rate	Scaling
ContaRojo	MW210	Word	100	None
ContaVerde	MW214	Word	100	None
Deshabilitar Ejes Virtual	M1.2	Boolean	100	None
Eje_Rotación_FinalCarreraHwlInferior	I0.6	Boolean	100	None
Eje_Rotación_FinalCarreraHwSuperior	I1.0	Boolean	100	None
Eje_Rotación_Sensor del punto de referencia	I0.7	Boolean	100	None
Eje_X_FinalCarreraHwlInferior	I0.2	Boolean	100	None
Eje_X_FinalCarreraHwSuperior	I0.0	Boolean	100	None
Eje_X_Sensor del punto de referencia	I0.1	Boolean	100	None
Eje_Z_FinalCarreraHwlInferior	I0.3	Boolean	100	None
Eje_Z_FinalCarreraHwSuperior	I0.5	Boolean	100	None
Eje_Z_Sensor del punto de referencia	I0.4	Boolean	100	None
En movimiento Rotacion	M4.4	Boolean	100	None
En movimiento X	M4.5	Boolean	100	None
En movimiento Z	M4.6	Boolean	100	None
Error Rotacion	M4.0	Boolean	100	None
Error X	M4.1	Boolean	100	None
Error Z	M4.2	Boolean	100	None
Habilitar	M0.0	Boolean	100	None
Habilitar Ejes Virtual	M1.1	Boolean	100	None
Indicador Start OK Virtual	M2.4	Boolean	100	None
Mov Rot mas Virtual	M0.6	Boolean	100	None
Mov Rot menos Virtual	M0.7	Boolean	100	None
Mov X mas Virtual	M0.2	Boolean	100	None
Mov X menos Virtual	M0.3	Boolean	100	None
Mov Z mas Virtual	M0.4	Boolean	100	None
Mov Z menos Virtual	M0.5	Boolean	100	None
Referenciado Virtual	M1.0	Boolean	100	None
Reset Ejes Virtual	M0.1	Boolean	100	None
ResetRojo	M5.2	Boolean	100	None
ResetVerde	M5.3	Boolean	100	None
Rojo	M5.0	Boolean	100	None
Start/Stop Virtual	M1.5	Boolean	100	None

Figura 86. Tags del servidor OPC

3.1.9.1 Enlazar las variables del servidor OPC a LabVIEW

1. Acceder a propiedades de la variable que se desea enlazar con el servidor OPC y después a Data binding.

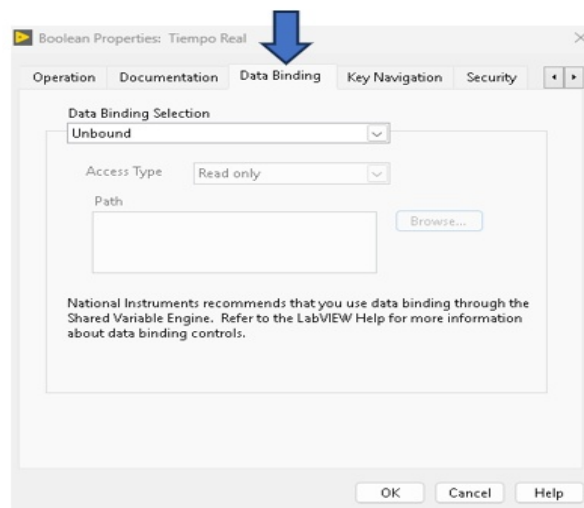


Figura 87. Acceso a data binding de la variable

2. Configurar Data Binding
 - a) Configurar el data Bing selection
 - b) Configurar Access Type

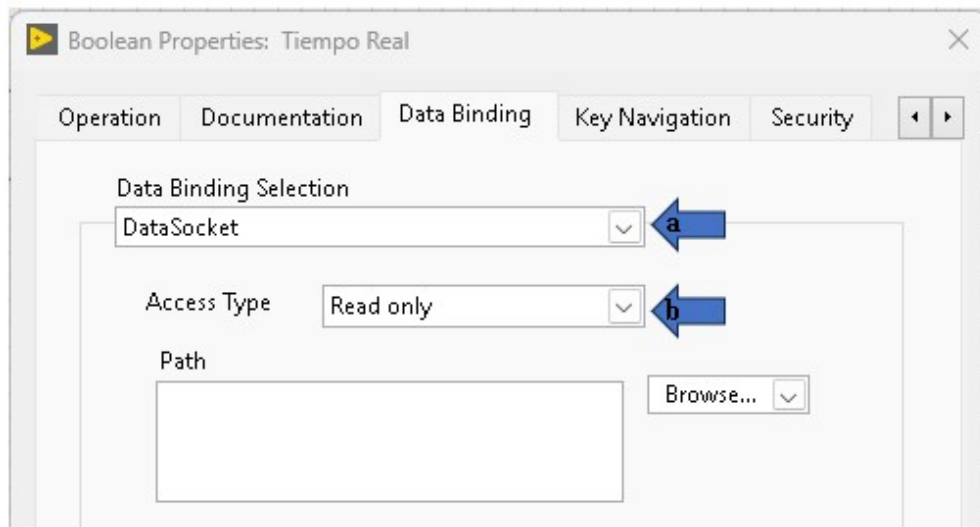


Figura 88. Configuración data binding

3. Acceder a DSTP server

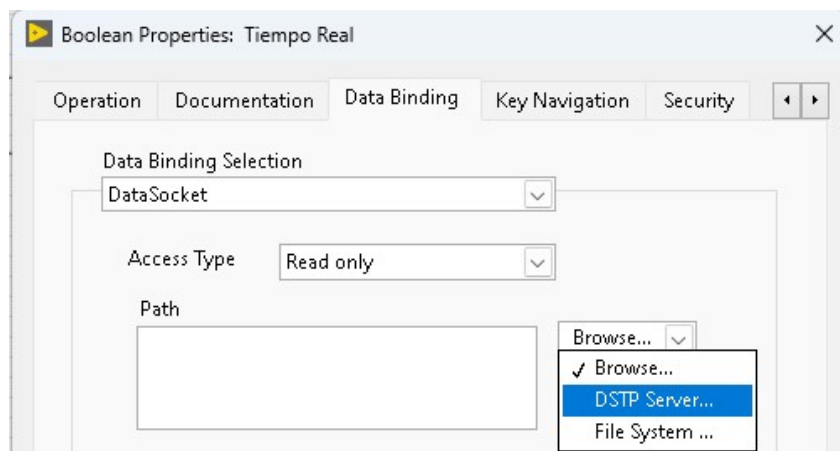


Figura 89. Acceso a DSTP Server

4. Una vez se accede a DSTP Server se procede a enlazar la variable para esto es necesario
 - a) Acceder a National Instruments.NIOPCServer.V5
 - b) Acceder a Siemens
 - c) Acceder a PLC S7 1200

d) Enlazar la variable

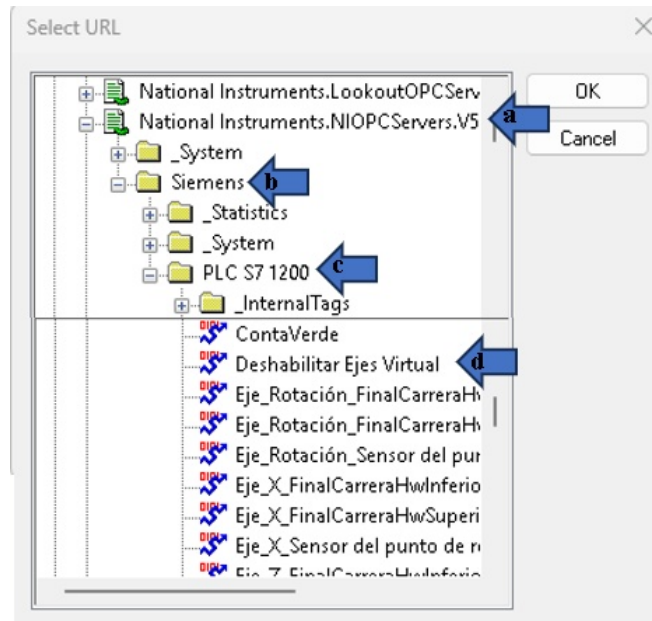


Figura 90. Enlazar variables del servidor OPC

Nota: el procedimiento anterior para enlazar las variables se debe realizar por cada variable.

