

Simulación y Automatización de una celda robótica

Simulation and Automation of a robotic cell

Ricardo Balcazar Montes de Oca^{1a}, Gabriela Saavedra González², Jaime Pacheco Martínez³,
José de Jesús Rubio Ávila⁴, Isaac Hernández⁵, Sofía Díaz⁶

Abstract:

The automation and linkage of manufacturing cells is seen more frequently in different industries, some examples of them are with machining carried out by numerical control and others where a robotic manipulator is used, some cases of them are the manufacturing industries of screws or assemblers automotive.

In this work the automation of a robotic cell is seen which has a robot with two degrees of freedom Cartesian type and two conveyor belts. The objective of this work is to assemble piece A on piece B, said pieces move through two conveyor belts and these are hindered when the assembly stage is carried out. The first chapter shows the development of the HMI and the configuration of the tags that are going to be used for programming the PLC. In the second chapter you see the electrical and pneumatic connections and the integration of other types of cards and in the third chapter you see the programming of the automaton. The work simulations are carried out in the "NEXT-GEN PLC TRAINING" environment and the use of the PLC version 8 logo, where a 3D simulation of the actual operation of the process can be seen.

Keywords:

Automation, Cartesian robot, HMI

Resumen:

La automatización y la vinculación de celdas de manufactura se ve con mayores frecuencias en diferentes industrias, algunos ejemplos de ellos son con maquinados realizados por control numérico y otros donde se utiliza un manipulador robótico, algunos casos de ellos son las industrias manufactureras de tornillos o ensambladoras automotrices.

En este trabajo se ve la automatización de un robot de dos grados de libertad tipo cartesiano y dos bandas transportadoras. El objetivo de dicho trabajo es ensamblar la pieza A sobre la pieza B, dichas piezas se mueven a través de dos bandas transportadoras y estas se detienen cuando se realiza la etapa del ensamble. En el segundo capítulo se desarrolla el diseño en 3D del robot, el diseño se realiza en SolidWorks. En el tercer capítulo se realiza la interfase hombre maquina (HMI siglas en inglés) donde se configuran los TAGS que se utilizan para la programación del autómatas y la configuración del direccionamiento IP para sus comunicaciones tipo PROFINET, donde se usa la una tarjeta de red ethernet (Qualum Atheros AR8161 PCI E). En el cuarto y quinto capítulo se desarrollan las conexiones de instrumentación eléctrica y electrónica, de actuadores y de controladores. Las cuales tienen una interconexión con el PLC. En el sexto capítulo se ve la programación en escalera del autómatas y sus comunicaciones industriales. En el séptimo capítulo se observan las simulaciones y experimentaciones del trabajo.

Palabras Clave:

Automatización, robot cartesiano, HMI

^{1a} Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco (TESCo), Tecnológico Nacional de México (TECNM) Coacalco de Berriozábal, Estado de México, <https://orcid.org/0000-0003-0384-8616>, Email: alejandrob.alcazar@tesco.edu.mx

^{2,3,4} Sección de Estudios de Posgrado e Investigación (SEPI), ESIME Azcapotzalco, Instituto Politécnico Nacional, México, <https://orcid.org/0009-0004-2230-6198>, Email: gabriela23@outlook.com; <https://orcid.org/0000-0002-2377-1639>; jpachecoma@ipn.mx, <https://orcid.org/0000-0002-2005-5979>, jrubioa@ipn.mx

^{5,6} Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco (TESCo), Tecnológico Nacional de México (TECNM) Coacalco de Berriozábal, Estado de México, <https://orcid.org/0000-0002-9730-5438>, isaac.subb@tesco.edu.mx; <https://orcid.org/0009-0003-9481-5613>, frida_sofia_diaz.ind@tesco.edu.mx

1. Introducción

La automatización y la robótica van creciendo de la mano conforme crecen las necesidades de la humanidad. Esto debido a que los productos requieren más calidad, además de una mayor cantidad de producción.

Un ejemplo de ello es en [1] el cual habla de cómo controlar la salida de vapor donde se utiliza un controlador PLC basado en la lógica difusa, la automatización reduce la mano de obra y la complejidad de tiempo, reduce el riesgo de cometer errores y evita cualquier peligro. La salida de vapor se controla por Servo Motor, se mide y controla mediante lógica difusa con la ayuda del controlador PLC, la función de la corriente del alternador y la señal del voltaje, la lógica difusa decidirá el punto de ajuste de la salida de vapor y el sensor de la válvula de vapor cierra o abre mediante un servomotor que está conectado al PLC.

De una manera muy similar en el trabajo de [2] se ha utilizado la automatización en la vida diaria de las personas, la tecnología PLC tiene las características de alta confiabilidad, flexibilidad y facilidad de uso, por lo que es importante que la tecnología PLC aparezca en el control automático eléctrico.

Por otro lado, en [3] se realiza el tendido subterráneo de cables, el cual se está volviendo muy popular ya que es una alternativa al tendido aéreo de telecomunicaciones y líneas de transmisión de energía, lo ocupan los países más desarrollados ya que es más costoso que el tendido de cables aéreos. Donde también implementa la automatización en una máquina de cabrestante de tracción de cable operada manualmente utilizando un controlador lógico programable (PLC).

Un trabajo similar está en [4] donde es realizado un ajuste a la máquina BFP160 mediante la introducción de la técnica de control PLC, el cableado de control físico fue reemplazado por un controlador lógico programable (PLC), esto disminuye las averías y el número de incidencias con la aplicación de mantenimientos preventivos y/o predictivos.

En la automatización de procesos electromecánicos es posible combinar el modelo PLC con otros dispositivos, como GSM para proporcionar la detección de fallas, tolerancia y encendido y apagado en áreas sensibles. Todo esto para diseñar un sistema que rastreará los electrodomésticos automáticamente y generará notificaciones o tomará decisiones inteligentes utilizando el modelo IoT [5].

La tecnología PLC en automatización eléctrica es de seis aspectos: aire acondicionado, minería del carbón, control numérico, transporte, sistema de potencia y sistema de control eléctrico de tornos. [6].

