




Integración de Redes y Protocolos de Comunicación para una Celda de Manufactura avanzada

Integration of Communication Networks and Protocol Protocols in an Advanced Manufacturing Cell

Fernando Ricardez Rueda¹, Hugo Enrique Noriega Pérez², Carlos Adalberto Valenzuela Melchor³,
Beatriz Adriana Esparza Ramírez⁴

Fecha de recepción: 01-08-2025 | Fecha de aprobación: 22-09-2025

Resumen

La Manufactura Avanzada ha transformado los métodos de producción a través de la digitalización, la automatización y la interconexión de sistemas productivos. Este trabajo describe la integración del desarrollo de una celda de manufactura educativa basada en tecnologías como controladores lógicos programables PLC, sensores de visión, interfaces hombre-máquina HMI y para esta implementación el protocolo de comunicación PROFINET, destacándose que el sensor de visión artificial y PLC no son del mismo fabricante por lo que se usó una librería específica y un sistema de relevadores físicos para adaptar las señales digitales de cierre entre los equipos. El desarrollo e integración de la celda logró fortalecer las competencias tecnológicas de docentes y estudiantes participantes en la implementación del sistema automatizado y conectado en tiempo real.

1 Maestro en Enseñanza Universitaria del Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica de Lagos de Moreno. Cuerpo Académico: ITESLM-CA-2 Calidad, Productividad e Innovación Tecnológica en las Organizaciones. Contacto: fernando.ricardez@lagos.tecmm.edu.mx

2 Maestro en Manufactura Aditiva del Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica de Lagos de Moreno. Cuerpo Académico: ITESLM-CA-2 Calidad, Productividad e Innovación Tecnológica en las Organizaciones. Contacto: hugo.noriega@lagos.tecmm.edu.mx

3 Ingeniero en Electrónica y Computación del Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica de Lagos de Moreno. Cuerpo Académico: C ITESLM-CA-2 Calidad, Productividad e Innovación Tecnológica en las Organizaciones. Contacto: carlos.valenzuela@lagos.tecmm.edu.mx

4 Doctora en Manufactura Avanzada del Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica de Lagos de Moreno. Cuerpo Académico: C ITESLM-CA-2 Calidad, Productividad e Innovación Tecnológica en las Organizaciones. Contacto: beatriz.esparza@lagos.tecmm.edu.mx

Palabras Clave

Automatización industrial, Manufactura avanzada, Redes de comunicación, Sistemas ciberfísicos, Tecnología educativa

Abstract

Advanced Manufacturing has transformed production methods through digitization, automation and the interconnection of production systems. This work describes the integration of the development of an educational manufacturing cell based on technologies such as PLC programmable logic controllers, vision sensors, HMI Human-machine interfaces and the PROFINET communication protocol for this implementation, highlighting that the artificial vision sensor and PLC are not from the same manufacturer so a specific library and a system of physical relays were used to adapt the digital closing signals between the equipment. The development and integration of the cell succeeded in strengthening the technological competences of teachers and students involved in the implementation of an automated system connected in real time.

Keywords

Advanced manufacturing, Cyber-physical systems, Communication network, Educational technology, Industrial automation.

Introducción

La Manufactura Avanzada implica un cambio paradigmático en los métodos de producción, caracterizada por la convergencia de tecnologías digitales, automatización e interconectividad. En este contexto, una celda de manufactura es una unidad productiva automatizada que integra HMI, PLC, sensores, actuadores, todo interconectado mediante redes industriales, lo que implica que la formación tecnológica de los estudiantes universitarios deba alinearse a las nuevas competencias tecnológicas requeridas, lo que generó el problema de investigación porque la institución carecía de una celda experimental educativa de manufactura avanzada por restricción presupuestaria, el reto económico fue superado por la donación de equipo tecnológico actual y funcional de una empresa de alemana de autopartes con quien el cuerpo académico ha realizado proyectos de colaboración tecnológica desde 2016 los equipos donados se desensamblaron de maquinaria funcional que por cambios de línea la empresa desincorporo recientemente de sus líneas de manufactura lo que genero una adición al problema de investigación que consistió en la integración de la comunicación de componentes de diferente origen y marca en la celda de manufactura avanzada.

El objetivo educativo general: Que los estudiantes o investigadores puedan aprender y aplicar conceptos de manufactura, optimización de procesos y control de calidad en un entorno controlado. Para la generación de documentación didáctica de guías de prácticas de laboratorio de manufactura avanzada para estudiantes de ingeniería que les permita como ejemplo adquirir datos en tiempo real, en una celda de manufactura avanzada para la automatización de inspecciones mediante visión artificial y la interacción con el operador a través de una HMI para análisis de calidad y estadísticos.