3.1.10 Programación del sistema de visión artificial

Para programar el sistema de visión artificial es indispensable contar con una cámara de video conectada en nuestra computadora la cual será la encargada de captar imágenes para después procesarlas, para reconocer colores mediante visión artificial se deben seguir los siguientes pasos:

1. Abrir la dependencia que contiene los Vi s necesarios para visión artificial

a) Abrir visión and motion

b) Abrir NI-IMAQ

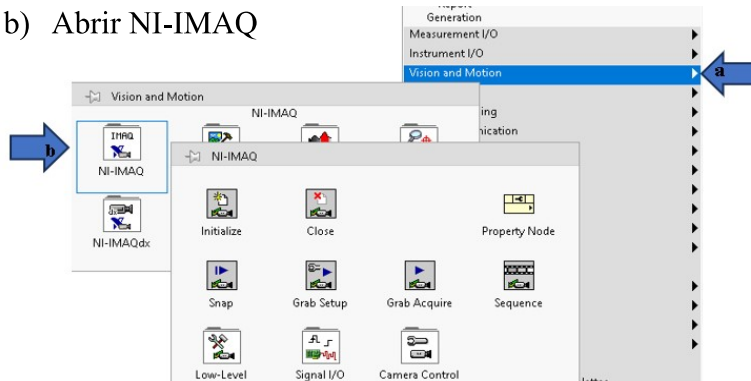


Figura 91. Vision and motion y NI-IMAQ

2. Agregar los elementos necesarios para visión artificial

- a) Agregar el Vi Ni visión open cámara
- b) Agregar el Vi Ni visión configure grab
- c) Agregar el Vi Ni MAQ Create
- d) Agregar el Vi Ni visión grab 2
- e) Agregar el Vi Ni visión color learn
- f) Agregar Indicador de imagen captada
- g) Agregar el Vi Ni visión close camera

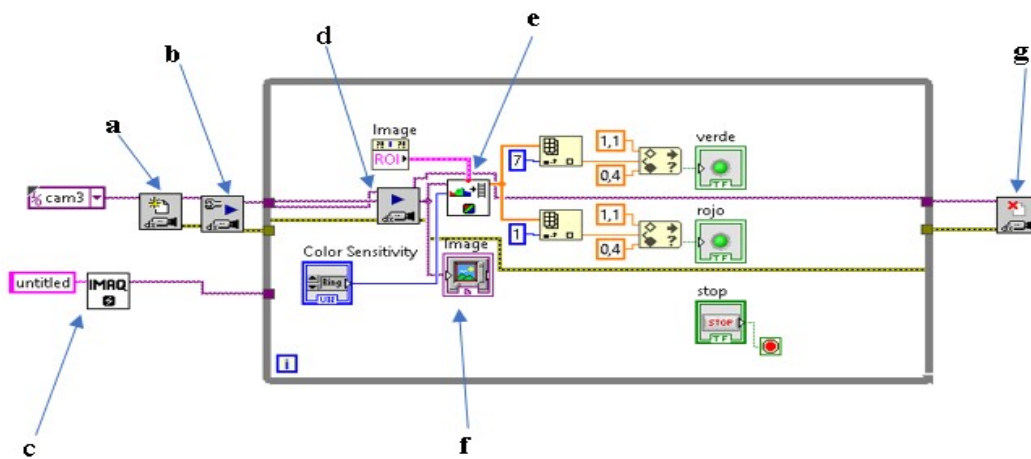


Figura 92. Vi necesarios para visión artificial

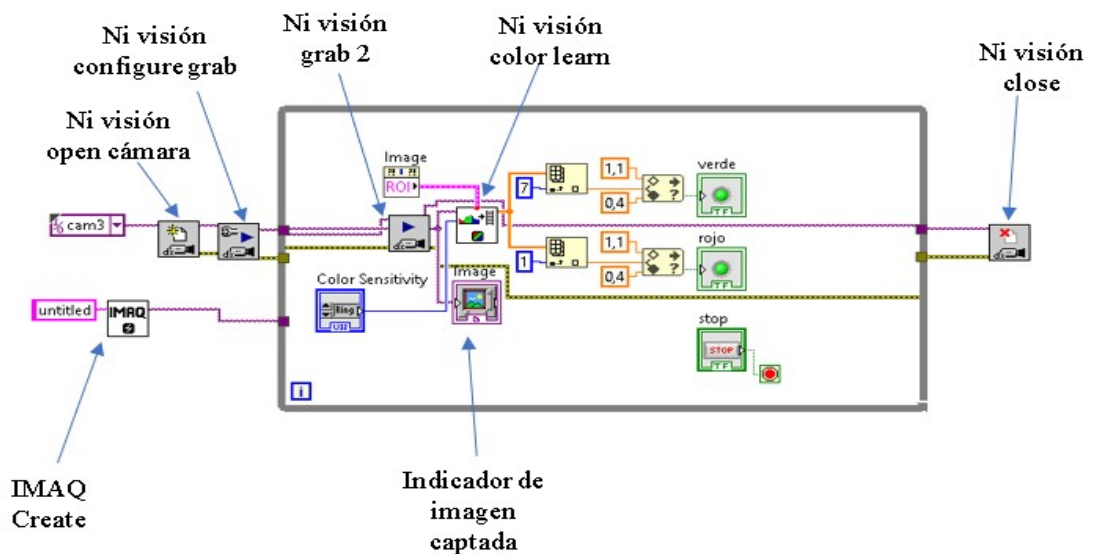


Figura 93. Vi para visión artificial

3.1.11 Programación de las secuencias de proceso

El sistema realiza la clasificación de cajas por color (rojo y verde) por lo que tiene una secuencia por cada color.

1. Para realizar secuencias se necesita el bloque "MoveAbsolute":
 - a) Abrir tecnología
 - b) Desplejar motion control
 - c) Abrir el bloque "MoveAbsolute"

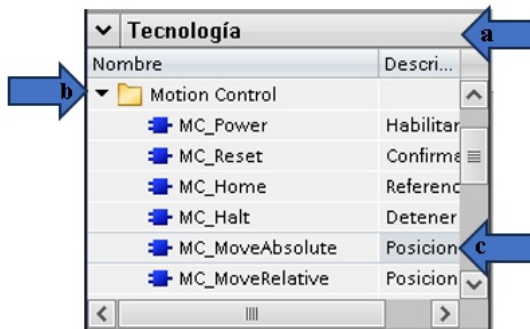


Figura 94. Agregar el bloque MC_MoveAbsolute

2. Configurar el bloque MC_MoveAbsolute
 - a) Agregar el eje
 - b) Agregar la marca que va a ejecutar el movimiento
 - c) Agregar la posición
 - d) Agregar la velocidad a la que se va a desplazar el punto

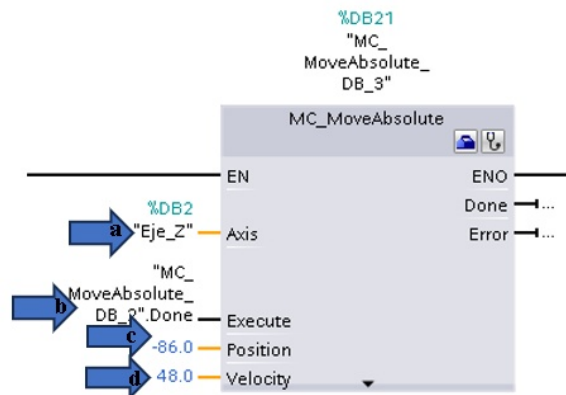


Figura 95. Configuración el bloque MC_MoveAbsolute

Nota: se debe agregar bloques MC_MoveAbsolute por cada posición que tenga cada secuencia como se muestra a continuación.

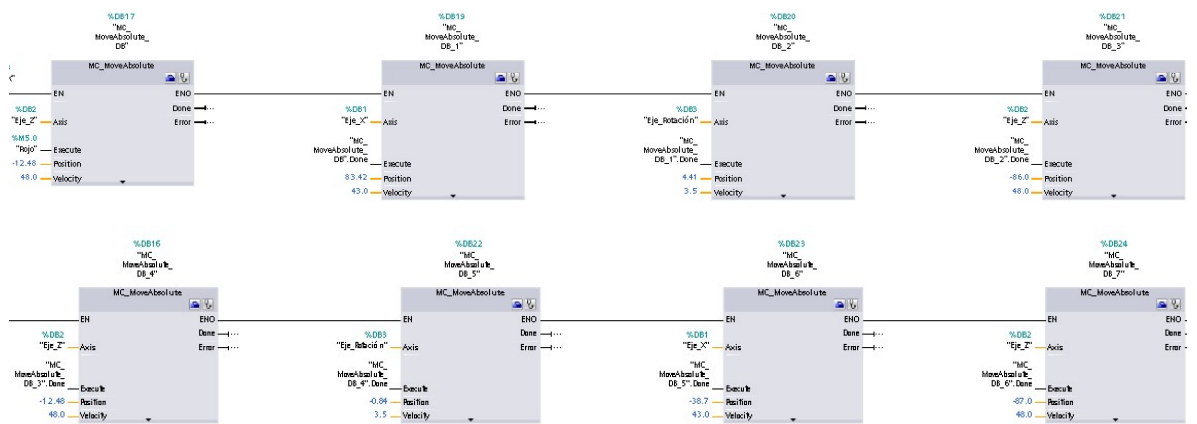


Figura 96. Secuencia para el color rojo

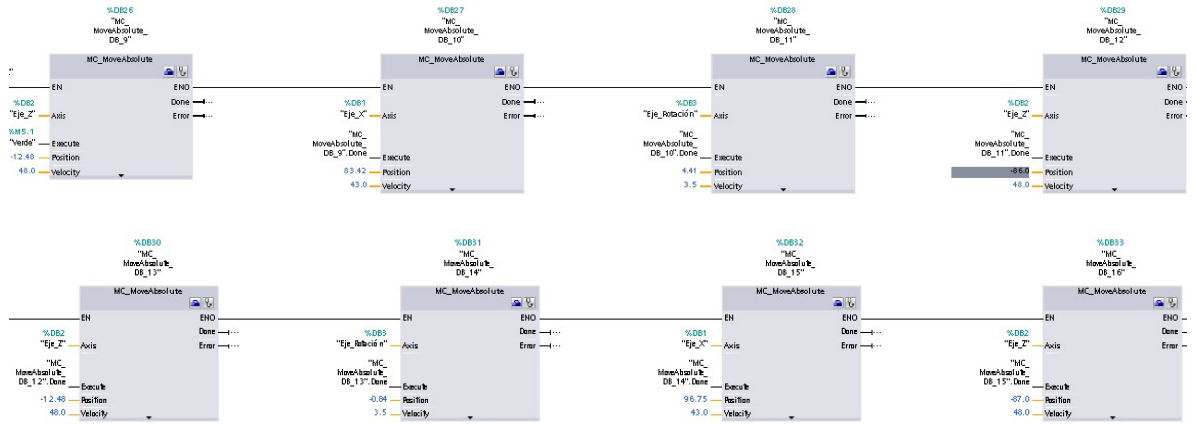


Figura 97. Secuencia para el color verde

3.1.12 Sistemas de monitorización IOT

El sistema Iot consta de una raspberry pi la cual se comunicará mediante node-Red con la plataforma Iot ubidots.