Un actuador y un transmisor forman un bucle de control regulatorio que está diseñado para una plataforma computacional a través de IoT (por sus siglas en inglés “Internet of Things”), los cuales crean un respaldo para un sistema de control confiable habilitado (por sus siglas en inglés “DepCS”) el cual aplica la restricción de autorrecuperación que se presenta en la segunda parte del trabajo. Ver-[7]

Los vehículos eléctricos (EV) están emergiendo de estrategias favorables para satisfacer las preocupaciones ambientales y la insuficiencia energética. Buscando un pronóstico basado en servidor en tiempo real para vehículos eléctricos con un costo económico y un tiempo de carga reducido. Esta aplicación sinérgica se construye a través del lenguaje de programación PHP en el sistema operativo Linux UBUNTU 16.04 LTS, y toda la información se procesa y administra a través del lenguaje de consulta estructurado en la nube (CSQL) desde una plataforma en la nube de Google. La efectividad también se valida a través de un sistema de prueba de bajo costo que utiliza LTC 4150, módulo Wi-Fi ESP 8266 y Arduino.[8]

La automatización y utilización en las industrias de plantas de procesos proceso y la estructura de costos del proceso. Los avances en la ingeniería de sistemas CAD y su usabilidad en necesidades de gestión de la información a lo largo de la vida útil de las plantas de proceso. También se presenta una aplicación de un sistema CAD de ingeniería avanzada para la gestión de la información de automatización en una refinería de petróleo.[9]

Este artículo presenta una técnica innovadora de sistema de control multi-inteligente (MICS) de una bomba de agua y una estación de bombeo, que está diseñada para uso del sector agrícola. El componente principal de MICS consta de tres sistemas de control, incluida la electrobomba y el nivel de agua en depósitos y sistemas de control de alarma que es manejable desde cualquier lugar y en cualquier momento, el modelo se aplica a un caso práctico para demostrar la eficacia de la propuesta de sistema de control que además de aumentar la eficiencia y la productividad del sistema de gestión del agua, se puede ahorrar hasta un 60 % del agua.[10]

HyProCell construye plataformas de fabricación automatizadas que integran procesos de fabricación basados en láser e incluyen soluciones novedosas como sistemas y máquinas automáticas de eliminación de polvo y brazos robóticos en células de producción multiproceso integradas. El enfoque HyProCell puede construir piezas de forma aditiva desde cero y acabarlas en una única célula de producción coherente, o preparar las piezas mediante mecanizado y añadir características aditivas basadas en láser, consiguiendo formas que de otro modo serían imposibles [11].

Se propone un sistema basado en IA que consta de tres módulos capaces de captar el estado del operario, del entorno y del proceso, e identificar las tareas que está ejecutando el operario para que, gracias a esto, se proporcione asistencia personalizada al operario desde el robot para tareas compartidas, adaptándose a las necesidades y preferencias del operario. Además, el sistema es capaz de evaluar la ergonomía de las tareas compartidas entre humanos y robots y adaptar la postura del robot para mejorar la ergonomía mediante un algoritmo de búsqueda basado en heurística [12].

Presenta un marco gestual para controlar un manipulador robótico colaborativo mediante gestos de señalización en el contexto de la Industria 4.0. El principio básico reside en la capacidad del usuario para enviar el efector final del robot al lugar hacia el que señala con la mano. En torno al marco gestual se ha diseñado un espacio de trabajo colaborativo robótico único denominado Complex Collaborative HRI Workplace (COCOHRIP) para evaluar el método y sentar las bases para el futuro desarrollo de aplicaciones HRI [13].

Para hacer frente a la poca fiabilidad de los manipuladores robóticos, se propone un método de optimización de la fiabilidad de las células robotizadas, basado en el gemelo digital y el mantenimiento predictivo. Para que de este modo se pueden aplicar las tareas de mantenimiento adecuadas, evitando que la célula robótica sufra fallos graves y garantizando una alta fiabilidad [14].

Propone una estrategia de control basada en la optimización de la posición de agarre para el manipulador blando. En base a la simulación, se seleccionó una red neumática con canales de tipo función escalonada para el manipulador blando propuesto. Además, se establecieron los modelos cinemáticos, mecánico y de agarre del manipulador, y se introdujo una estrategia de control para detectar la posición óptima del manipulador. Los experimentos demostraron que la presión interna del manipulador blando se redujo en un 13,05% en la posición óptima, lo que ayudó a mitigar los daños por fatiga del manipulador blando y prolongó su vida útil [15]. A/D/RML presenta la comunicación y control de una tecnología multifuncional para la fabricación flexible en una línea de montaje, desmontaje y reparación, asistida por un sistema autónomo complejo. Consiste en una línea mecatrónica de seis estaciones de trabajo conectada a una célula flexible equipada con un manipulador robótico industrial de seis grados de libertad. La multifuncionalidad viene dada por las tres acciones, montaje, desmontaje y reparación, mientras que la flexibilidad se debe al montaje de diferentes productos. Debido a la diversidad de equipos de comunicación y control, esta tecnología cumple los requisitos específicos de la Industria 4.0 [16].

Dentro del desarrollo de este trabajo es importante realizar el diseño en 3D un trabajo que brinda apoyo es el [17], el cual presenta la novedosa construcción de un robot de manipulación de sustratos de vidrio, que adopta tecnología de succión biónica para agarrar el sustrato con mayor firmeza. Este robot puede transferir dos piezas de sustrato de vidrio a la vez, y mejora la eficacia del trabajo.

Con el desarrollo de la ciencia y la tecnología, la automatización y la electricidad se ha utilizado ampliamente en la vida cotidiana de las personas han desempeñado un papel muy importante en la producción social. La tecnología PLC tiene las características de alta fiabilidad, flexibilidad y facilidad de uso, por lo que es de vital importancia que la tecnología PLC aparezca en el control automático eléctrico [18].

Las máquinas de cabrestante son útiles en el tendido de cables subterráneos. El objetivo principal del proyecto es reemplazar todas las funciones mecánicas con controles eléctricos que se operan a través de una pantalla táctil (HMI) [19].

Este proyecto elimina por completo la conexión cableada físicamente presente en la máquina BFP160 convencional mediante la introducción de la técnica de control PLC, Este diseño implementa la operación de la máquina para cambios sin problemas y rectificación de errores en el sistema al reducir la cantidad de contratistas retenidos por relés.[20]

El controlador lógico programable (PLC) se usa comúnmente para la automatización de procesos electromecánicos. Se está desarrollando un sistema domótico mediante PLC. El diseño del sistema de automatización del hogar inteligente se llevó a cabo utilizando Delta PLC (controlador lógico programable). Se diseñó un sistema que rastreará los electrodomésticos automáticamente que generará notificaciones por correo electrónico, mensajería y tomar decisiones inteligentes utilizando el modelo IoT. La contribución clave es el uso de IoT para rastrear y regular el mercado en industrias con inteligencia artificial. Al optimizar todo el ensamblaje y algoritmos del hardware, el dispositivo Delta PLC es ajustable para satisfacer las demandas, incorporando distintos electrodomésticos en poco tiempo. [21]

Este artículo resume la importancia de la aplicación y las ventajas de la tecnología de PC en el control de automatización eléctrica en base a la experiencia laboral previa. El autor analiza la aplicación práctica de la tecnología PLC en la automatización eléctrica desde seis aspectos: aire acondicionado, minería del carbón, control numérico, transporte, sistemas de potencia y sistemas de control eléctrico de tornos.[22]

2. Diseño del robot cartesiano

En esta sección se realiza el diseño en 3d del robot, esto con el objetivo de ver que instrumentación electrónica va a necesitar y con ello saber la cantidad de entradas y salidas. Para dicho diseño se usó el software de SolidWorks, esta se puede ver en Figura 1.

