

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), septiembre-octubre 2025,
Volumen 9, Número 5.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i5

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMA DE INTERCONEXIÓN MULTIROBOT

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A MULTI-ROBOT INTERCONNECTION SYSTEM

Elizabeth Rivera Bravo

TecNM-ITSLP, México

Mario Alberto Muñoz Rivas

TecNM-ITSLP, México

Ismael Lara Velázquez

TecNM-ITSLP, México

Juan Manuel Fortuna Cervantes

TecNM-ITSLP, México

Arturo de Jesús Camacho Gómez

TecNM-ITSLP, México

Diseño y Construcción de Sistema de Interconexión Multirobot

Elizabeth Rivera Bravo¹

elizabeth.rb@slp.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0006-4927-2690>

TecNM-ITS LP

México

Mario Alberto Muñoz Rivas

mario.mr@slp.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0001-8793-521X>

TecNM-ITS LP

México

Ismael Lara Velázquez

ismael.lv@slp.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0003-0199-2278>

TecNM-ITS LP

México

Juan Manuel Fortuna Cervantes

juan.fc@slp.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0002-9229-3159>

TecNM-ITS LP

México

Arturo de Jesús Camacho Gómez

l20181134@slp.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0002-5981-4482>

TecNM-ITS LP

México

RESUMEN

En este trabajo se tiene como problemática que, hasta antes de realizar esta investigación, no existía un sistema que permitiera ejecutar prácticas con elementos externos al robot, tampoco una forma para realizar comunicación con otro robot. El objetivo es diseñar y construir un sistema de interconexión multirobot FANUC. La investigación es de tipo experimental. Desde el punto de vista metodológico se dividió el trabajo en varias etapas: revisión inicial, propuesta de solución, diseño, construcción, pruebas y aprobación. Para el diseño mecánico del sistema se utilizó Solid Works, para la programación de robots se usó el software Roboguide y para la comunicación se manejó el protocolo Ethernet/IP, además del software KEPServerEX. La solución planteada involucró utilizar un PLC CompactLogix L24ER QB1B de la marca Allen Bradley, con el que se comunicaron los robots, también el uso de sensores ópticos colocados estratégicamente. Como resultados principales se realizó el diseño y se construyó el sistema de interconexión multirobot, se obtuvieron configuraciones de comunicación con un robot y con 2 robots.

Palabras clave: robot industrial, PLC, redes industriales, seguridad en celdas

¹ Autor principal.

Correspondencia: elizabeth.rb@slp.tecnm.mx

Design and Construction of a Multi-Robot Interconnection System

ABSTRACT

The problem with this work is that, until this research was conducted, there was no system that allowed for the execution of practices with elements external to the robot, nor a way to communicate with another robot. The objective is to design and build a FANUC multi-robot interconnection system. The research is experimental. From a methodological point of view, the work was divided into several stages: initial review, solution proposal, design, construction, testing, and approval. Solid Works was used for the mechanical design of the system, Roboguide software was used for robot programming, and the Ethernet/IP protocol was used for communication, in addition to KEPServerEX software. The proposed solution involved using an Allen Bradley CompactLogix L24ER QB1B PLC, with which the robots communicated, as well as the use of strategically placed optical sensors. The main results were the design and construction of the multi-robot interconnection system, and communication configurations with one robot and with two robots were obtained.

Keywords: industrial robot, PLC, industrial networks, cell security

Artículo recibido 02 setiembre 2025
Aceptado para publicación: 29 setiembre 2025



INTRODUCCIÓN

Actualmente, la automatización industrial constituye un pilar en los procesos productivos (Quinteros et al., 2020), y un elemento clave dentro de estos procesos es el uso de sistemas robóticos. Cada vez con mayor frecuencia se utilizan robots industriales más modernos en la producción, tanto para incrementar la productividad, como para mejorar la calidad de los productos (Kulińska et al., 2020). Entre los beneficios de la automatización industrial se encuentran: autonomía, flexibilidad, reducción de tiempo de ejecución, comunicación efectiva entre dispositivos, adicionalmente las industrias también buscan eficiencia económica y productiva para ser sostenibles (López & Velasteguí, 2021). Puede decirse que el mismo nivel de crecimiento que experimenta la automatización, lo tiene el área de robótica (Irreño, 2021), ambos elementos van de cierta manera de la mano, la robótica ha crecido mucho en todos los sentidos, desde la creación de nuevos prototipos con aplicaciones inusuales, hasta la creación de cursos que involucren la enseñanza de robótica, automatización industrial (Alejos et al., 2021) y otras áreas STEM a estudiantes (Restrepo-Echeverri et al., 2022), desde la formación en su educación primaria hasta grados más altos como licenciaturas o postgrados.