El objetivo técnico general: Integrar una celda experimental de manufactura avanzada.

Objetivos específicos: a) Analizar las condiciones estructurales del desarrollo de la celda experimental para definir los requisitos de las redes. b) Analizar la configuración de tecnologías, equipos, hardware, softwares, periféricos e instalaciones del desarrollo de la celda experimental para definir los requisitos de los protocolos de comunicación. c) Definir las especificaciones de los protocolos de comunicación de las entidades de la celda por capas: física, de enlace de datos, capa de red, capa de transporte y la capa de aplicación.

Esta implementación se justifica por la promoción y la actuación en el aprendizaje práctico en entornos reales de manufactura inteligente de los estudiantes basado en la viabilidad económica a través de la serie de donaciones realizada por la empresa de autopartes y por la experiencia de los integrantes del cuerpo académico que tiene vinculación con la empresa de autopartes.

Marco Teórico

La Manufactura Avanzada, conocida como Industria 4.0, ha cambiado de raíz los paradigmas tradicionales de la producción a través de la integración de tecnologías digitales, automatización inteligente y sistemas ciberfísicos. En el ámbito educativo, la implementación de una celda experimental de Manufactura Avanzada para prácticas de laboratorio representa un enfoque innovador y esencial para preparar a los estudiantes con las habilidades y competencias necesarias para enfrentar los desafíos de la industria moderna (Schwab, 2016; Moon, 2020).

Fundamentos de la Manufactura Avanzada

La Manufactura Avanzada se basa en la convergencia de diversas tecnologías innovadoras (Gilchrist, 2016; Mittal et al., 2017; Shabur, 2024; Wang et al., 2016):

- Internet de las Cosas (IoT): Permite la conectividad y comunicación entre objetos físicos empleando sensores y dispositivos electrónicos.
- Inteligencia Artificial (IA): Facilita la automatización inteligente, la toma de decisiones basada en datos en tiempo real y la optimización de procesos.
- Computación en la Nube: Proporciona almacenamiento de datos y capacidades de procesamiento que soportan aplicaciones en tiempo real y análisis de *big data*.
- Robótica Avanzada: Integra robots colaborativos y autónomos que trabajan junto a humanos en entornos de producción.

- **Fabricación Aditiva:** Utiliza técnicas como la impresión 3D para crear componentes y prototipos de manera personalizada y rápida.

Importancia de la Celda Experimental en Educación

La celda experimental de Manufactura Avanzada en el ámbito educativo tiene múltiples beneficios (Brecher & Schaefer, 2013; Edward, 2002):

- **Aprendizaje Práctico:** Impulsa a los estudiantes para aplicar teorías aprendidas en un entorno controlado, fortaleciendo su comprensión práctica de conceptos complejos.
- **Desarrollo de Habilidades Técnicas:** Capacita a los estudiantes en la programación de sistemas automatizados, el diseño de algoritmos de control y la integración de tecnologías emergentes permitiendo que su perfil de egreso este alineado a las necesidades actuales de la industria.
- **Preparación para el Mercado Laboral:** Los estudiantes adquieren habilidades altamente demandadas por la industria, como el manejo de datos en tiempo real, la resolución de problemas técnicos y la implementación de soluciones innovadoras.

Diseño y Componentes de una Celda Experimental

- **Selección de Tecnologías y Equipos.** Es crucial seleccionar tecnologías y equipos que cumplan con estándares reconocidos internacionalmente, como los definidos por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos IEEE y otras normativas relevantes. Que incluye:
 - **Sensores Inteligentes y Actuadores:** Para la captura de datos y la ejecución de acciones físicas en respuesta a las instrucciones del sistema.
 - **Sistemas de Control y Automatización:** Que coordinen y optimicen los procesos de producción de manera eficiente y segura.
 - **Plataformas de Software:** Para la integración y gestión de datos, así como para el desarrollo de interfaces hombre-máquina (HMI) intuitivas.
- **Implementación de Sistemas Ciberfísicos.** Los sistemas ciberfísicos, que combinan elementos físicos con sistemas computacionales y redes de comunicación, son esenciales en la Manufactura Avanzada. En la celda experimental, estos sistemas permiten:
 - **Monitorización en Tiempo Real:** Para la supervisión continua de variables críticas de producción y condiciones operativas.
 - **Control Autónomo y Adaptativo:** Que ajusta automáticamente los parámetros de producción según las condiciones cambiantes del entorno.
- **Integración de Tecnologías Emergentes.** Además de los sistemas ciberfísicos, la celda experimental puede integrar tecnologías emergentes como (Tzimas et al., 2024):