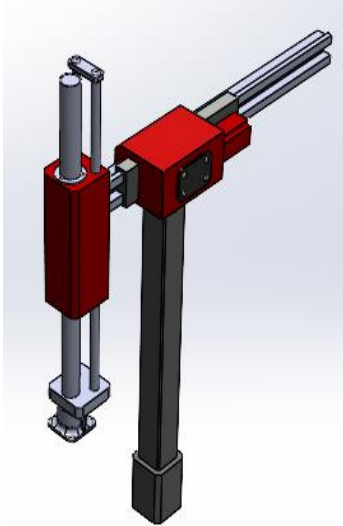


Figura 1.- Robot cartesiano.

Los ejes que van a tener movimiento son los que están de color rojo, el otro es la base del robot. En las siguientes figuras se va a ver el desglose del robot cartesiano. En Figura 2, se ve el ensamble del eje “X”.

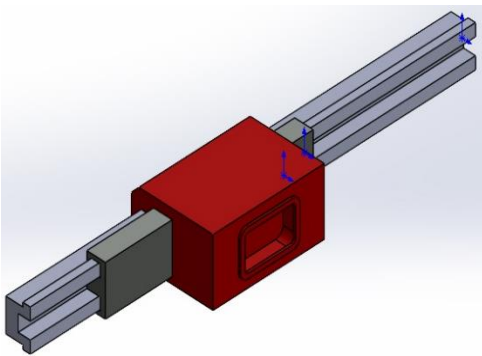


Figura 2.- Ensamble del eje “X”.

En la Figura 3, se observa el ensamble del eje “Z”. Al momento de la integración del HMI se va colocar un interruptor de limite esto con el fin de que los motores de los ejes no trabajen de más, aunado a ello facilitan más su programación.



Figura 3.- Ensamble eje “Z”.

3. Diseño de la interface hombre maquina (HMI)

En este capítulo lo que se desarrolla es el HMI en base al diseño en 3D que se propuso, el desarrollo de dicha interfaz se realiza en “NEXT-GEN PLC TRAINING (Factoy IO)”

Como primer punto se realiza el diseño del espacio de trabajo, donde se agrega el robot cartesiano como se ve en Figura 4.



Figura 4.- Robot cartesiano en “Next-Gen”

Posteriormente se empieza agregar la instrumentación necesaria, como son sensores y botones, como se ve en Figura 5



Figura 5.- Escenario etapa 1.

Para este trabajo solo se agregaron 5 entradas, las cuales son un botón normalmente abierto el cual dará el arranque del sistema, un botón normalmente cerrado el cual dará el paro del sistema, un sensor infrarrojo el cual detecta si hay un objeto debajo de él, un sensor de límite para el eje x y otro sensor de límite para el eje z. Posteriormente se agregan 2 bandas donde cada banda contiene:

1. 2 pistones de doble efecto el cual retiene los objetos y los acomoda se les puede dar el nombre de “posicionadores”, cada uno de estos posicionadores tiene:
 - a. Sensor magnético de inicio de carrera del pistón
 - b. Sensor magnético de fin de carrera del pistón.
2. 2 sensores infrarrojos los cuales detectan si un objeto se encuentra en cierta posición
3. Motor de la banda transportadora.

Esto se puede ver en la Figura 6

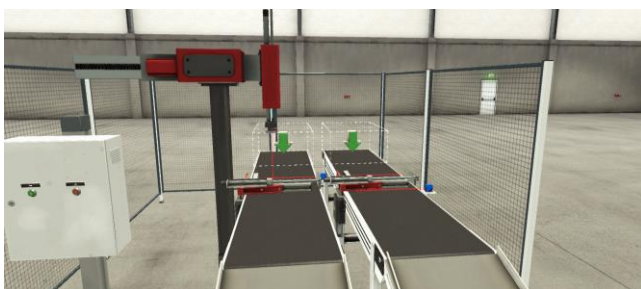


Figura 6.- Escenario de trabajo

Por otro lado, se realiza la configuración de los protocolos industriales donde es necesario los direccionamientos con el cual cuenta el PLC y la tarjeta de gráficos que usa el equipo de cómputo. Esto se muestra en la Figura 7

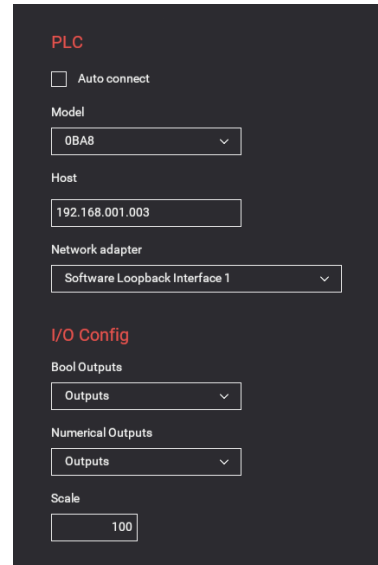


Figura 7.- Comunicaciones para la HMI.

Uno de los puntos importantes es la vinculación de los “tags” del software de diseño con los registros de las entradas y salidas del autómat. Esto se puede ver en la Figura 8.



Figura 8.- Conexiones virtuales del HMI.

4. Conexiones eléctricas de las entradas del autómat

Para esta capitulo es necesario saber el tipo de entradas y la cantidad de entradas que se van a utilizar. Donde la cantidad de entradas son siete y son entradas de tipo digital. Esto se puede ver en la Tabla 1

Número de entrada	Tipo	Descripción
11	Digital	Botón normalmente abierto. Botón para el arranque del proceso
12	Digital	Botón normalmente cerrado. Botón para el paro de las bandas y los emites

I3	Digital	Sensor de tipo infrarrojo para la banda “A”. Detecta si hay una tablilla
I4	Digital	Sensor de tipo infrarrojo para la banda “B”. Detecta si hay una tablilla
I5	Digital	Sensor de tipo infrarrojo del eje “Z”. Detecta si ya tomo algún objeto
I6	Digital	Sensor de limite del eje “X”. Detecta si el eje “X” se activa o desactiva
I7	Digital	Sensor de tipo infrarrojo para la banda “B”. Detecta si la tablilla ya paso por una etapa anterior.