El PLC es el dispositivo utilizado para automatizar procesos industriales (López & Velasteguí, 2021) y funciona reemplazando la lógica de control basada en relevadores a través de instrucciones, permite supervisar entradas, establecer y controlar las salidas, además de tomar decisiones según las necesidades implementadas en el programa.

Actualmente el auge de la Industria 4.0 demanda la automatización de los procesos e incorporar aspectos tecnológicos relacionados con esta (Lopes et al., 2021), en materia educativa esto implica que los egresados de áreas de ingeniería sean capaces de responder a las necesidades de la industria, las instituciones educativas de nivel superior deben contemplar el incorporar competencias tecnológicas en los futuros profesionistas (Castillo-Martínez & Pérez, 2023).

La industria de manufactura moderna (Li et al., 2021), sector automotriz, agrícola, industria farmacéutica, industria alimenticia, y otras invariablemente utilizan robots industriales de diferentes marcas y modelos. Las aplicaciones pueden ser variadas como soldadura, montaje, transporte, embalaje, corte, paletizado, pintura, aplicaciones especiales.



Así mismo otro sector que se ha beneficiado con la inclusión de robots en su proceso es el de la construcción (Mora, 2020), en todos los procesos, las aplicaciones dependerán en gran medida del tipo de herramienta con la que cuente el robot (Martínez et al., 2022).

En cualquier celda de manufactura que incluya robots uno de los aspectos importantes es que debe operar de manera eficiente, segura y cumplir con los estándares de seguridad requeridos (Becerra & Montaña, 2023). Y por otro lado si la celda incluye más de un robot, existen otros aspectos que deben contemplarse, por ejemplo, que en el área de trabajo la interacción con los demás elementos sea segura, tal y como establecen las normas ISO 9241-5 y la ISO 13852 que se enfoca en verificar distancias de seguridad, prevenir accesos a zonas de riesgo, ante todo debe ser tomada en cuenta esta norma cuando se diseñan máquinas para asegurar un nivel adecuado de protección; esto implica que los movimientos de las trayectorias de los robots involucrados sean meditados o condicionadas en el programa para actuar correctamente durante su ejecución.

Por otra parte la norma ISO 13850 se enfoca en establecer los requisitos para los dispositivos de paro de emergencia; en tanto que la ISO 12100 proporciona las directrices para identificación de peligros, evaluación y reducción de riesgos y establecer medidas preventivas durante el diseño de maquinaria.

Otra norma importante es la ISO 13849 que establece los requisitos para el diseño y la evaluación de las partes del sistema de control que intervienen en funciones de seguridad, como paradas de emergencia, sensores de presencia y enclavamientos. Si se contempla durante la fase de diseño este aspecto de seguridad, indudablemente se evitarán accidentes o lesiones debidas a los movimientos bruscos de los robots industriales (Plasencia et al., 2025), por todo lo anterior es importante hacer mención de como la creación de una celda robótica puede mejorar los aspectos de aprendizaje en los estudiantes de nivel licenciatura.

El Instituto Tecnológico de San Luis Potosí, comprometido con la formación integral de profesionistas en el área de ingeniería, cuenta con diversos laboratorios para atender las necesidades de las distintas carreras. Uno de sus laboratorios, que es el Centro de Capacitación en Automatización Industrial, donde se atienden las prácticas de diferentes materias entre ellas Controladores Lógicos Programables (PLC) y Robótica de las carreras de Ingeniería Electrónica e Ingeniería Mecatrónica, está equipado con dos robots FANUC LR Mate 200iC y otros modelos y equipos.



Sin embargo, el uso actual de estos robots marca FANUC está limitado a prácticas individuales y básicas, sin interacción con otros elementos del entorno industrial como unidades de transporte o sistemas de control externo, lo que restringe el aprendizaje de aplicaciones más avanzadas. Debido a esto, se detecta como problemática que, hasta antes de realizar esta investigación, no existía un sistema que permitiera ejecutar prácticas con elementos externos al robot, tampoco una forma para realizar comunicación con otro robot, por esto surge la presente propuesta, que tiene como objetivo general diseñar y construir un sistema de interconexión multirobot que integre estaciones de trabajo con las que se pueda tener comunicación en red entre los equipos.

Como objetivos específicos se plantearon: diseñar y construir las bandas transportadoras y el tablero de control del sistema, con la intención de simular procesos industriales actuales.

Esto es relevante, ya que permitirá entre otras cosas, que los estudiantes desarrollen competencias avanzadas de programación de robots, que vinculen los conceptos de comunicación industrial, el uso de sensores y señales digitales, y la integración de tecnologías para lograr una automatización realista, permitiendo la simulación de tareas industriales mediante prácticas físicas con uno o varios robots.