Figura 98. Arquitectura de comunicación IoT

Para la correcta configuración del sistema Iot se debe realizar de la siguiente manera:

1. Crear una base de datos con todas las variables que se desee establecer una comunicación con Node-RED y la plataforma Ubidots

Nombre	Tipo de datos
Static	
DatosInt	Array[0..3] of Int
DatosInt[0]	Int
DatosInt[1]	Int
DatosInt[2]	Int
DatosInt[3]	Int
DatosReal	Array[0..3] of Real
DatosReal[0]	Real
DatosReal[1]	Real
DatosReal[2]	Real
DatosReal[3]	Real
DatosWord	Array[0..3] of Word
DatosWord[0]	Word
DatosWord[1]	Word
DatosWord[2]	Word
DatosWord[3]	Word
DatosBool1	Bool
DatosBool2	Bool

Figura 99. Base de datos con las variables a comunicar con el servidor Iot

2. Acceder de modo remoto mediante VNC a las Raspberry Pi y Abrir Node-RED

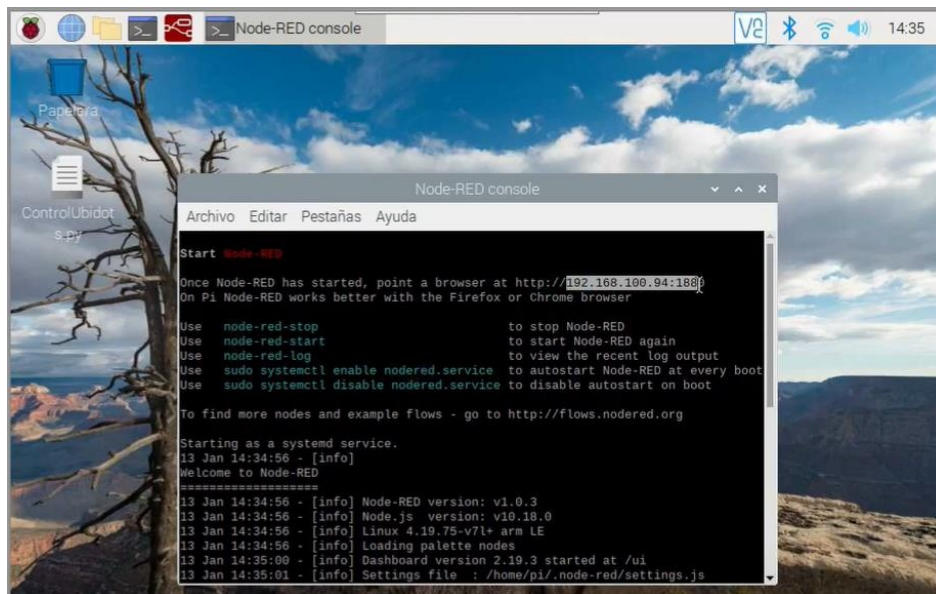


Figura 100. Ejecución de Node-RED en la Raspberry pi

3. Abrir Node-RED en el navegador y Agregar la dirección IP del PLC tal como se muestra a continuación.

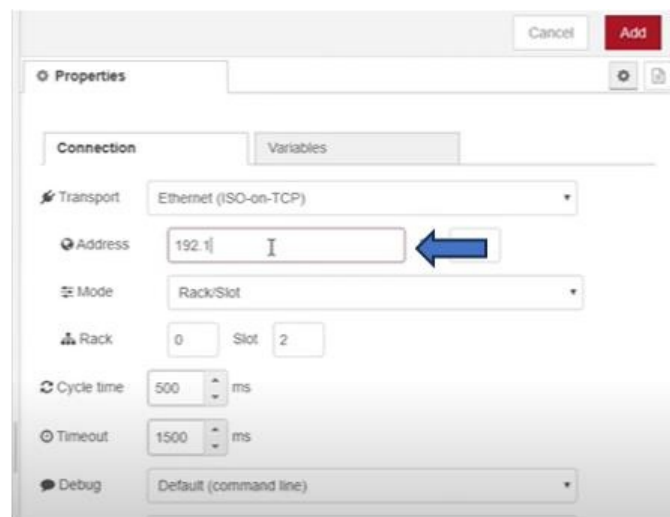


Figura 101. Agregar IP del PLC en Node-RED

4. Agregar todas las variables del PLC que se necesite comunicar con Ubidots en Node-RED

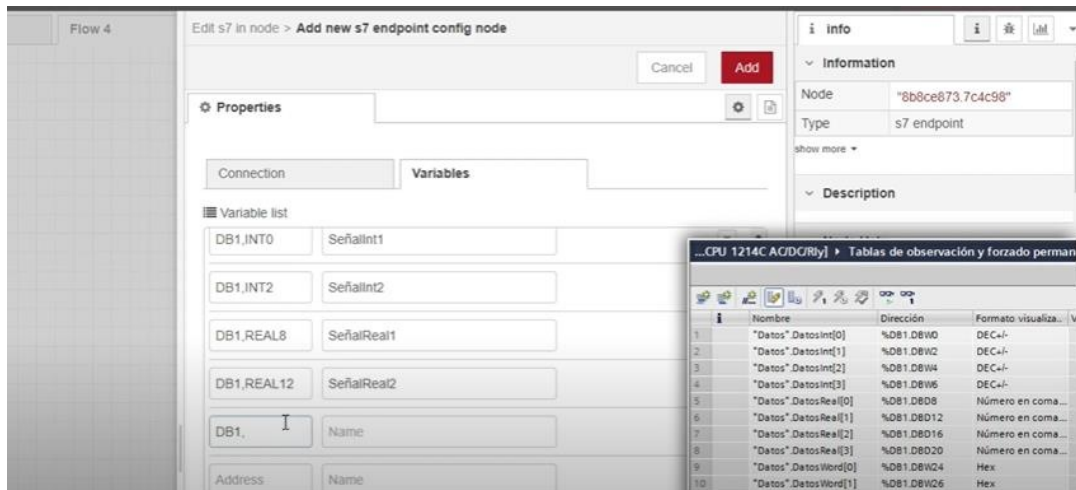


Figura 102. Agregar las variables a Node-RED

5. Conectar las Variables del PLC a las de Node-RED como se muestra a continuación.



Figura 103. Conexión de las variables de PLC a Node-RED

6. Conectar las Variables que deseamos publicar en Ubidots a Node-RED como se muestra a continuación

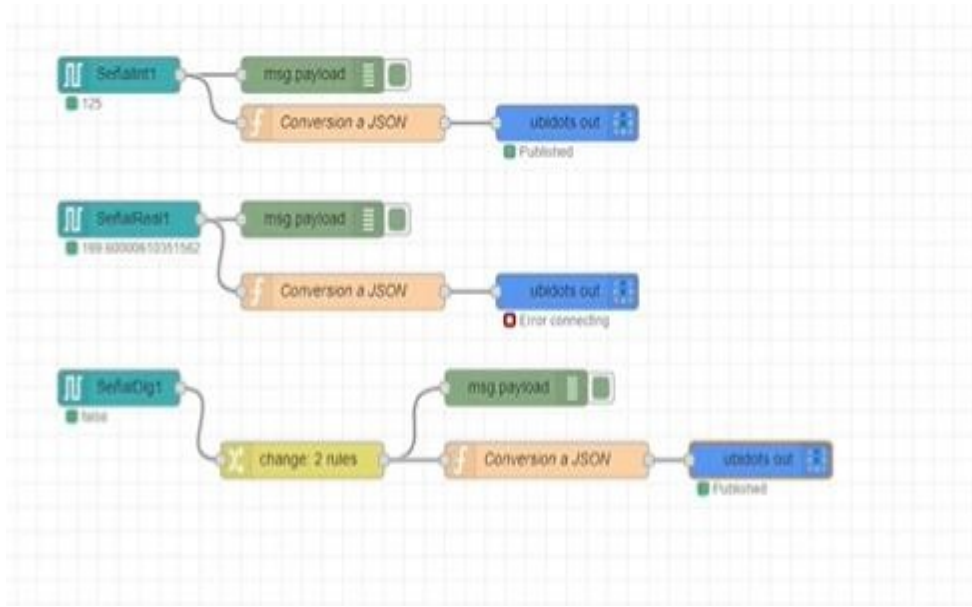


Figura 104. Conexión de las variables a Ubidots

7. Ingresar a Ubidots Crear un Dashboard y agregar los widgets necesarios

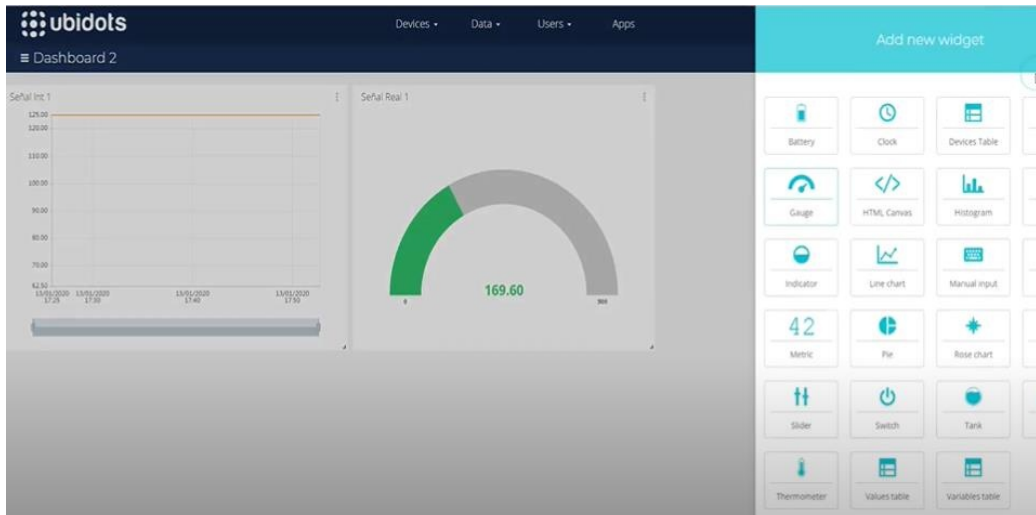


Figura 105. Agregar widgets en Ubidots

8. Seleccionar la Variable a comunicar en cada widget

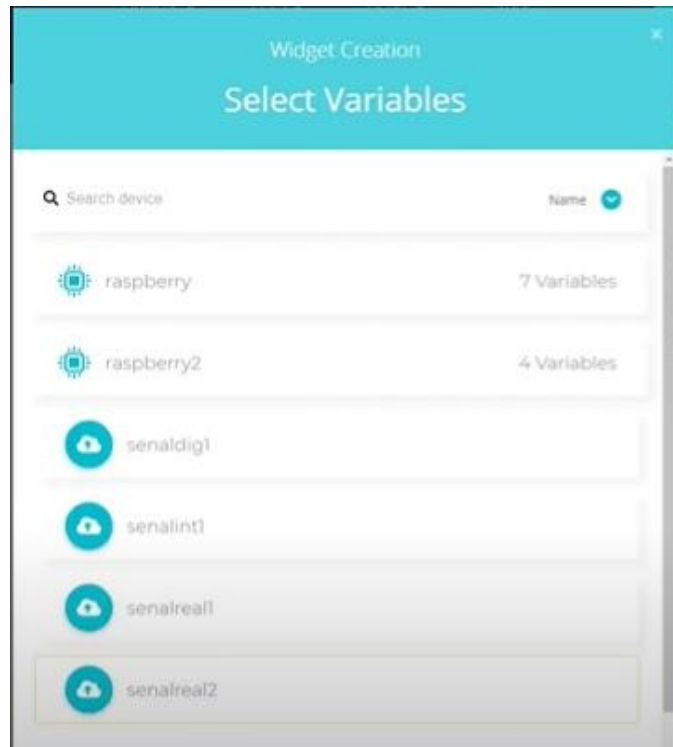


Figura 106. Selección de variables en Ubidots

9. Comprobar que la comunicación entre el controlador PLC y el servidor Iot Ubidots estén comunicados.

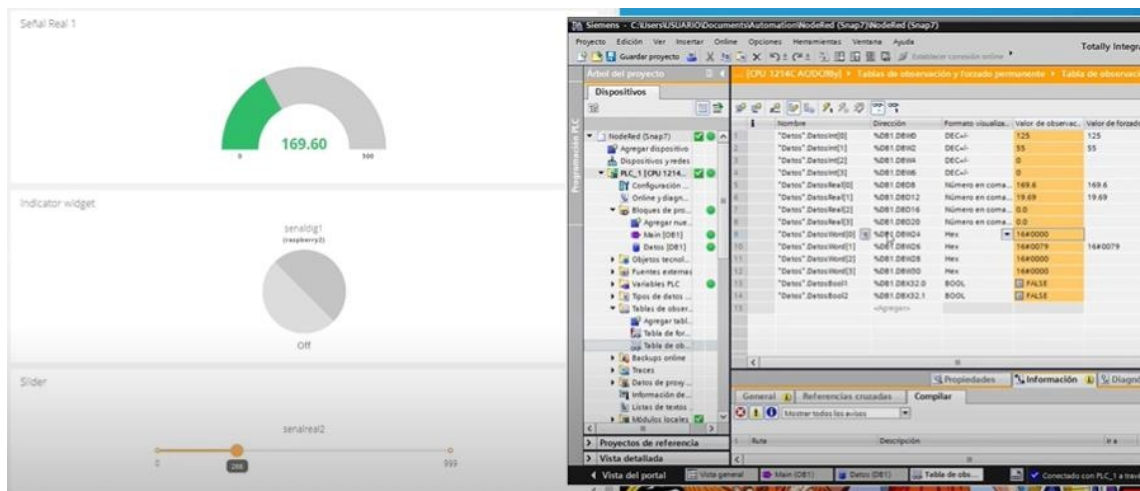


Figura 107. Comunicación del PLC y Ubidots

3.4 Pruebas de funcionamiento

En cuestión de las pruebas de funcionamiento del prototipo se analizaron de forma cuantitativa los datos que se obtuvieron de los actuadores y el éxito que obtuvieron una vez ejecutados y puestos en marcha a través de la prueba Q de Cochran con el objetivo de definir el éxito de su desarrollo. De esta manera se planteó la siguiente hipótesis general:

- La construcción de un robot cilíndrico basado en conceptos de la industria 4.0 es efectivo.

En la investigación se efectuó 30 pruebas de funcionamiento para verificar la idoneidad de cada uno de los elementos del prototipo, el cual, se otorgaba el valor de 1 en caso de éxito y 0 por fracaso. En la tabla 11 se evidencia los datos obtenidos de las pruebas mencionadas.

Tabla 11. salidas del robot cilíndrico

Actuador	Aciertos	Fracasos
Eje X impulso	30	0
Eje X sentido	30	0
Eje Y impulso	29	1
Eje Y sentido	30	0
Eje Rotación impulso	30	0
Eje Rotación sentido	30	0
Indicador Start	30	0
Indicador Stop	30	0
Indicador habilitado ejes	30	0
Indicador error ejes	30	0
Total	299	1

A través de los valores asignados a cada una de las pruebas de los distintos actuadores del sistema, se determina que existe una puntuación de 299 aciertos y tan solo un fracaso. En ese sentido, con el software SPSS se determina la prueba Q de Cochran, el cual obtiene los siguientes datos como se demuestra en la figura 108.