Tabla 1.- Tabla de las entradas para el PLC

Tomando en cuenta la Tabla 1, se realizan los diagramas eléctricos. Como primer punto se realizan las conexiones de los sensores, como se puede ver en la Figura 9

Conexiones de los sensores

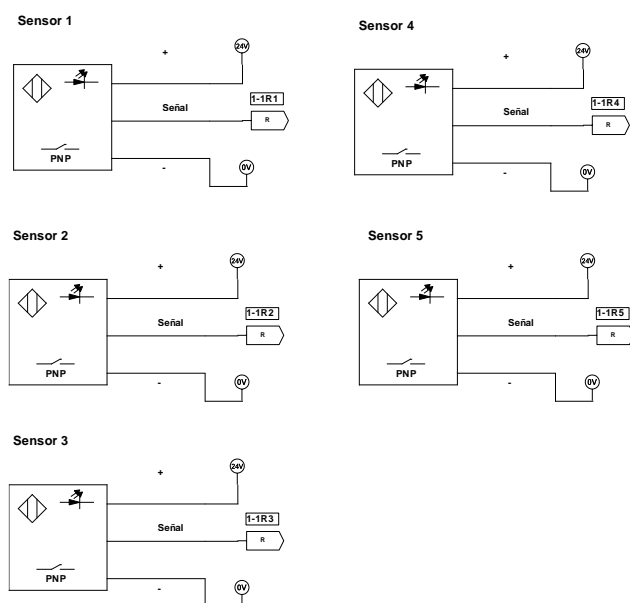


Figura 9.- Conexiones de los sensores.

El diagrama de conexiones de las entradas del PLC se ve en la Figura 10. El tipo de entradas que se van a utilizar son de tipo digital y a 24 Vcd. Esto con el objetivo de separar los voltajes alternos con respecto a los voltajes de corriente directa. Las entradas donde se encuentran las etiquetas “1-1R1” son las salidas de los sensores.

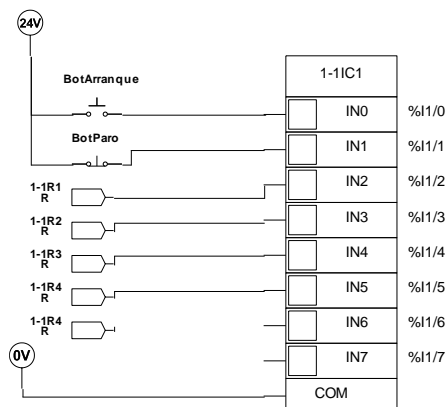


Figura 10.- Conexiones de las entradas del PLC

5. Conexiones eléctricas de las salidas del autómata

Para esta sección es necesario saber la cantidad y el tipo de salidas que se van a utilizar. Donde la cantidad de salidas son diez y son de tipo digital, las cuales mandan un voltaje de 24 Vcd. Esto se puede ver en la Tabla 2.

Número de salida	Tipo	Descripción
Q1	Digital a transistor	Salida para la activación de la banda “A”
Q2	Digital a transistor	Salida para la activación de la banda “B”
Q3	Digital a transistor	Salida para la activación del emiter “A”
Q4	Digital a transistor	Salida para la activación del emiter “B”
Q5	Digital a transistor	Salida para la activación del pistón “A”
Q6	Digital a transistor	Salida para la activación del pistón “B”
Q7	Digital a transistor	Salida para la activación del eje “Z”
Q8	Digital a transistor	Salida para la activación del aire
Q9	Digital a transistor	Salida para la activación del eje “X”
Q10	Digital a transistor	Salida para la activación del pistón “B”

Tabla 2.- Salidas del PLC

Tomando en cuenta Tabla 2, se realizan los diagramas eléctricos de conexiones para las salidas del PLC. Esto se ve en la Figura 11.

Salidas del PLC

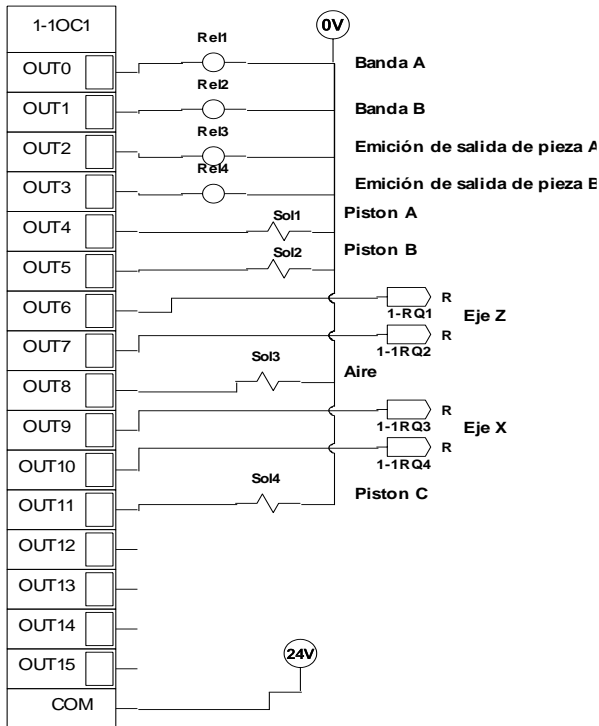


Figura 11.- Conexión de salidas del PLC.

Tomando en cuenta dichas salidas se realiza las conexiones eléctricas, electrónicas y neumáticas.

Para las primeras cuatro salidas son diagramas de tipo eléctrico esto se puede ver en Figura 12.

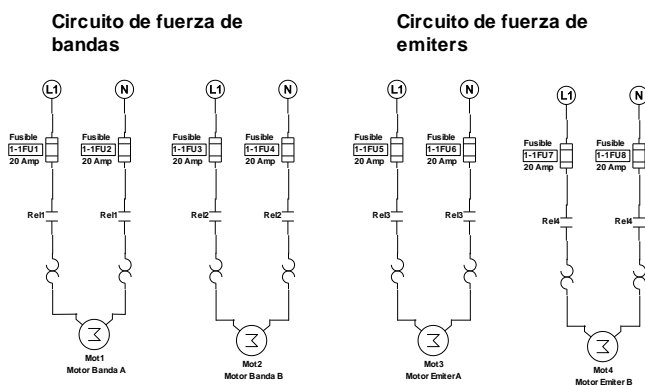


Figura 12.- Conexión eléctrica de bandas y emiteres

Para las conexiones electroneumáticas se pueden ver en Figura 13 y las correspondientes a los pistones que bloquean las piezas "A" y "B" y para el aire que sirve para succionar las piezas.

Se utilizan cilindros de simple efecto con muelle, esto con el fin de ahorrarse una electro válvula por cada pistón. Las electroválvulas son normalmente cerradas y tienen un mecanismo de auto regreso, el cual es conocido como muelle, la activación de la recámara de las electroválvulas es por medio de un solenoide.