Respecto de los trabajos revisados de otros investigadores, relacionados con el presente trabajo de investigación, en estos se señala como han realizado experimentos con el KEPSEverEX (Kopeck et al.), también como utilizan Roboguide en diseño de celdas virtuales (Rawashdeh et al., 2024); sin embargo no se encontraron documentos que integren ambos softwares en un solo experimento de manera integrada.

El trabajo de investigación ha sido desarrollado en el Instituto Tecnológico de San Luis Potosí, en el Centro de Capacitación en Automatización Industrial, durante el semestre Enero – Junio 2025.

Con los resultados de este trabajo se fortalecerá la comprensión de las aplicaciones actuales de la robótica en la industria, preparando a los estudiantes con habilidades y competencias relevantes para el campo laboral. Este trabajo ha sido realizado con fines educativos.

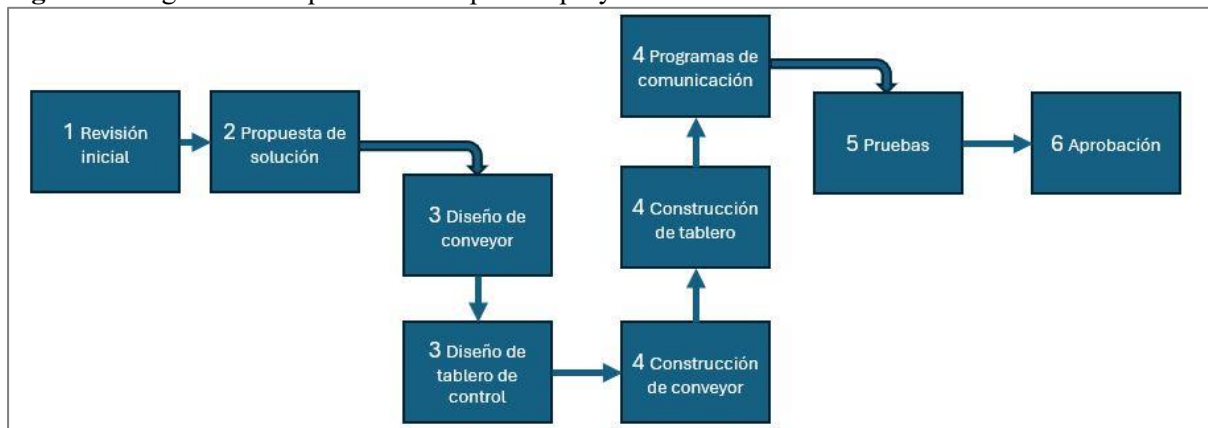
METODOLOGÍA

En este trabajo de investigación se ha utilizado un enfoque experimental, aplicativo. Debido a la complejidad de la solución al problema planteado fue necesario indagar previamente varios aspectos tanto de diseño como de programación.



El problema se dividió en varias etapas, todas importantes y con aspectos muy particulares, que son mostradas en el diagrama a bloques de la Figura 1 para una mayor comprensión.

Figura 1 Diagrama a bloques de las etapas del proyecto



Fuente: elaboración propia.

Las etapas del proyecto se describen a grandes rasgos a continuación:

1. Revisión del contexto inicial de trabajo
2. Propuesta de solución
3. Diseño de elementos de la propuesta: banda transportadora y tablero de control
4. Construcción de elementos: banda transportadora, tablero de control y programas para comunicación
5. Pruebas de comunicación para lograr la interconexión
6. Aprobación del sistema.

En la primera etapa se tomaron fotografías y medidas de los sistemas existentes, hay 2 robots de modelo FANUC LRMate 200iC que se muestran en la Figura 2, uno colocado en la mesa de trabajo izquierda y otro en la mesa del lado derecho, estos robots son de 6 grados de libertad, tienen un alcance máximo sin herramienta de 700 mm, cuentan con un elemento terminal de tipo pinza deslizante de dos dedos.

Figura 2 Robots FANUC LRMate 200iC del TecNM-ITS LP.



Fuente: elaboración propia.