Prueba de Cochran

	Frecuencias		Valor	Estadísticos de prueba	
	0	1			
Eje_X_impulso	0	30		N	30
Eje_X_sentido	0	30		Q de Cochran	9,000 ^a
Eje_Y_impulso	1	29		gl	9
Eje_Y_sentido	0	30		Sig. asin.	,437
Eje_Rotación_impulso	0	30		a. 1 se trata como un éxito.	
Eje_Rotación_sentido	0	30			
Indicador_Start	0	30			
Indicador_Stop	0	30			
Indicador_habilitado_ejes	0	30			
Indicador_error_ejes	0	30			

Figura 108. Pruebas de Cochran

En ese aspecto el valor de significancia (p) de la prueba Q de Cochran es de 0,0437 y en base a los criterios de decisión donde $p < 0,05$ se rechaza la hipótesis nula y se concluye que, “La construcción de un robot cilíndrico basado en conceptos de la industria 4.0”

Tabla 12. Pruebas de funcionamiento

Pruebas de Funcionamiento del proceso

Proceso: Clasificación por color	Clasificadas de forma correcta	Clasificadas de forma errónea	Total
Cajas rojas	49	1	30
Cajas verdes	48	2	30

Para evaluar la efectividad del robot en el proceso de clasificación de cajas por color el proceso de clasificación se repitió 100 veces en donde las cajas se enviaban de forma aleatoria en las que se obtuvo el siguiente resultado:

$$\text{Efectividad rojas} = \frac{\text{clasificadas coorrecto}}{\text{clasificadas incorrecto}} * 100$$

$$\text{Efectividad rojas} = \frac{49}{50} * 100$$

$$\text{Efectividad rojas} = 98\%$$

$$\text{Efectividad verdes} = \frac{\text{clasificadas coorrecto}}{\text{clasificadas incorrecto}} * 100$$

$$\text{Efectividad verdes} = \frac{48}{50} * 100$$

$$\text{Efectividad verdes} = 96\%$$

$$\text{Efectividad del proceso} = \frac{\text{efectividad rojas} + \text{efectividad verdes}}{2}$$

$$\text{Efectividad del proceso} = \frac{98\% + 96\%}{2} = 97\%$$

CAPÍTULO IV – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- El diseño del prototipo se basó en principios técnicos de artículos científicos, libros, etc., el cual, se utilizó el software de AutoCAD para el diseño de cada una de las piezas y el espacio de trabajo respectivo. Además, a través de un criterio técnico se seleccionó los componentes, materiales y softwares adecuados para la construcción y diseño del sistema de automatización del prototipo.
- El diseño del sistema de automatización para el robot cilíndrico educativo permitió la integración de tecnologías avanzadas como la programación, la electrónica y la mecánica, lo que permitió la creación de un robot educativo de alta calidad y eficiencia. Además, el diseño del sistema de automatización permitió la interacción del robot con otros dispositivos y sistemas a través de tecnologías de comunicación avanzadas.
- La arquitectura de la comunicación del robot cilíndrico se realizó mediante el PLC que se encuentra en la misma red local con la raspberry pi la misma que mediante el software Node red que se comunicó con una plataforma IoT en este caso Ubidots el cual, permitió el envío y la recepción de los datos de los sensores, actuadores y alarmas.
- La prueba de Q de Cochran determinó el éxito del prototipo con un valor de significancia menor a 0,5, el cual, afirma la hipótesis de la funcionalidad exitosa del sistema y una efectividad del 97% en proceso de clasificación por color . Los resultados de esta evaluación permitieron optimizar y perfeccionar estas características, garantizando un desempeño óptimo y una experiencia de aprendizaje enriquecedora para los estudiantes interesados en la industria 4.0 y la automatización