- Realidad Aumentada (RA): Para la visualización de información contextual y guía en tiempo real durante las operaciones de manufactura.
- Inteligencia Artificial (IA) y Análisis de Datos: Para el análisis predictivo, la optimización de procesos y la detección de anomalías basadas en grandes volúmenes de datos.
- Integración horizontal y vertical. En el contexto del desarrollo de una celda experimental de manufactura avanzada, la integración horizontal y vertical son fundamentales para asegurar la eficiencia y la funcionalidad del sistema. La integración horizontal abarca la arquitectura de los sistemas de automatización, la especificación de instrumentación y equipos de control, la programación de PLCs, y la comunicación entre diferentes protocolos para asegurar la compatibilidad de equipos y periféricos, junto con una infraestructura de red robusta para garantizar la conectividad y la integración de dispositivos como robots. En telecomunicaciones, un protocolo se describe como un conjunto de reglas que permite la comunicación entre dos o más entidades para transmitir información, definiendo la sintaxis, la semántica y la sincronización que se utilizarán en dicha comunicación. Por otro lado, la integración vertical se enfoca en la conexión de redes y el flujo bidireccional de información a través de varios niveles jerárquicos: desde el nivel de campo, donde se interactúa con el proceso a través de sensores y actuadores, pasando por el control de sistemas automatizados, la supervisión y monitoreo a nivel local, hasta la planeación y gestión de la calidad del proceso.

Beneficios Educativos y Profesionales

- Formación Integral y Multidisciplinaria. La celda experimental no solo proporciona conocimientos técnicos específicos, sino que también promueve habilidades transversales como el trabajo en equipo, la comunicación efectiva y la capacidad de resolver problemas complejos.
- Innovación y Desarrollo Tecnológico. Los proyectos desarrollados en la celda experimental pueden generar avances significativos en áreas como la eficiencia energética, la sostenibilidad ambiental y la optimización de recursos en la producción (León-Bassantes et al., 2025; Hernández et al., 2020).

Impacto en la Innovación y la Investigación

La investigación realizada en la celda experimental puede contribuir a la asimilación tecnológica. (Mourtis et al., 2020):

- Nuevas Aplicaciones Tecnológicas: Explorar y desarrollar nuevas aplicaciones prácticas de tecnologías emergentes en la industria manufacturera.
- Optimización de Procesos: Mejorar la eficiencia y calidad de los procesos de producción mediante la implementación de soluciones innovadoras.

El desarrollo e integración de una celda experimental de Manufactura Avanzada para prácticas de laboratorio representa un paso estratégico hacia la preparación de una nueva generación de profesionales capacitados en tecnologías de vanguardia. Basado en un marco teórico robusto y en estándares internacionales, este enfoque no solo fortalece la educación técnica, sino que también impulsa la investigación y la innovación en el campo de la manufactura moderna, contribuyendo así al avance continuo de la industria global.

Metodología

Se analizará la conformación de la celda experimental de los siguientes elementos:

- Sensores: Para adquirir datos.
- Elementos transmisores de información a las unidades de procesamiento.
- Unidades de procesamiento que toman decisiones de acuerdo con la información dada por los sensores y envían decisiones.
- Componentes que controlan las transmisiones y las instrucciones.
- Actuadores que ejecutan las órdenes.

Basados en estos requisitos se experimentarán y se seleccionarán protocolos de comunicación para la integración horizontal, y se desarrollará la integración vertical para que los datos se comuniquen con otras funciones como la evaluación de la calidad.

Los componentes de la integración horizontal a analizar son: Las arquitecturas integradas de los sistemas de automatización, la especificación de instrumentación y equipos de control, programación de PLC's la comunicación entre diferentes protocolos para lograr la compatibilidad de equipos y periféricos. La infraestructura de red para garantizar la conectividad. La integración de los dispositivos como robots.

La integración vertical se realiza por la conexión de redes y el flujo de la información es bidireccional en varios niveles jerárquicos. Campo: se interactúa con el proceso a través de sensores y actuadores. Control; Sistemas automatizados para máquinas y procesos. Supervisión: Monitoreo y operación a nivel local. Planeación: De la calidad de la gestión del proceso.