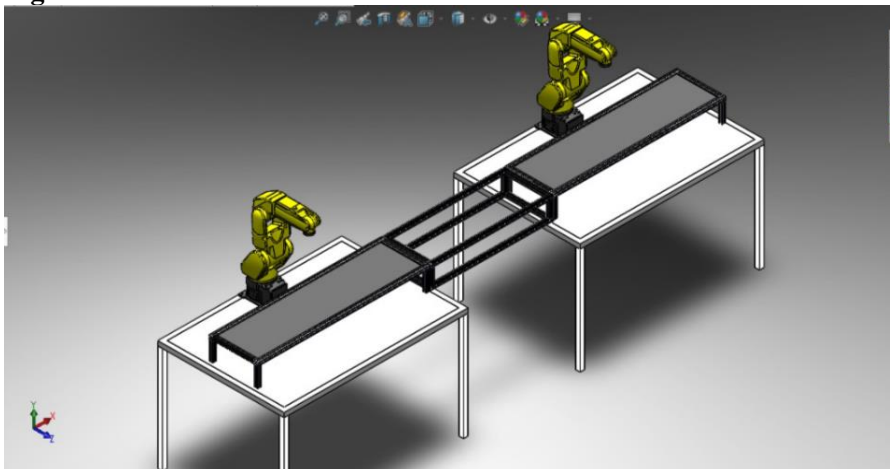
Se tomaron medidas de la distancia de las mesas de trabajo y de los robots, ambos elementos están fijos, considerando también el espacio existente entre las mesas.

En la etapa 2 se propuso como solución el diseño de una banda transportadora o conveyer que uniera de alguna manera a los dos robots, se planteó también el uso de sensores para cuando ya se elaborara físicamente el sistema, se planteó el uso de un PLC con características de desempeño apropiadas para realizar comunicación en red, sin especificar en ese momento cual se iba a utilizar.

En la etapa 3 se diseñó un conjunto de 3 secciones de unidades de transporte ó conveyors, que pueden ser operadas de manera independiente o unidas, dependiendo como quiera trabajarse con los robots.

En el diseño se consideró también las características de espacio de trabajo del robot. En la Figura 3 se muestra el diseño en SolidWorks. Posteriormente se realizó el diseño del tablero de control, considerando en esta etapa la distribución física y eléctrica de los elementos, además de la red de comunicación.

Figura 3 Diseño del sistema de interconexión multirobot en SolidWorks.



Fuente: elaboración propia.

Después de la fase de diseño mecánico de la etapa 3, en la etapa 4 se construyeron las unidades mencionadas del conveyor, con perfil Bosh y rodillos, quedando como se muestra en las Figuras 4 y 5

Figura 4 Estructura de banda con rodillos de $\frac{1}{2}$ x 250mm.



Fuente: elaboración propia.

Las dos secciones de mesa cuentan con 6 rodillos cada una, la sección central es más pequeña y sólo tiene 5 rodillos. Una vez ensamblada toda la estructura se procedió a fijarle todos los accesorios como los sensores, botones de paro de emergencia tipo hongo, los rodillos y motores correspondientes a cada sección. Se realizaron pruebas de operación antes y después de forrar con lona color azul como se muestra en la Figura 5.

Figura 5 Ensamble de dispositivos, sensores y paro de emergencia en la banda transportadora.



Fuente: elaboración propia.

Enseguida como parte de esta misma etapa 4, se construyó el tablero de control que contendría el PLC, fuentes de alimentación, y sistema de comunicación en red como se muestra en la Figura 6. Se puso especial atención en las consideraciones de comunicación y de seguridad, tanto de los dispositivos como de las personas que van a interactuar con este sistema.

Figura 6 PLC y Fuentes de alimentación en el tablero de Control.



Fuente: elaboración propia.

Algunas ventajas de utilizar PLC's en lugar de otra tecnología son: adaptabilidad, flexibilidad, robustez, automatización y optimización de procesos. En cuanto a la operatividad se refiere, algunas marcas tienen como características: autodiagnóstico; lectura de entrada; realización del programa y actualización de salidas. Existen diferentes marcas comerciales de PLC. Se optó por el PLC CompactLogix modelo L24ER 1769-ECR, debido a sus características de control escalable para aplicaciones de equipo autónomo pequeño, además del alto rendimiento, destacando su compatibilidad con el protocolo Ethernet/IP; además de que puede interconectarse con OPC, lo que brinda la oportunidad de optimizar procesos (Cabezas Briceño et al.) y estandarizar el acceso a datos, con esto se mejora también la transferencia de información.

De acuerdo con la pirámide de automatización es importante tomar en cuenta los diferentes niveles de telecomunicaciones: nivel operacional, nivel táctico, nivel estratégico, que a su vez realizan diferentes operaciones (Ayala et al., 2011). En el nivel operacional se realiza el Control de procesos y el control supervisorio, en el nivel táctico se revisa la optimización y finalmente en el nivel estratégico se realiza la integración. Es importante entender el papel de cada uno de estos niveles del proceso para establecer una correcta operación de los dispositivos.

Para llevar a cabo la parte de intercomunicación, se implementó el uso del software KEPServerEX que funciona como un servidor de comunicaciones, diseñado específicamente para sistemas de automatización industrial como señala (Kopec et al.). Dada su capacidad de establecer comunicación con una variedad muy amplia de dispositivos, entre ellos los PLC, además de ser compatible con varios protocolos de red.