4.2 Recomendaciones

- Realizar pruebas de validación exhaustivas: Para garantizar la calidad y eficiencia del robot cilíndrico educativo, se recomienda realizar pruebas de validación exhaustivas en diferentes entornos y situaciones. Estas pruebas permitirán identificar posibles errores o fallas en el funcionamiento del robot y corregirlos antes de su implementación en un entorno educativo.
- Integrar tecnologías emergentes: Para mantener la relevancia y actualidad del robot cilíndrico educativo, se recomienda integrar tecnologías emergentes como la inteligencia artificial, el aprendizaje automático y la realidad virtual. Estas tecnologías permitirán mejorar la eficiencia y la calidad del robot, así como proporcionar una experiencia de aprendizaje más enriquecedora para los estudiantes.
- Realizar estudios de impacto: Para evaluar el impacto del robot cilíndrico educativo en el aprendizaje de los estudiantes, se recomienda realizar estudios de impacto que permitan medir la efectividad del robot en la comprensión de conceptos complejos, la motivación y el interés de los estudiantes en el aprendizaje, y la mejora de habilidades como la creatividad y el pensamiento crítico. Estos estudios permitirán mejorar el diseño y la implementación del robot cilíndrico educativo en entornos educativos.

C. MATERIALES DE REFERENCIA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] I. Mahla, J. Rojas V, G. Muñoz y D. Castro, «DISEÑO DE UN SISTEMA ROBÓTICO CARTESIANO PARA APLICACIONES INDUSTRIALES,» *Revista Facultad de Ingeniería - Universidad de Tarapacá*, vol. XI, nº 2, pp. 11-16, 2003.
- [2] J. Elía, Tecnología. Programación y Robótica 2, Madrid: Verbum, 2022.
- [3] T. Domínguez, Visión artificial, Madrid: Marcombo, 2021.
- [4] L. Tarira, E. Tubon y S. Carrillo, «Sistema Inteligente para Control y Monitorización de una Estación Robótica usando Motion Control y Visión Artificial Smart Control and Monitoring System of a Robotic Station Operating with Motion Control and Artificial Vision,» *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, nº 49, pp. 222-236, 2022.
- [5] D. Quilumba, Artist, *PROTOTIPO DE UNA ESTACIÓN DE AUTO-LAVADO UTILIZANDO SISTEMAS DE CONTROL INTELIGENTES*". [Art]. Universidad Técnica de Ambato, 2020.
- [6] S. Amaya, D. Pulgarín y D. Torres, «Development and Implementation of an Artificial Vision System Based on Free Use Languages for the Coach System Products on the Integrated Manufacturing Center (IMC),» *Lampsakos*, nº 15, pp. 43-50, 2016.
- [7] D. Mourtzis, M. Doukas y I. Bernidaki, «Impact of automation on the manufacturing industry performance: A systematic review. International Journal of Production Research,» 2019.
- [8] P. Clement, Python y Raspberry Pi, Barcelona: ENI, 2018.
- [9] F. Conti, Motores paso a paso, Buenos Aires: Alisina, 2017.
- [10] S. Manzano y L. Vite, «Revisión a la Seguridad de Sistemas de Control Industrial que utilizan PLC Siemens S7-1200,» *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de*

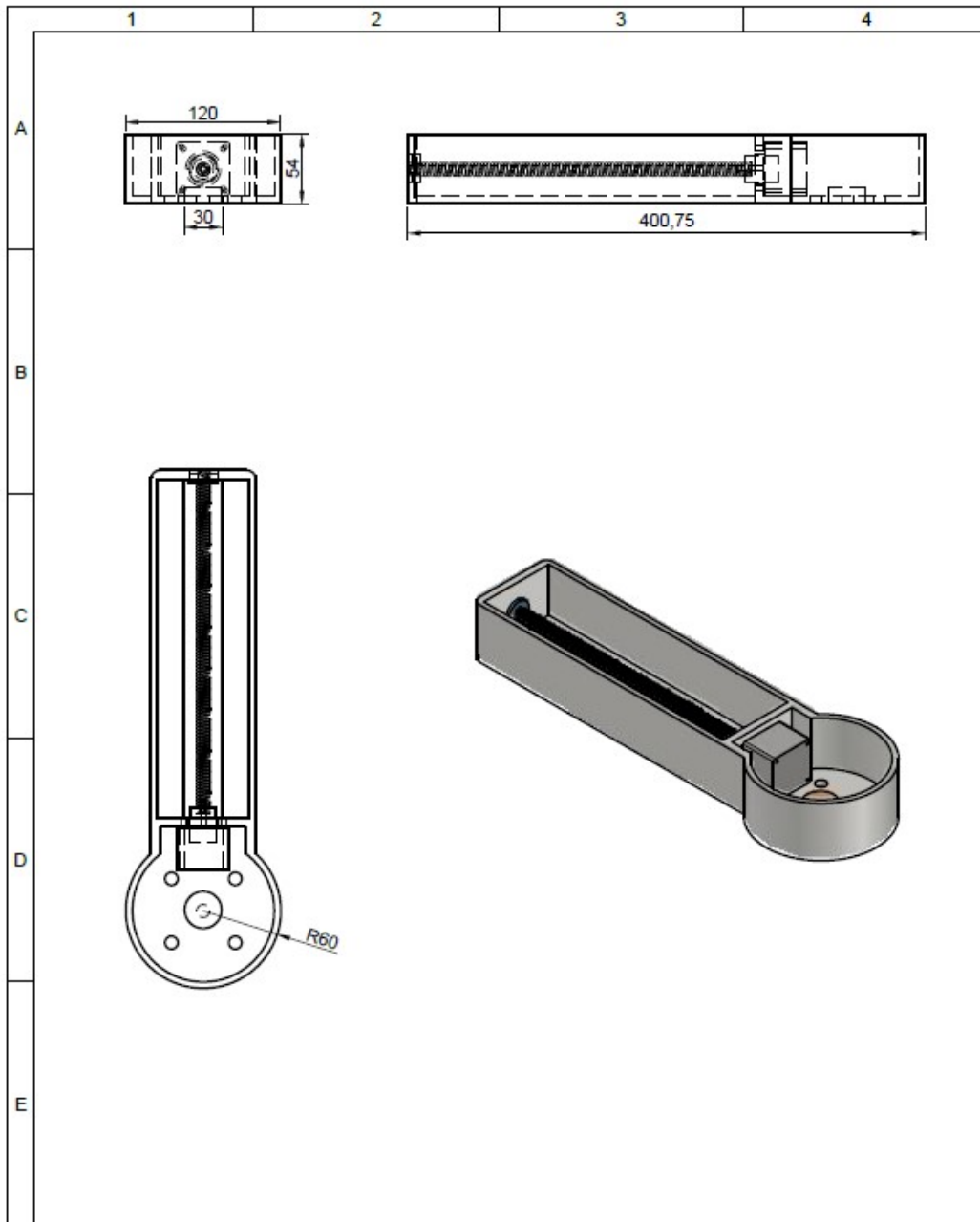
Informação, nº 23, pp. 303-313, 2019.

- [11] J. A. Mercado , *Sistemas programables avanzados*, Madrid: ISBN, 2019.
- [12] M. Bollaín, *Ingeniería de instrumentación de plantas de proceso*, Madrid: ISBN, 2019.
- [13] B. Benton, *Mastering AutoCad*, Toronto: ISBN, 2021.
- [14] L. Peciña, *Programación de controladores avanzados SIMATIC S7 1500 con TiaPortal*, ISBN: Valencia, 2019.
- [15] A. Pineda, *Instrumentación virtual-Fundamentos de programación*, Monterrey: Editorial Digital, 2018.
- [16] S. Suwas, *Industry 4.0 and advanced manufacturing*, Springer, 2022.
- [17] R. Solbes, *Automatismos Industriales*, Valencia: ISBN, 2013.
- [18] O. Morales, «Optimización de una red definida por software basada en la construcción del fractal de Peano, *Computación y Sistemas*,» 2021, pp. 33-45.
- [19] L. F. Lema Oña, *Sistema de Control y Monitorización del Proceso de Limpieza Automática de Gavetas Plásticas Empleadas en el Sectos Alimenticio*, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2023.
- [20] AITeM, *Dictionary of Production Engineering III – Manufacturing Systems*, Berlin: IRP, 2020.
- [21] R. Robles, «Cylindrical robot control,» *Revista de Ingeniería Biomédica y Biotecnología*, vol. II, nº 3, pp. 22-28, 2018.
- [22] «Aplicación Móvil de la Cinemática Directa de un Robot,» *8 Congreso Internacional de Computación México-Colombia*, 2018.
- [23] Í. Jumbo, *Filosofía, tecnociencia e industria 4.0*, Quito: ISBN, 2021.
- [24] V. Kakani, «A critical review on computer vision and artificial intelligence in food

industry,» *Journal of Agriculture and Food Research*, vol. II, p. 100033, 2020.