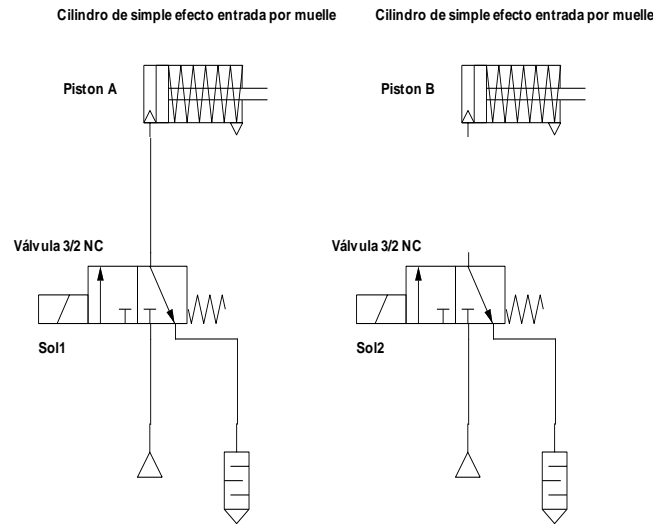


Figura 13.- Circuito electroneumático 1.

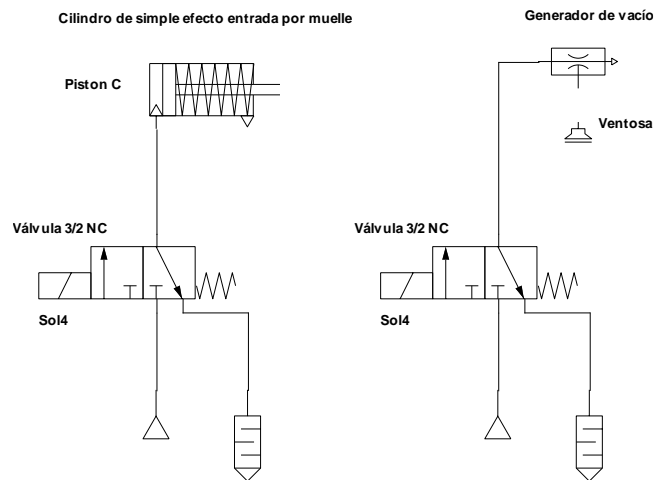


Figura 14.- Circuito electroneumático 2

Para la Figura 14, en el circuito neumático se utiliza un generador de vacío y una ventosa y de igual manera se usan electroválvulas normalmente cerradas.

Para el movimiento de los ejes del robot (eje "X" y eje "Z") se realiza la conexión eléctrica y electrónica a dos motores de pasos. Se usan motores de paso debido a su precisión en su posición. Para poder activar o mover dichos motores es necesario utilizar una tarjeta controladora la cual se encarga de mandar la cantidad de pasos solicitados, esto se ve en la Figura 15 y en la Figura 16.

Circuito de fuerza del eje Z

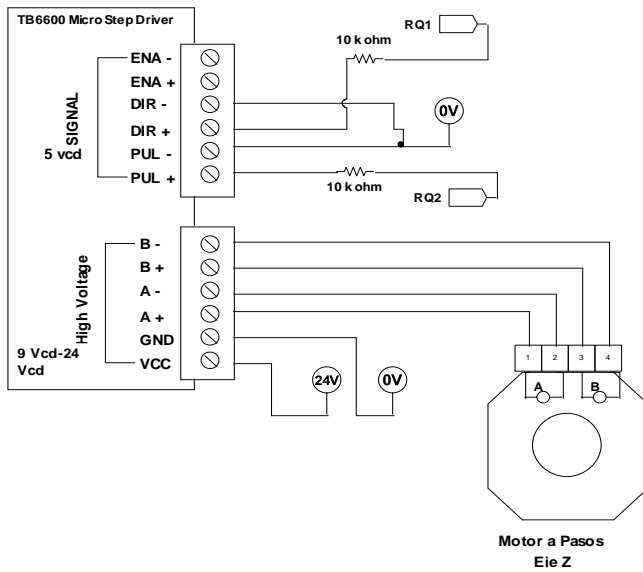


Figura 15.- Conexión del motor a pasos del eje “Z”

Circuito de fuerza del eje X

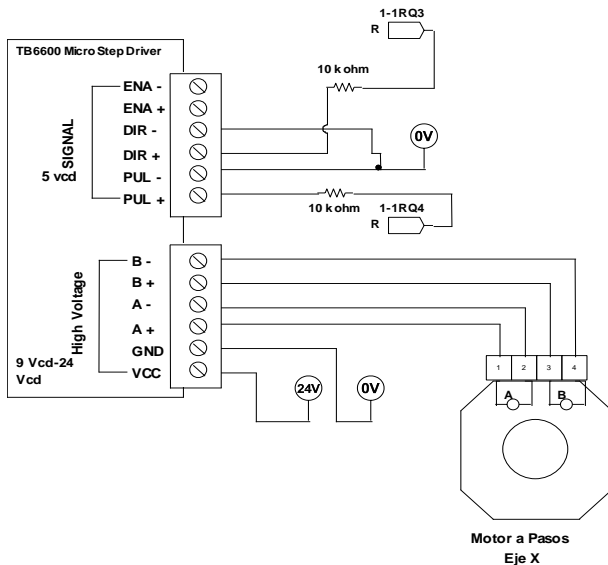


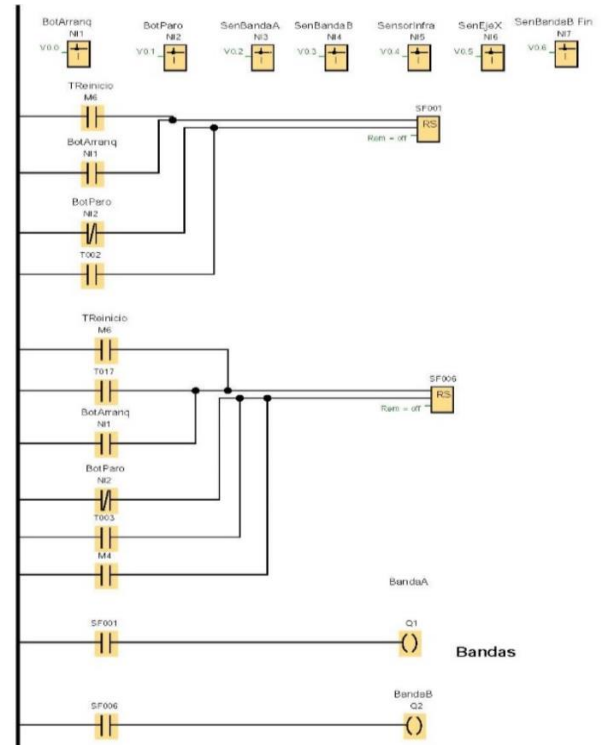
Figura 16.- Conexión del motor a pasos del eje “X”

6. Desarrollo de la programación del autómatas y sus comunicaciones industriales.

Para el desarrollo de esta sub – sección se realiza la programación en el software de LOGOSOFT versión 8.2. Donde con un solo botón normalmente abierto realiza el proceso de manera automática y con un botón normalmente cerrado para todo el proceso.