En este trabajo de investigación, se utilizó este software para la transmisión de información vía OPC entre los softwares de simulación y programación FANUC ROBOGUIDE y Studio 5000 de Rockwell Automation, además del emulador Studio 5000 logix Emulate y RS Linx Classic. Se utilizó una computadora con 8 GB de memoria RAM, es recomendable usar un procesador core i5 o superior para este tipo de experimentos; así mismo físicamente se utilizó un PLC CompactLogix modelo L24ER 1769-ECR, el cual ofrece un control escalable para aplicaciones de equipo autónomo pequeño, hasta aplicaciones de alto rendimiento destacando su compatibilidad con el control de movimiento integrado en Ethernet/IP. Para la alimentación de los diferentes elementos se utilizaron dos fuentes de 24 Vcd y 12 Vcd respectivamente de la marca “Mean Well” modelo EDR-120. Todos los elementos se colocaron en un gabinete de control eléctrico con botonera y bornera como puede apreciarse en la Figura 6.

Adicionalmente, se implementó una red inalámbrica usando un módem de la marca TP-Link con modelo TL-WR840N que se muestra en la Figura 7, sus características de desempeño son 2.4 GHZ y 300 Mbps. Esta red cuenta con 4 modos de trabajo para operarse mediante wifi, y se pudo acceder desde la computadora para realizar la conexión entre el ordenador y los dispositivos físicos vía Ethernet.

Figura 7 TP Link TL-WR 840N.



Fuente: elaboración propia.

Una vista externa del gabinete de control puede apreciarse en el lado derecho de la Figura 8, en la parte superior del gabinete está colocado el TP Link TL-WR 840N.

Figura 8 Vista externa del gabinete de control con el TP Link.



Fuente: elaboración propia.

Para la realización de la programación del PLC se utilizó el lenguaje Ladder. Para los robots se utilizó el lenguaje TP o Karel, que es un tipo de lenguaje de texto estructurado especial para programar robots FANUC desde el Teach Pendant. Otro elemento de gran utilidad es el software Roboguide especialmente diseñado por FANUC para simular y programar robots de esta marca, sin la necesidad de contar con el robot físico (Rawashdeh et al., 2024).

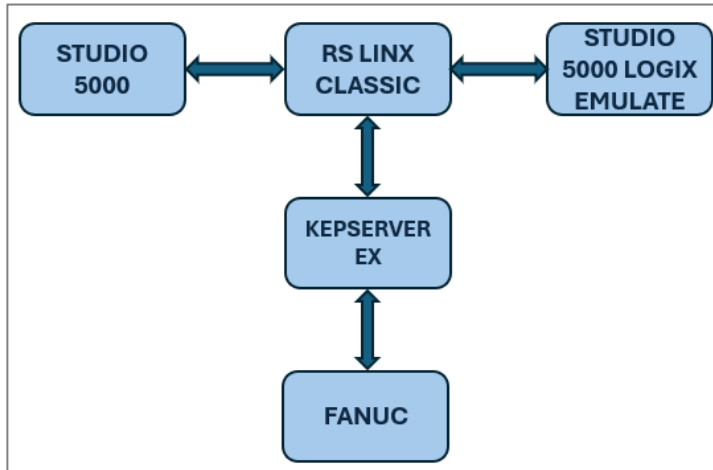
En la etapa 5 se realizaron las pruebas de comunicación para lograr la interconexión, a continuación, se detalla el procedimiento de diseño seguido para lograr la intercomunicación entre PLC y Robot. Debido a la complejidad del sistema se planteó realizar primero la comunicación de manera virtual, para después trasladarlo a los equipos físicos. Se ha demostrado que la simulación con robots industriales en entornos académicos ayuda a que los estudiantes estén más familiarizados con la manipulación de robots en entornos reales (Domínguez et al., 2024).

En primera instancia se tomaron en cuenta las características de los modelos de robot físico, en este caso el robot LRMate 200iC con el que se creó una celda en el software Roboguide, aplicable a robots FANUC con una mesa de trabajo con las mismas características y dimensiones de las mesas del laboratorio, creando el diseño por duplicado, ya que son dos robots iguales.

Posteriormente en el software Studio 5000, se generó un sketch de programación que funcionara de acuerdo con las condiciones requeridas, previendo el uso de actuadores, sensores y por supuesto de los robots en movimiento, dentro de este software se utilizó el Studio 5000 Logix Emulate para emular un PLC y comunicarlo con un robot virtual, lo que se dio a través del RS Linx Classic, el cual

se encarga de conectar estos programas y dirige la información de un programa a otro; esto puede visualizarse en el esquema de la Figura 9.

Figura 9 Interconexión entre softwares para establecer la comunicación entre dispositivos de manera virtual.