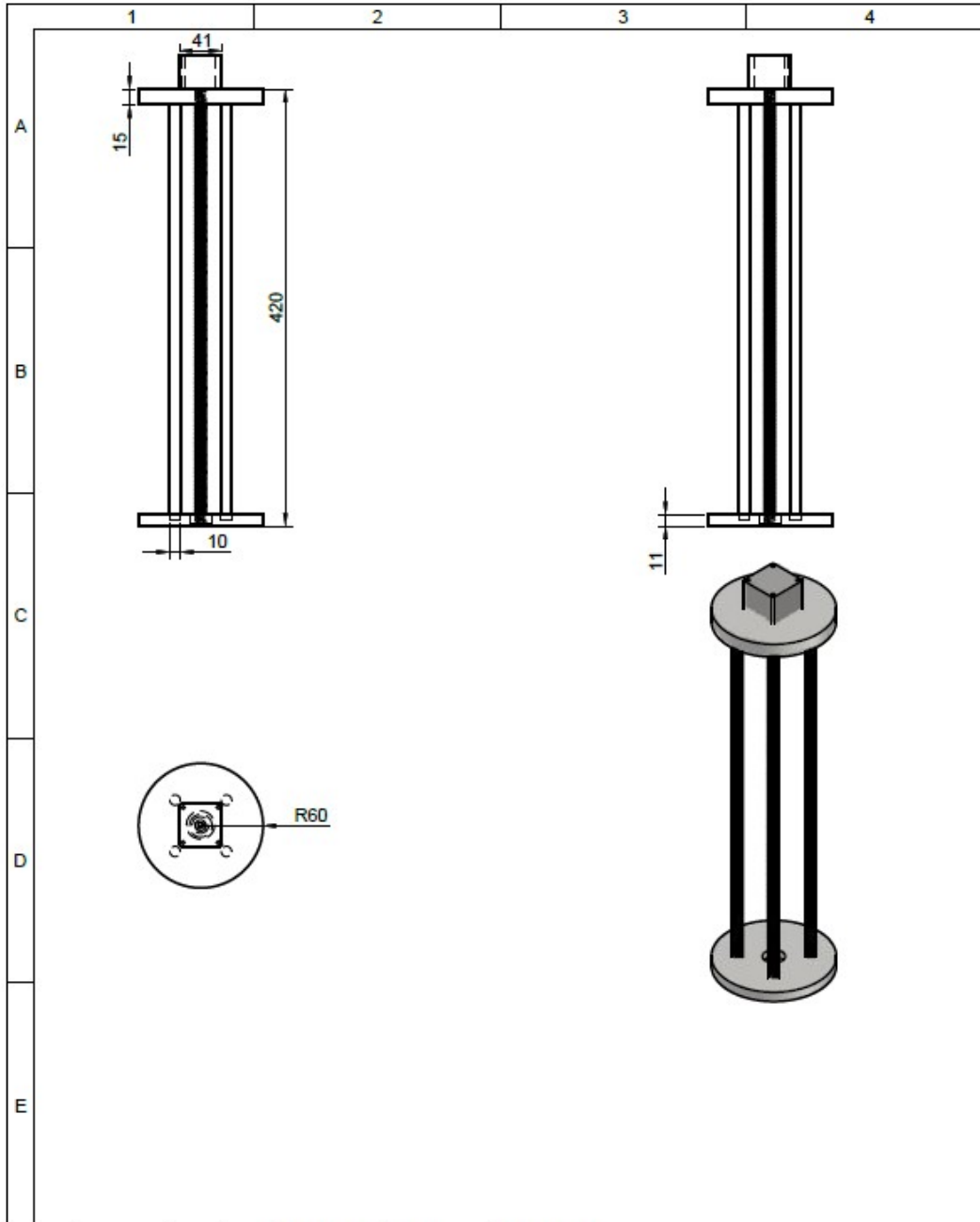
ANEXOS

Anexo 1. Plano del Eje X robot cilíndrico



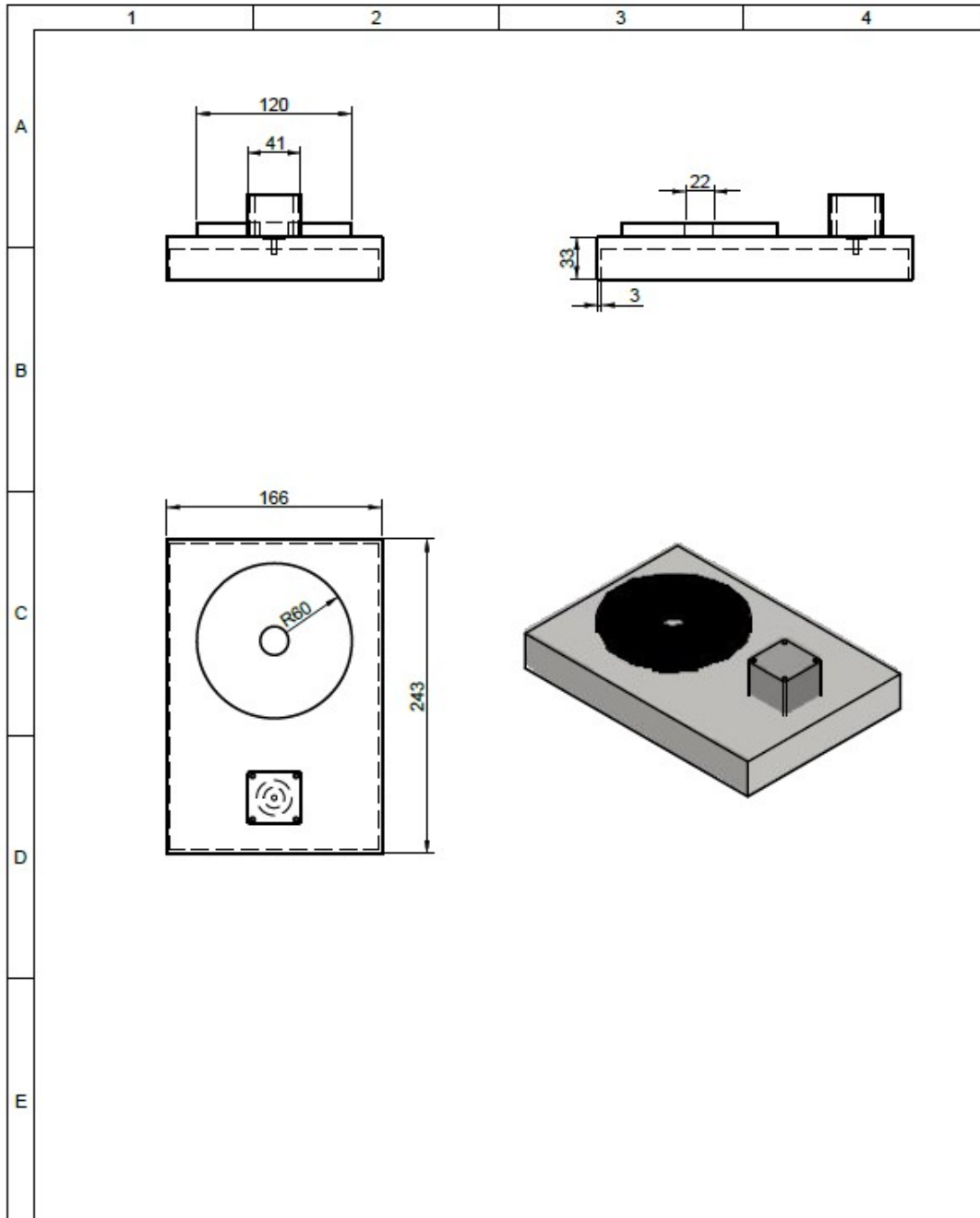
				Tolerancia:	Peso:	Materiales: Acero inoxidable recocido	
						Denominación:	ESCALA:
						Eje X robot cilíndrico	1/4
						Numero de Dibujo:	MARCA DE REGISTRO
						1 de 1	
						Sustitución:	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			