En esta programación se van a utilizar botones y sensores virtuales, los cuales en total son 7 entradas de este tipo. Sin embargo, las salidas van a ser físicas, esto

es con el objetivo de comprobar la secuencia de la programación. Dicha programación se puede ver desde la Figura 17 hasta la Figura 22



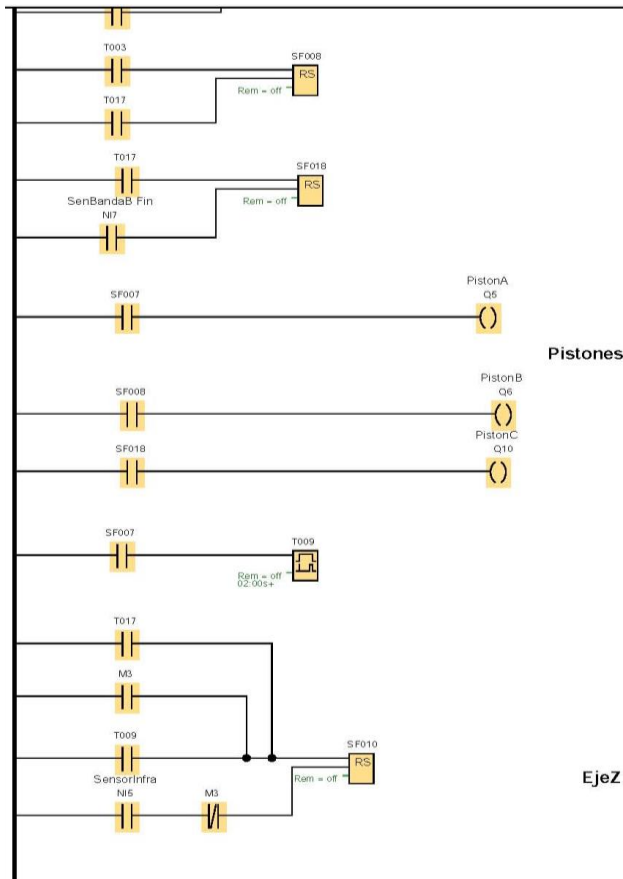


Figura 19.- Programación en lenguaje en escalera parte 3

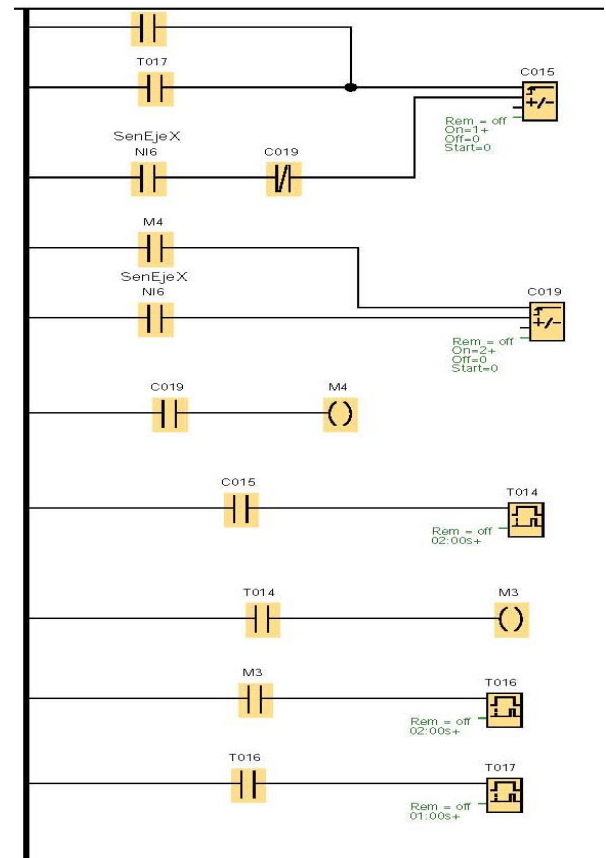


Figura 21.- Programación en lenguaje en escalera parte 5

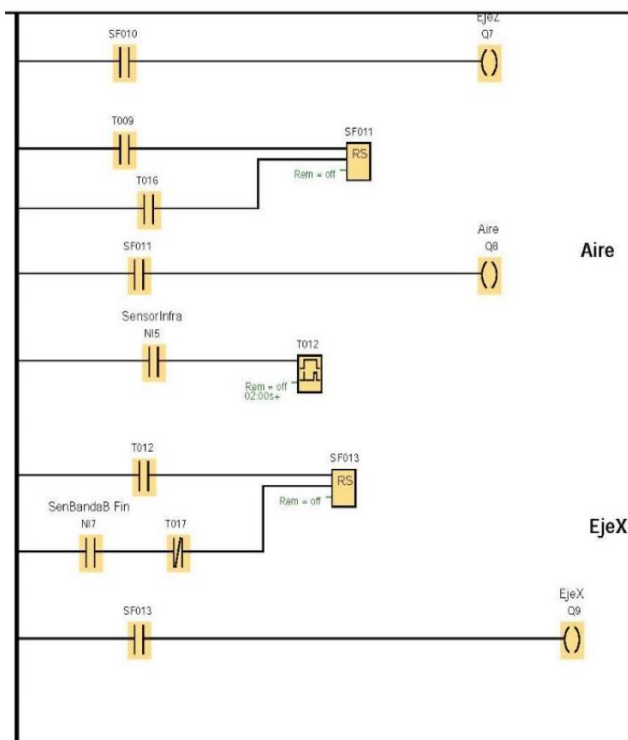


Figura 20.- Programación en lenguaje en escalera parte 4

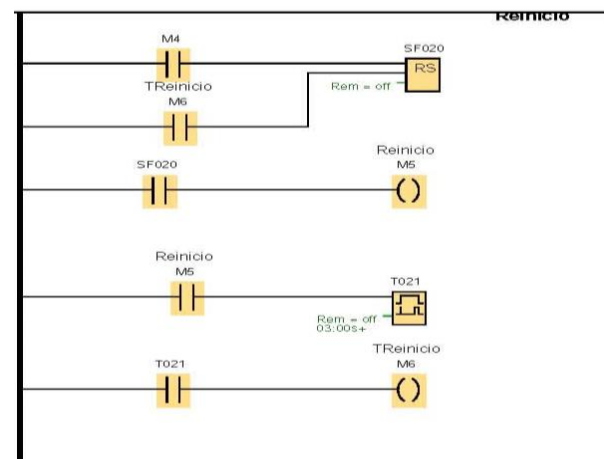


Figura 22.- Programación en lenguaje en escalera parte 6

Para el desarrollo de las comunicaciones industriales se realiza un cambio de direccionamiento de la IP de la PC como se muestra en la Figura 23, es importante que la ultima tercia de los dígitos del host sea diferente a la del PLC, la puerta de enlace no debe de cambiar a la del PLC.