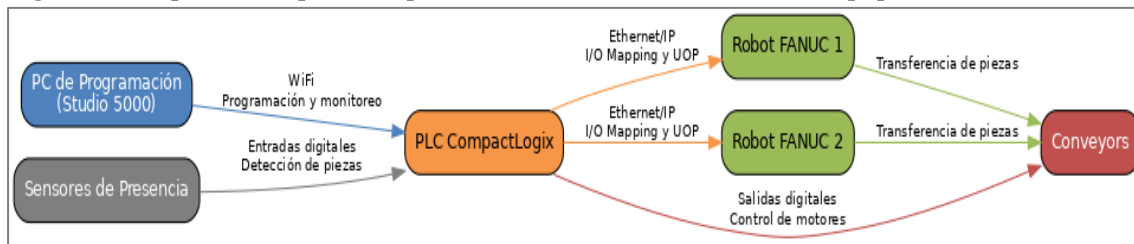


Fuente: elaboración propia.

Como siguiente paso se creó un entorno de transmisión de datos en KEPServerEX para poder intercambiar datos desde RS Linx hasta ROBOGUIDE. Después que el diseño virtual funcionó, se procedió a establecer las condiciones de operación para el sistema físico. Pudiera pensarse que es lo mismo; sin embargo, de un esquema a otro existen variaciones.

Para la comunicación del sistema físico, se estableció una arquitectura de comunicación basada en el protocolo de red Ethernet/IP con conexión inalámbrica wifi que permitió la interacción entre el PLC, los robots FANUC y la computadora, como puede verse en la Figura 10. Se configuró el PLC CompactLogix como maestro en la red Ethernet/IP, mientras que los controladores de los robots FANUC actuaron como nodos esclavos; así mismo a través de un mapeo de señales de entradas y salidas (I/O) en el PLC y la configuración UOP (User Operator Panel) en los robots, se lograron intercambiar señales digitales para controlar estados, arranques, paros, cambios de modo y confirmaciones de ciclo; además de que cada robot se configuró como adaptador y se le asignó su propia dirección IP manualmente dentro de la red configurada para este proceso.

Figura 10 Esquema de operación para establecer comunicación entre equipos físicos.



Fuente: elaboración propia.

En la etapa 6 se realizó la aprobación del sistema, ya que se lograron los objetivos planteados y se pudieron realizar las pruebas en cada etapa de manera exitosa. En cada estación de trabajo se pudo realizar la comunicación entre robot, PLC y conveyor individual; también se pudo realizar una interacción entre ambos robots con el PLC y conveyor integrado. En los resultados se explica con mayor amplitud como se logró esto.

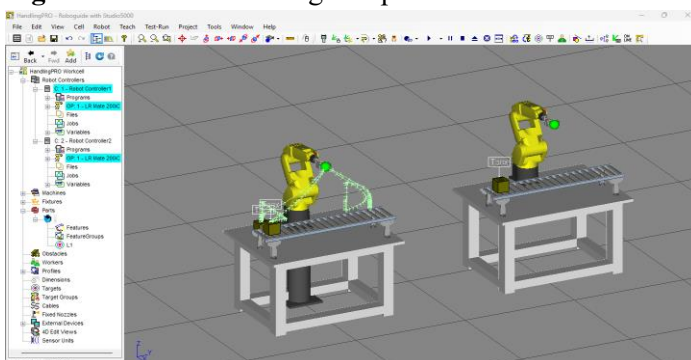
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultados de este trabajo se obtuvieron los siguientes:

Se realizó el diseño mecánico y la elaboración de las bandas transportadoras, además de programarlas para controlarlas mediante un PLC CompactLogix L24ER QB1B de la marca Allen Bradley, se agregaron sensores de tipo óptico a las estaciones de trabajo, para realizar las interacciones entre PLC y robots por medio de Ethernet/IP.

Se diseñó y elaboró una celda en Roboguide como se muestra en la Figura 11, para probar la configuración de comunicación virtual.

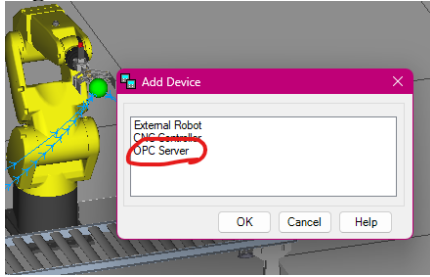
Figura 11 Celda en Roboguide para simular el entorno real.



Fuente: elaboración propia.

Se estableció la comunicación entre Studio 5000 con Roboguide mediante el servidor OPC como puede verse en la Figura 12, utilizando como medio de comunicación al KEPServerEX para prácticas virtuales que ayudarán a comprender el intercambio de información entre estos programas.