Anexo 2. Plano del Eje Z robot cilindrico



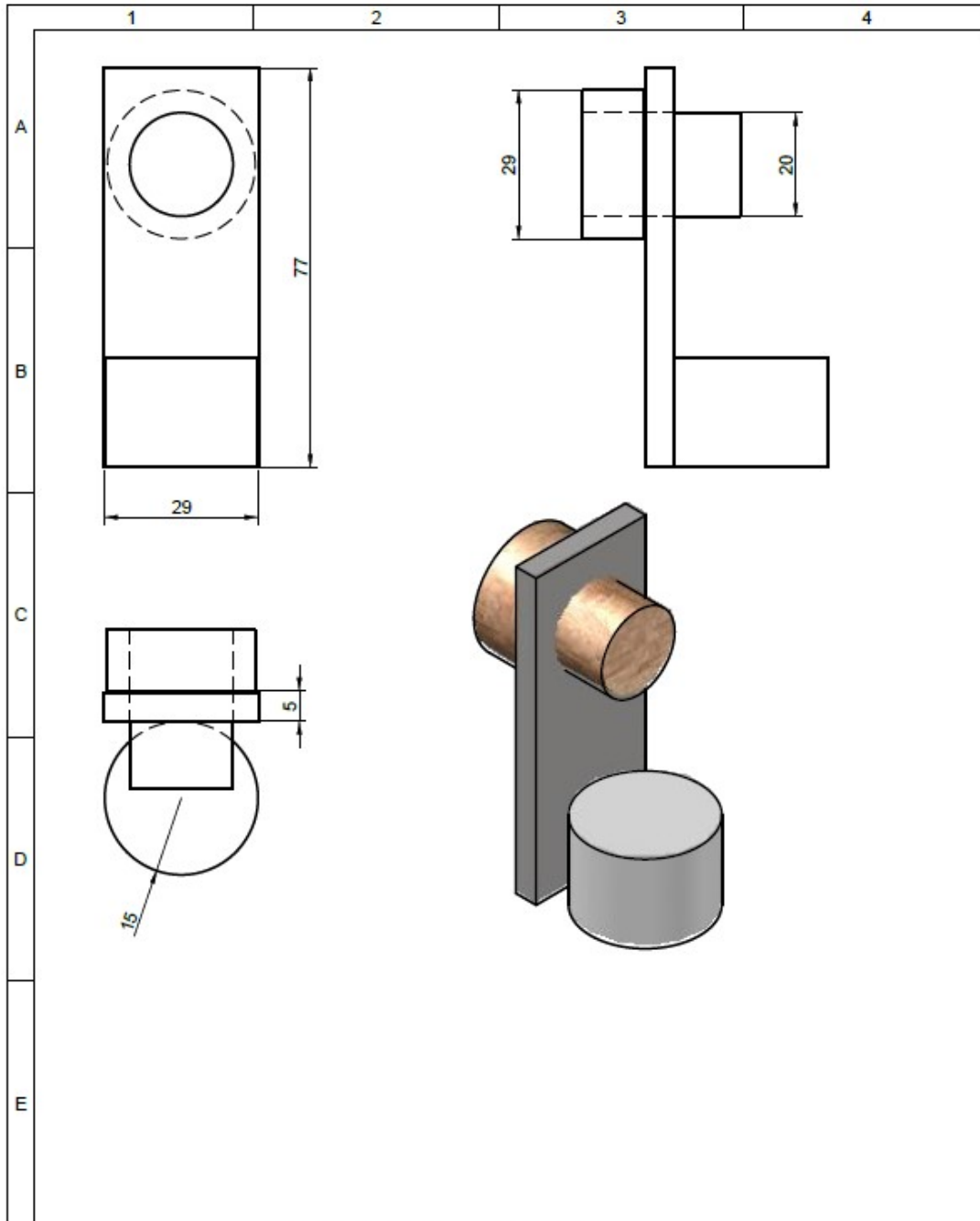
				Tolerancia:	Peso:	Materiales: Acero inoxidable recocido	
						Denominación:	ESCALA:
				Dib.	fecha	Nombre	Eje Z robot cilindrico
				Rev.	24/07/2022	Altamirano A.	
				Apro.			
				UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		Numero de Dibujo:	MARCA DE REGISTRO
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UTA		1 de 1	
						Sustitución:	

Anexo 3. Plano de la Base del robot



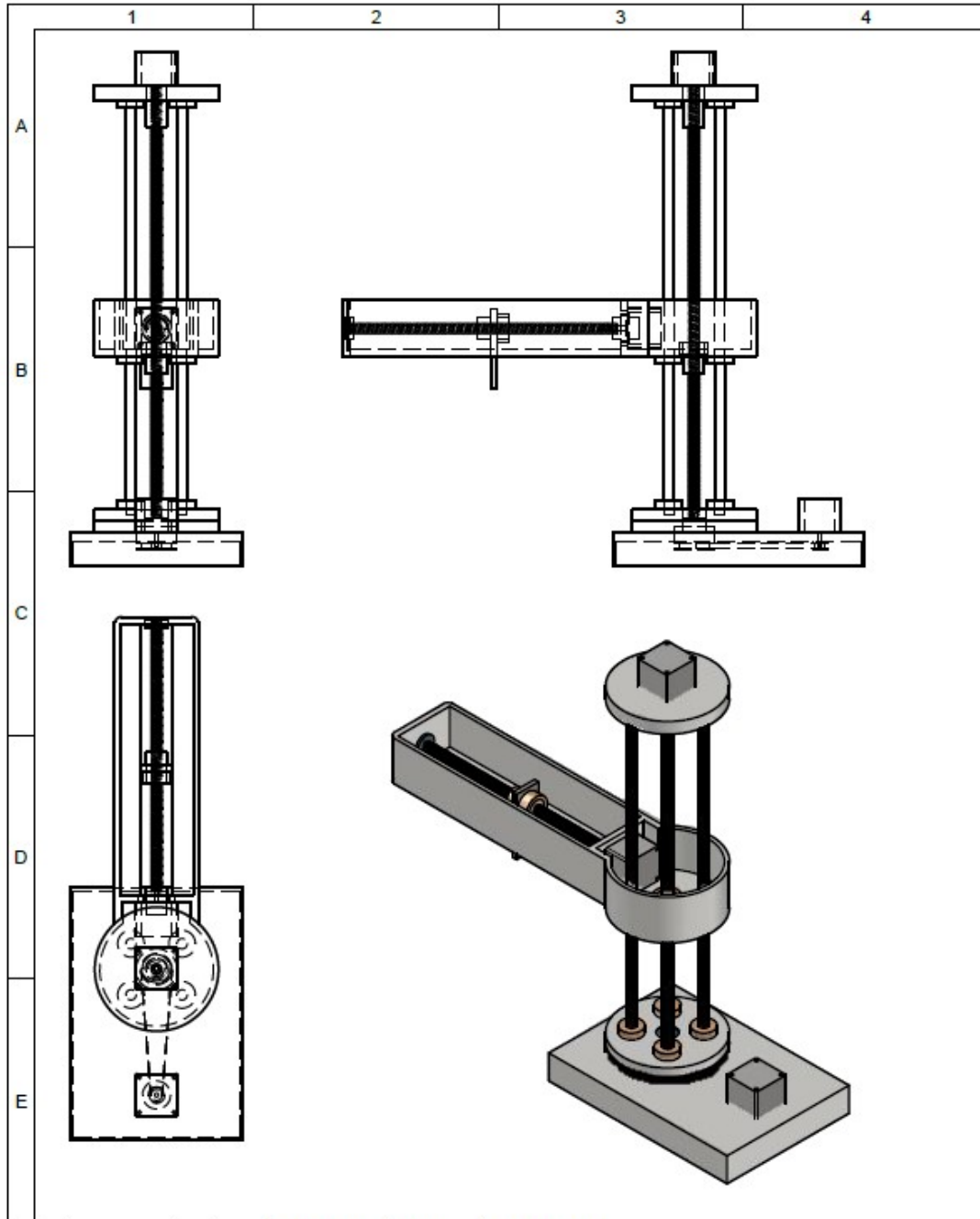
				Tolerancia:	Peso:	Materiales:	
						Acero inoxidable recocido	
				fecha	Nombre	Denominación:	ESCALA:
				Dib.	Alberino A.	Base del robot	1/4
				Rev.			
				Apro.			
				 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		Numero de Dibujo:	MARCA DE REGISTRO
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			1 de 1	
						Sustitución:	

Anexo 4. Plano de Porta herramienta



				Tolerancia:	Peso:	Materiales: Acero inoxidable recocido	
						Denominación:	ESCALA:
				Dib.	fecha	Nombre	1/1
				Rev.		Albertrano A.	
				Apro.			
				 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		Numero de Dibujo:	MARCA DE REGISTRO
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			1 de 1	
						Sustitución:	

Anexo 5. Plano del Robot Cilíndrico Ensamblado



				Tolerancia:	Peso:	Materiales:	
						Acero inoxidable recocido	
				fecha	Nombre	Denominación:	ESCALA:
				Dib.	24/07/2023	Robot Cilindrico Ensamblado	1/5
				Rev.	Albarrano A.		
				Apro.			
				 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		Numero de Dibujo:	MARCA DE REGISTRO
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			1 de 1	
						Sustitución:	



Handson Technology

Data Specs

17HS4401S 1.7A Torque:43N.cm Stepper Motor

A stepper motor to satisfy all your 3D-Printer, robotics, Linear Motion projects needs! This 4-wire bipolar stepper has 1.8° per step for smooth motion and a nice holding torque. The motor was specified to have a max current of 1.7A/phase so that it could be driven easily with common motor shield for Arduino (or other motor driver) and a wall adapter or lead-acid battery. The motors are supplied with a 50cm long power cable with a 4-pin Harwin female connector already fitted - ready to plug and print!