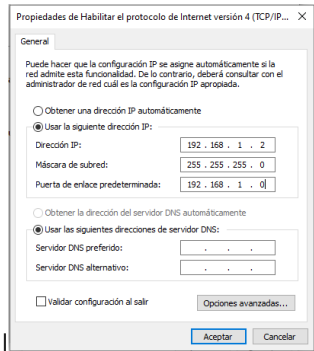


Figura 23.- Protocolo IP de PC

Para las direcciones IP del Software del PLC deben colocarse como se muestra en la Figura 24.

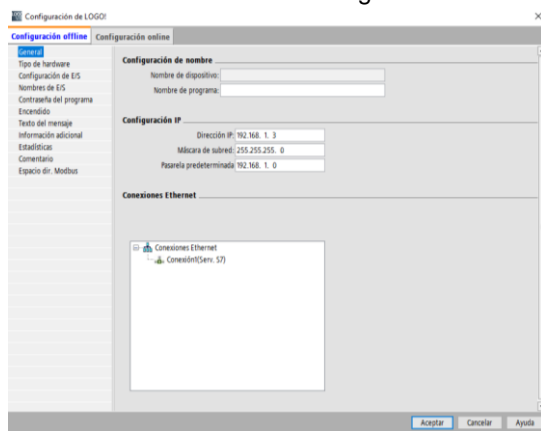


Figura 24.- Protocolo IP del LogoSoft versión 8

7. Simulación y experimentación

En este capítulo se desarrolla los aspectos que se ven con la simulación del software de “Next-Gen (Factory IO)”, la PC y el software de “LogoSoft versión 8” Para ello es importante cumplir con las condiciones de comunicaciones industriales antes mencionadas. Donde la dirección IP del PLC es la misma que la dirección IP del HMI, la dirección IP de la PC es diferente a la del PLC. La comprobación de esto se puede ver en la Figura 25, Figura 26 y la Figura 27.

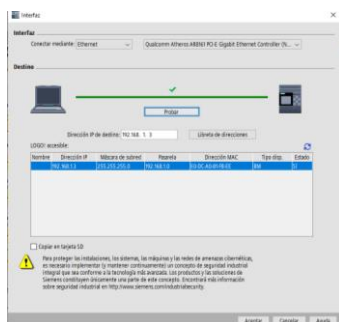


Figura 25.- Comunicación exitosa entre PLC y PC

En la Figura 25 y Figura 26 se ve una paloma de color verde la cual indica que la comunicación entre la PC, el PLC y el HMI es correcta

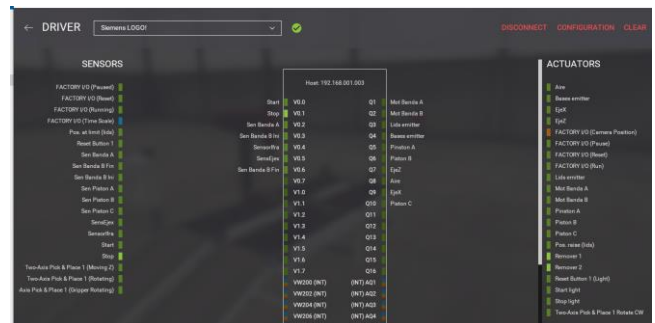


Figura 26.- Comunicación exitosa entre PLC, PC y HMI

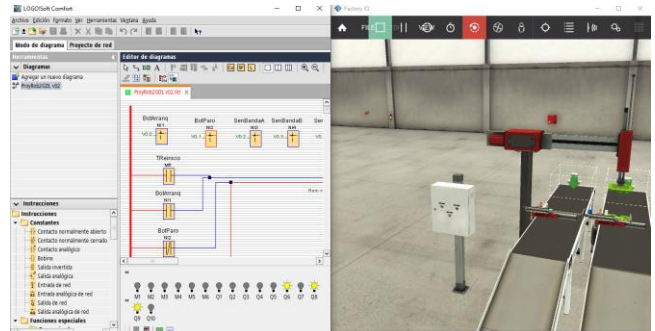


Figura 27.- Interacción entre el PLC, la PC y el HMI

En la Figura 27, se nota como se activan las salidas físicas al momento de dar el arranque del sistema. De igual manera se puede ver que la programación en lenguaje en escalera está en prueba en línea también conocida como “monitoreo en tiempo real y el HMI esta en modo de arranque.

Conclusiones

Una de las intenciones al momento de realizar dicho trabajo es que los motores se queden en una posición deseada, por esta razón en los diagramas se colocaron motores a pasos, los cuales vienen conectados con la tarjeta TB6000. En este punto hubo ciertos detalles el detalle es que la salida del PLC es a relevador, para ello es necesario utilizar un módulo de salidas a transistor de 24vcd. Sin embargo, la problemática no queda ahí puesto que TB600 solo admite voltajes de 5 vcd como máximo, para ello fue necesario reducir su voltaje mediante una resistencia de 10 kilo ohms, para así no causar algún daño a la tarjeta. Cabe mencionar que el voltaje de alimentación al “PUL +”, es un tren de pulsos continuo con una frecuencia de 5 kHz .

Para el segmento neumático inicialmente se consideró utilizar válvulas 3/2 con doble solenoide, sin embargo, para este caso la programación iba a ser mayor y aunado a ello la cantidad de entradas iban a aumentar. De una

manera muy similar ocurriría para la parte de los pistones neumáticos se utilizó pistones con muelle interno.

Una de las parte más intrigantes y complicadas en dicho trabajo es la de comunicar el HMI, PLC y la PC, puesto que si no se realiza bien el direccionamiento del protocolo de comunicación PROFINET no se puede comprobar si la programación o las conexiones virtuales se realizaron de manera adecuada.

Por otro lado, en la programación en lenguaje escalera es importante realizar de manera adecuada el direccionamiento de las entradas de red y que esto a su vez ocurra de igual manera en los drivers del Factory IO, ya que si no se realiza de manera adecuada van a ocurrir activaciones no deseadas en la programación.

Una manera más optima de programar fue mediante el uso de los “SET” y “RESET” esto debido a que facilita los enclavamientos cuando se desea o se necesita. Otro punto interesante durante la programación es el de resetear de manera puntual los contadores o temporizadores, debido a que si no se realiza de manera adecuada se queda guardado en el temporizador con un tiempo mayor que cero o un contador mayor que cero afectando la lógica de programación del nuevo ciclo. La integración automatizada de dicho trabajo fue en base al diseño de simulación que se planteó, donde y como se ve en el video se cumple con lo establecido.

Trabajos a futuro

Como trabajo a futuro sería la implementación de dicho proyecto el cual genera varios desafíos desde la parte tecnológica como científica.

El primero es ver si empata el escenario de simulación con el escenario del prototipo.