Figura 12 Proceso de conexión OPC con Roboguide.



Fuente: elaboración propia.

Se realizaron pruebas de funcionamiento de señales que fueron exitosas. Después se procedió a establecer el entorno de trabajo para los elementos físicos: dos Robots FANUC LRMate 200iC, unidades de transporte ó conveyor, sensores, módulo de control (PLC y fuentes de alimentación), modem y switch TP – Link.

Se realizó el diseño del tablero de control y posteriormente se construyó, las vistas externas del tablero se muestran en la Figura 13.

Figura 13 Vista externa del tablero de control.



Fuente: elaboración propia.

Se configuraron los dos robots físicos como adaptadores tomando en consideración las señales UOP de los robots y las señales digitales.

Se configuró la red inalámbrica mostrada en la Figura 14, y se hicieron pruebas con esta.

Figura 14 Modem y switch TP-Link.



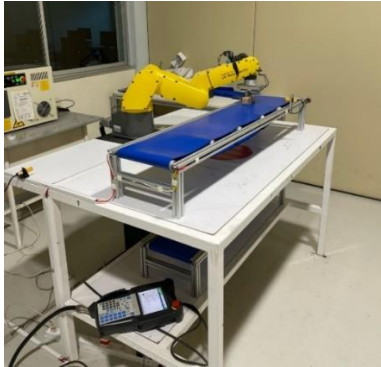
Fuente: elaboración propia.

Se configuró la red Ethernet entre los dispositivos involucrados: PLC, robots y modem.

Se configuraron las señales de entradas y salidas digitales en el PLC.

Se realizaron varios programas de prueba, uno para probar un solo robot con su unidad de transporte, esto se hizo para ambas estaciones de trabajo en la Figura 15 se puede observar el robot de la estación de trabajo 2.

Figura 15 Prueba con la estación de trabajo 2, robot en mesa del lado derecho.



Fuente: elaboración propia.

Se elaboró otro programa que incluye a los dos robots y a las tres secciones de transporte unidas como un solo sistema, que puede verse en la Figura 16.

Finalmente se probó todo el sistema de interconexión multirobot completo con resultados exitosos.

Figura 16 Sistema completo con las 2 estaciones de trabajo.



Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

Como resultado de este trabajo, se obtuvo el diseño y la construcción de un sistema de interconexión multirobot, que integra estaciones de trabajo con las que se puede tener comunicación en red entre los equipos, también se agregaron sensores, que ayudan a las interacciones entre PLC y robots por medio de Ethernet/IP.

El presente trabajo de investigación da oportunidad de explorar dos formas de comunicar robots con un PLC. La primera realizando el trabajo de forma virtual, todos los elementos se deben dar de alta en un entorno de trabajo multiplataforma. Bajo este esquema podría decirse que no es necesario contar con los robots físicos.

Si se cuenta con los robots físicos puede realizarse la intercomunicación de los dispositivos sin necesidad de contar con el KEPServerEX, únicamente como en este caso es necesario contar con un modem para configurar una red Ethernet/IP. Respecto de los trabajos revisados de otros investigadores, señalan como han realizado experimentos con el KEPServerEX con otros softwares (Kopeck et al.), Roboguide en diseño de celdas virtuales (Rawashdeh et al., 2024), conexiones entre PLC's de diferentes marcas utilizando el protocolo Ethernet/IP (Cabezas Briceño et al.), Solid Works interactuando con otros softwares, pero en ningún caso indican como se pueden utilizar estos softwares para generar entornos virtuales de aprendizaje para las áreas de PLC y Robótica de manera simultánea con los elementos planteados en el presente trabajo.

Se cumplió el objetivo general, que es diseñar y construir un sistema de interconexión multirobot que integre estaciones de trabajo, tanto de manera virtual como de manera física, aparentemente el proceso es similar, pero en la realidad cada uno tiene sus particularidades. También se cumplió con los objetivos específicos de diseñar y construir las bandas transportadoras y el tablero de Control del Sistema que incluya al PLC y al sistema de comunicación en red, con la intención de simular procesos industriales actuales. Adicionalmente se adquirió el conocimiento para configurar una red Ethernet/IP entre PLC y robots. Se experimentó con la programación de las señales UOP tanto en el simulador de Roboguide como de manera física en el Teach Pendant de cada robot FANUC, encontrando similitudes en el proceso. Este esquema de trabajo será de gran utilidad para abordar el tema de comunicación a través del protocolo de red Ethernet/IP no solamente en las materias de Robótica y