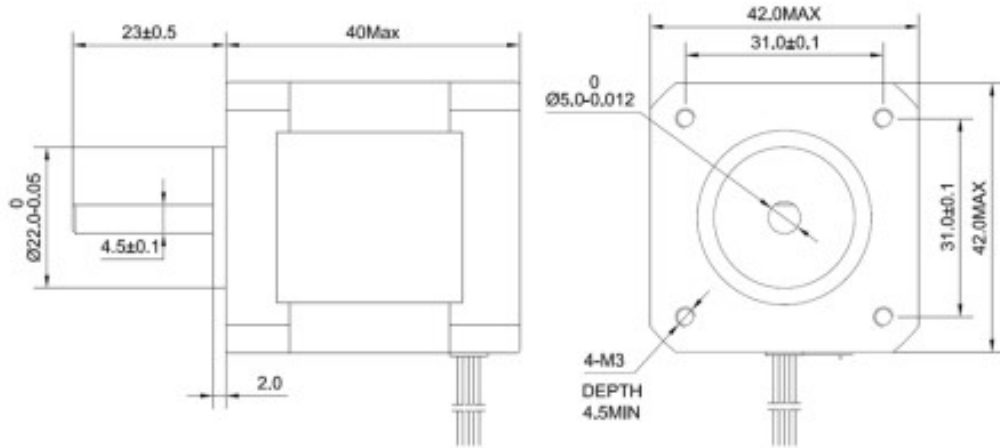


Brief Data:

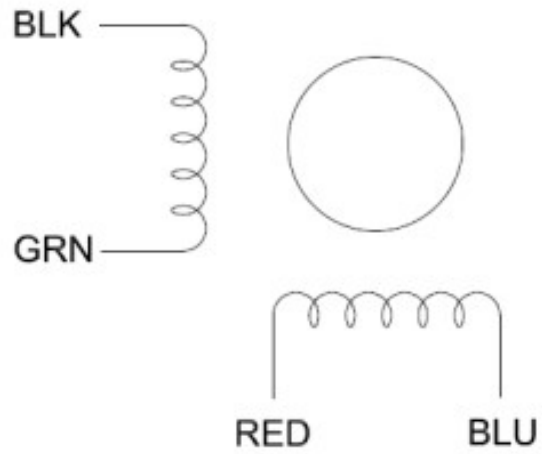
- Nema17 Bipolar.
- Number of Phase: 2.
- Step Angle: 1.8°.
- Phase Voltage: 2.6Vdc.
- Phase Current: 1.7A.
- Resistance/Phase: 1.5Ω ±10%.
- Inductance: 2.8mH ±20% (1KHz).
- Number of Wire: 4 (100cm Length).
- Holding Torque: 43Ncm.
- Shaft Diameter: Ø5mm.
- Motor Length: 40mm.
- Rotor Inertia: 54gcm².
- Temperature rise: 80°C Max.
- Insulation Class: B.
- Dielectric Strength: 500VAC/1-minute.
- Mass: 280g.

Anexo 6. Hoja de datos de 14HS4401S 1.7A Torque

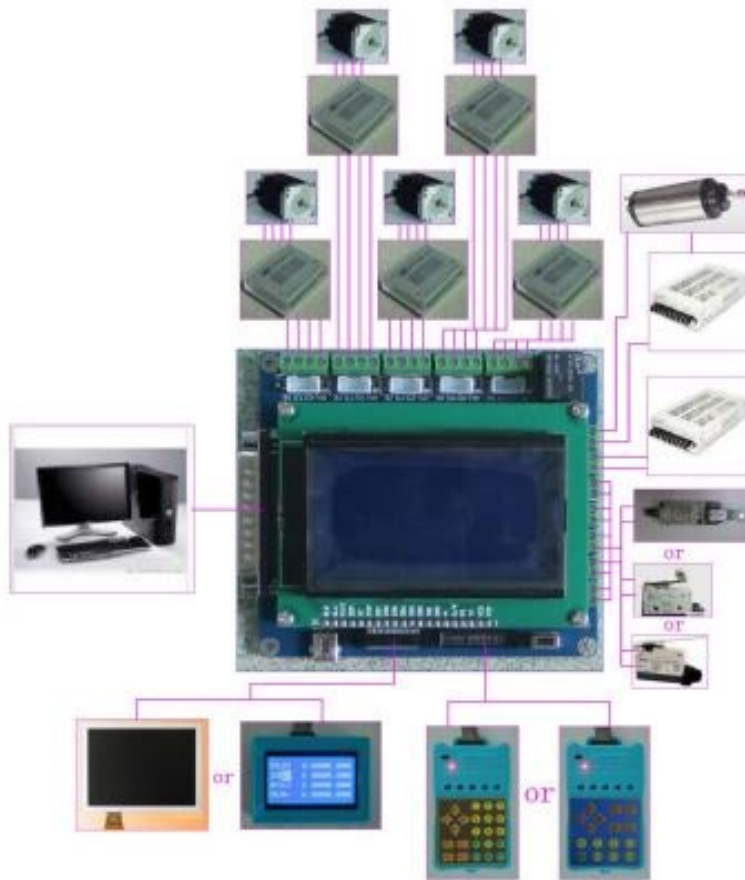
Mechanical Dimensions:



Connection:



Anexo 7. Hoja de datos de HY-DIV268N-5A



—, an overview

HY-DIV268N-5A subdivision-type two-phase hybrid stepping motor drive using DC 12 ~ 48V power supply, suitable for drive

Two-phase hybrid stepping motor dynamic voltage 12 to 48V, the current is less than 5A outer diameter of 35 to 86 mm. This drive using the drive's current loop subdivision control, the motor torque ripple is very small, low-speed running is very smooth, almost no vibration and noise. High-speed torque is much higher than other two-phase drive, high positioning accuracy. Widely used in the engraving machine, CNC machine tools, packaging machinery and other high resolution requirements on the device.

The main features

1 average current control, two-phase sinusoidal current drive output

2 DC 12 ~ 48V power supply, the internal integration of 12V and 5V regulator

Anexo 7. Hoja de datos de HY-DIV268N-5A

5 4 file segmentation and automatic half-streaming capabilities up to 18 segments
 4 file output phase current settings
 7 high starting speed
 8 high-speed torque
 —, the electrical parameters
 Input voltage DC 12 ~ 48V input
 The input current of 1 to 5 amps, select the drive a stepper motor.
 Output current of 0.2A ~ 5A
 Temperature Operating Temperature -10 to 45 °C; Storage temperature -40 °C to 70 °C
 Humidity not condensing, not drops
 Gas prohibit combustible gas and conductive dust
 Weight 200 grams

Control signal interface

Figure 1 is a wiring schematic of the drive

1. the definition of control signals

PUL +: step pulse signal is input side or the positive pulse signal input positive terminal

PUL -: the negative input of the negative input pulse signal or a positive pulse signal

DIR +: stepping direction signal input to the positive terminal or negative pulse signal input to the positive terminal

DIR -: stepping direction signal input of the negative side or reverse step pulse signal input negative terminal

EN +: offline can reset signal input side is

EN -: offline can reset signal input negative terminal

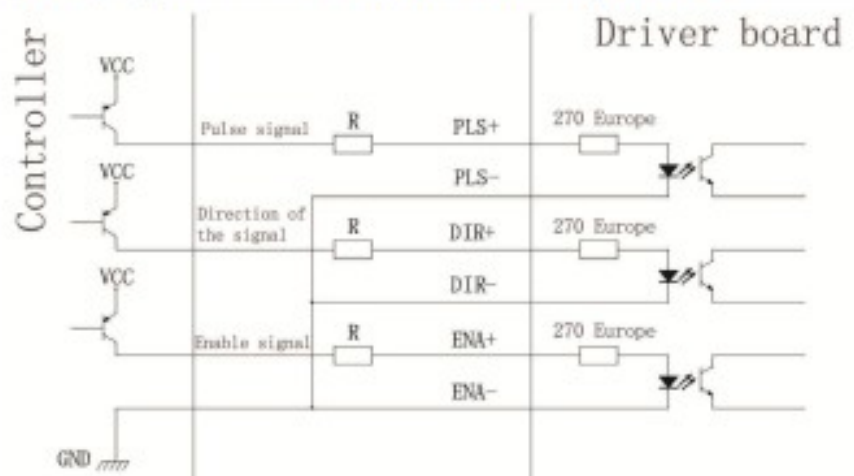
Offline enable signal is active, reset drive failure to prohibit any pulse, the output of the drive Power component is turned off, the motor holding torque.

2. Control signal connections

PC control signal can be high, also can be low effective. When active high, the control signal

The negative side together as a signal to active low, positive side of all control signals together as a signal common.

For example, open-collector and PNP output interface circuit diagram is as follows:



Anexo 8. Hoja de datos de S7-1200, CPU 1214C

SIEMENS

hoja de datos del producto

6ES7214-1AG31-0XB0



SIMATIC S7-1200, CPU 1214C,
CPU COMPACTA, DC/DC/DC,
E/S INTEGRADAS: 14 DI 24V DC;
10 DO 24 V DC;
2 AI 0 - 10V DC,
ALIMENTACION: DC 20,4 -28,8 V DC,
MEMORIA DE PROGRAMA/DATOS 75 KB

Información general	
Ingeniería con	
Paquete de programación	STEP 7 V11 SP2 o superior
Tensión de alimentación	
24 V DC	Si
Rango admisible, límite inferior (DC)	20,4 V
Rango admisible, límite superior (DC)	28,8 V
Tensión de carga L+	
Valor nominal (DC)	24 V
Rango admisible, límite inferior (DC)	20,4 V
Rango admisible, límite superior (DC)	28,8 V
Intensidad de entrada	
Consumo, máx.	1,5 A ; 24 V DC
Intensidad de cierre, máx.	12 A ; con 28,8 V
Alimentación de sensores	
Alimentación de sensores 24 V	
24 V	Rango permitido: 20,4 a 28,8 V
Intensidad de salida	

Intensidad en bus de fondo (5 V DC), máx.	1600 mA ; máx. 5 V DC para SM y CM
Pérdidas	
Pérdidas, típ.	12 W
Memoria	
Tipo de memoria	EEPROM
Memoria de usuario	75 kbyte
Memoria de trabajo	
Integrada	75 kbyte
ampliable	No
Memoria de carga	
Integrada	4 Mbyte
Respaldo	
existente	Libre de mantenimiento
sin pila	Sí
Tiempos de ejecución de la CPU	
para operaciones de bits, típ.	0,085 μ s ; /instrucción
para operaciones a palabras, típ.	1,7 μ s ; /instrucción
para aritmética de coma flotante, típ.	2,5 μ s ; /instrucción