De igual manera, la realización del prototipo implica que hay que realizar su cinemática, dinámica y estrategia de control. Lo cual conlleva a obtener datos mediante una tarjeta de adquisición de datos por mencionar alguna de ellas “NI USB-6009 de National Instruments” y de esta manera validar los datos matemáticos con los datos experimentales.

Por otro lado, tomando en cuenta los diseños en 3D se pretende realizar un análisis de elemento finito, para ver si la estructura puede soportar los torques de los motores que se pretenden implementar.

En un rubro tecnológico dicho trabajo se puede subir a la nube, de esta manera monitorearlo y controlarlo desde un punto remoto, solo hay que realizar un redireccionamiento de TAGS y una nueva HMI.

Referencias

- [1] S. Boobalan, S. Gobinath, A. Dharmalingam, A. Jayaprakash, M. Poovarasam, and K. Poovendan, “An Integrated IoT LabVIEW Based Fuzzy-PLC Controller for Automation of Boiler,” *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 937, no. 1, p. 012049, Sep. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/937/1/012049.
- [2] W. Dong, “Application Analysis of PLC Technology in Electrical Automatic Control,” *J Phys Conf Ser*, vol. 1533, no. 2, p. 022012, Apr. 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1533/2/022012.
- [3] K. M. Kothari, V. Samba, K. Tania, R. Udayakumar, and R. Karthikeyan, “AUTOMATION OF UNDERGROUND CABLE LAYING EQUIPMENT USING PLC AND HMI,” *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 346, p. 012080, Apr. 2018, doi: 10.1088/1757-899X/346/1/012080.
- [4] K. Rajkumar, K. Thejaswini, and P. Yuvashri, “Automation of Sustainable Industrial Machine using PLC,” *J Phys Conf Ser*, vol. 1979, no. 1, p. 012049, Aug. 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1979/1/012049.
- [5] E. Sarangapani, N. Narmadhai, and N. Santhosh, “Industry 4.0 technologies incorporated with Delta PLC based Smart Home Automation for Rural Development,” *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 1084, no. 1, p. 012112, Mar. 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1084/1/012112.
- [6] G. Zhao and H. Zheng, “Analysis of Practical Application of PLC Technology in Electric Automation,” *J Phys Conf Ser*, vol. 1871, no. 1, p. 012017, Apr. 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1871/1/012017.
- [7] T. Tran and Q. P. Ha, “Dependable control systems with Internet of Things,” *ISA Trans*, vol. 59, pp. 303–313, Nov. 2015, doi: 10.1016/j.isatra.2015.08.008.
- [8] G. F. Savari, V. Krishnasamy, J. Sathik, Z. M. Ali, and S. H. E. Abdel Aleem, “Internet of Things based real-time electric vehicle load forecasting and charging station recommendation,” *ISA Trans*, vol. 97, pp. 431–447, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.isatra.2019.08.011.
- [9] P. A. Jokinen, “A life-cycle approach to automation information management in the process industries,” *ISA Trans*, vol. 35, no. 4, pp. 285–296, Jan. 1996, doi: 10.1016/S0019-0578(96)00044-4.
- [10] M. Hadipour, J. F. Derakhshandeh, and M. A. Shiran, “An experimental setup of multi-intelligent control system (MICS) of water management using the Internet of Things (IoT),” *ISA Trans*, vol. 96, pp. 309–326, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.isatra.2019.06.026.
- [11] J. C. Pereira, R. Moreno, C. Tenbrock, A. Herget, T. Wittich, and K. Hamilton, “Advances in Multi-Process Hybrid Production Cells for Rapid Individualised Laser-Based Production,” *Applied Sciences*, vol. 11, no. 4, p. 1812, Feb. 2021, doi: 10.3390/app11041812.
- [12] N. Dimitropoulos, T. Toggias, N. Zacharakis, G. Michalos, and S. Makris, “Seamless Human–Robot Collaborative Assembly Using Artificial Intelligence and

- Wearable Devices,” *Applied Sciences*, vol. 11, no. 12, p. 5699, Jun. 2021, doi: 10.3390/app11125699.
- [13] M. Čorňák, M. Tölgyessy, and P. Hubinský, “Innovative Collaborative Method for Interaction between a Human Operator and Robotic Manipulator Using Pointing Gestures,” *Applied Sciences*, vol. 12, no. 1, p. 258, Dec. 2021, doi: 10.3390/app12010258.
- [14] D. Mourtzis, S. Tsubou, and J. Angelopoulos, “Robotic Cell Reliability Optimization Based on Digital Twin and Predictive Maintenance,” *Electronics (Basel)*, vol. 12, no. 9, p. 1999, Apr. 2023, doi: 10.3390/electronics12091999.
- [15] G. Zhang, S. Li, Y. Wu, and M. Zhu, “An Investigation on the Grasping Position Optimization-Based Control for Industrial Soft Robot Manipulator,” *Machines*, vol. 9, no. 12, p. 363, Dec. 2021, doi: 10.3390/machines9120363.
- [16] A. Filipescu, D. Ionescu, A. Filipescu, E. Mincă, and G. Simion, “Multifunctional Technology of Flexible Manufacturing on a Mechatronics Line with IRM and CAS, Ready for Industry 4.0,” *Processes*, vol. 9, no. 5, p. 864, May 2021, doi: 10.3390/pr9050864.
- [17] Z. Liu, Y. Chen, H. Song, Z. Xing, H. Tian, and X. Shan, “High-Speed Handling Robot with Bionic End-Effector for Large Glass Substrate in Clean Environment,” *Sensors*, vol. 22, no. 1, p. 149, Dec. 2021, doi: 10.3390/s22010149.
- [18] W. Dong, “Application Analysis of PLC Technology in Electrical Automatic Control,” *J Phys Conf Ser*, vol. 1533, no. 2, p. 022012, Apr. 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1533/2/022012.
- [19] K. M. Kothari, V. Samba, K. Tania, R. Udayakumar, and R. Karthikeyan, “AUTOMATION OF UNDERGROUND CABLE LAYING EQUIPMENT USING PLC AND HMI,” *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 346, p. 012080, Apr. 2018, doi: 10.1088/1757-899X/346/1/012080.
- [20] K. Rajkumar, K. Thejaswini, and P. Yuvaswari, “Automation of Sustainable Industrial Machine using PLC,” *J Phys Conf Ser*, vol. 1979, no. 1, p. 012049, Aug. 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1979/1/012049.
- [21] E. Sarangapani, N. Narmadhai, and N. Santhosh, “Industry 4.0 technologies incorporated with Delta PLC based Smart Home Automation for Rural Development,” *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 1084, no. 1, p. 012112, Mar. 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1084/1/012112.
- [22] G. Zhao and H. Zheng, “Analysis of Practical Application of PLC Technology in Electric Automation,” *J Phys Conf Ser*, vol. 1871, no. 1, p. 012017, Apr. 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1871/1/012017.