PLC, sino que en un momento dado también puede ser de utilidad para la materia de redes industriales. Como este equipo de trabajo está conformado por profesores de diferentes áreas de ingeniería, específicamente Electrónica, Mecatrónica e Industrial, también contribuye al aprendizaje de temas relacionados con sistemas de producción. Se da un agradecimiento especial al TecNM-ITSLP, por las facilidades otorgadas para la realización de pruebas de este trabajo de investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alejos, J. O., Durán, J. E. E. G., Rojo, L. E., & Elizarraraz, F. J. G. (2021). DISEÑO VIRTUAL DE CELDAS DE PRODUCCIÓN PARA LA ENSEÑANZA DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL (VIRTUAL DESIGN OF PRODUCTION CELLS FOR TEACHING OF INDUSTRIAL AUTOMATION). *Pistas Educativas*, 43(140).
- Ayala, P., Gordillo, R., Calvache, E., & López, G. (2011). Automatización de la estación neumática PN-2800 mediante la plataforma CompactLogix de Alien Bradley. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 3(1).
- Becerra, L. F. G., & Montaña, C. A. M. (2023). ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO EN LA NORMATIVIDAD APLICABLE EN CELDAS DE MANUFACTURA FLEXIBLE (BIBLIOGRAPHICAL ANALYSIS IN THE APPLICABLE REGULATION IN FLEXIBLE MANUFACTURING CELLS). *Pistas Educativas*, 44(144).
- Cabezas Briceño, M. D., Asprilla Arboleda, J. A., & Gutiérrez Rivera, C. M. Desarrollo de un driver basado en APIs para hacer interfaz entre PLCs Rockwell-CompactLogix y Siemens con sistemas de información de alto nivel a través del protocolo Ethernet/IP.
- Castillo-Martínez, J. A., & Pérez, J. A. F. (2023). Impacto de las competencias tecnológicas de la industria 4.0 en la educación. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 852-870.
- Domínguez, B. M. I., Logroño, F. W. S., & Merino, G. D. M. (2024). Sistema de control y monitorización del robot EPSON utilizando realidad aumentada para los estudiantes de la Universidad Técnica de Ambato. *Revista Ingeniería e Innovación del Futuro*, 3(2), 92-120.
- Irreño, C. A. B. (2021). RPA-automatización robótica de procesos:: una revisión de la literatura. *Revista ingeniería, matemáticas y ciencias de la información*, 8(15), 111-122.



- Kopec, J., Pekarcikova, M., Kliment, M., & Trojan, J. Case study of using KEPServerEX software as a connection tool between Tecnomatix Plant Simulation and a real device.
- Kulińska, E., Masłowski, D., Dendera-Gruszka, M., Wojtynek, L., & Szeląg, K. (2020). Production automation as a factor in improving product quality in the automotive industry. *Journal of Innovation and Business Best Practice*, December, 1-25.
- Li, Z., Li, S., & Luo, X. (2021). An overview of calibration technology of industrial robots. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 8(1), 23-36.
- Lopes, S. d., Anunciaçao, P., & Esteves, F. J. M. (2021). Análisis de los desafíos del almacenamiento en la economía 4.0. *Economía industrial*, 420, 117-124.
- López, G. B., & Velasteguí, L. E. (2021). Automatización de procesos industriales mediante Industria 4.0. *Alfapublicaciones*, 3(3.1), 98-115.
- Martínez, A. G., Perez, A. J. E., Moreno, E. C., Quiroga, L. A. M., & Onofre, D. M. (2022). Diseño de gripper para robot Fanuc LR Mate 200 ID, aplicando el Método de Optimización Topológica. *Científica*, 26(2), 1-14.
- Mora, Y. A. B. (2020). Una revisión de plataformas robóticas para el sector de la construcción. *Tecnura*, 24(63), 115-132.
- Plasencia, M. G. M., Bedón, F. R. R., & Anchatipán, A. D. P. (2025). Análisis de la integración de la robótica colaborativa en entornos industriales electromecánicos para mejorar la seguridad y la productividad. *Revista Ingenio global*, 4(1), 71-87.
- Quinteros, P. R. A., Zurita, M. C., Zambrano, N. C., & Manchay, E. L. (2020). Automatización de los procesos industriales. *Journal of business and entrepreneurial studies: JBES*, 4(2), 123-131.
- Rawashdeh, N., Bondalapati, R., Patil, P., Ajmani, G. S., & Akki, S. (2024). Hardware-in-the-loop Simulation of a Programmable Logic Controller, Industrial Robots and Conveyor Systems Using RoboGuide. 2024 22nd International Conference on Research and Education in Mechatronics (REM),
- Restrepo-Echeverri, D., Jiménez-Builes, J. A., & Branch-Bedoya, J. W. (2022). Educación 4.0: integración de robótica educativa y dispositivos móviles inteligentes como estrategia didáctica para la formación de ingenieros en STEM. *Dyna*, 89(222), 124-135.