Los protocolos de comunicación entre las entidades analizarán: La Capa Física (*PHY Layer*) es el medio a través del cual viaja la información, ya sea aire, cable coaxial, cable de red, fibra óptica o cable eléctrico. Sobre esta capa se encuentra la Capa de Enlace de Datos (*Data Link Layer*), que proporciona direcciones necesarias para acceder al medio físico. La tercera capa es la Capa de Red (*Network Layer*), cuya función es asegurar que los datos lleguen de una dirección a otra, incluso si el origen y el destino no están conectados directamente. Sobre la Capa de Red se sitúa la Capa de Transporte (*Transport Layer*), que facilita el transporte de datos sin importar la red utilizada. En la parte superior se encuentra

la Capa de Aplicación (*Application/Data Layer*), que permite a las aplicaciones acceder a los servicios de las demás capas y define los protocolos para el intercambio de datos.

Resultados

Arquitectura del Sistema

La celda se compone de los siguientes elementos:

- PLC SIEMENS como unidad de control central.
- Sensor de visión KEYENCE, encargado de realizar inspecciones de calidad.
- HMI KTP700 Basic, para visualización e interacción con el operador.
- Red PROFINET como protocolo de comunicación en tiempo real.

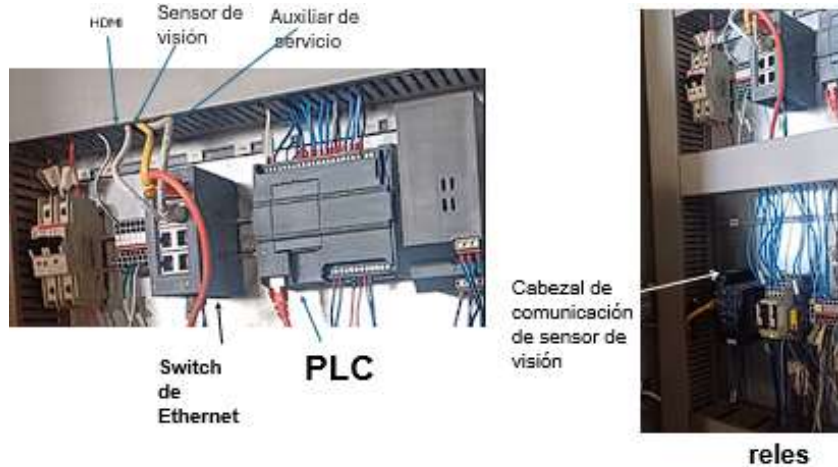
Configuración y Comunicación

Se utilizó el entorno de desarrollo TIA Portal (Portal de automatización totalmente integrado) para la programación del PLC y la configuración del sistema. La comunicación entre dispositivos se implementó mediante PROFINET RT, el cual garantiza una transmisión de datos determinista. Los pasos clave incluyeron:

- Asignación de áreas de memoria.
- Integración del archivo GSDML del sensor de visión. El archivo GSD es una forma estandarizada de descripción del de la información del dispositivo al describirse el archivo en formato XLM recibe el nombre GSDML.
- Configuración del direccionamiento de red y dispositivos.
- Dado que el sensor y el PLC son de marcas distintas (KEYENCE y SIEMENS, respectivamente), se utilizó una librería específica y un sistema de relevadores físicos para adaptar las señales digitales de cierre entre equipos.

La figura 1 muestra físicamente la arquitectura del sistema.

Figura 1
Arquitectura del sistema



Fuente: propia

En la figura 2 se observa la pantalla HMI para una práctica desarrollada para un ensamble e inspección.

Figura 2
HMI de la estación de ensamble e inspección

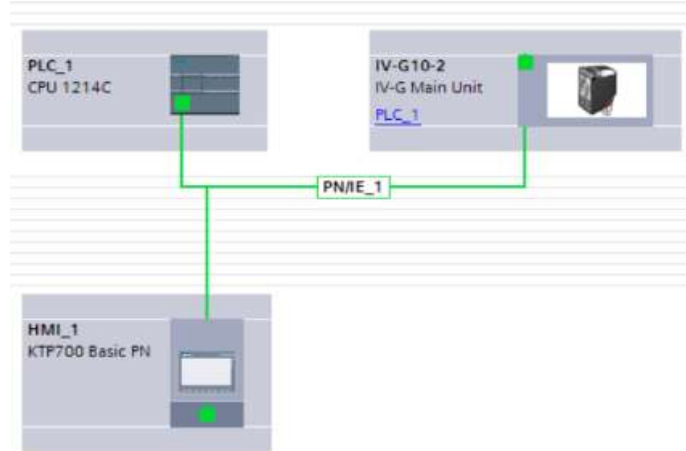


Fuente: propia.

La figura 3 despliega la configuración de la red ProfiNet del sensor de visión (IV-G10) de Keyence con el PLC CPU 1214C de Siemens y HMI ktp700 basic mediante el protocolo de ProfiNet.

Figura 3

Configuración del sensor de visión, PLC y HMI

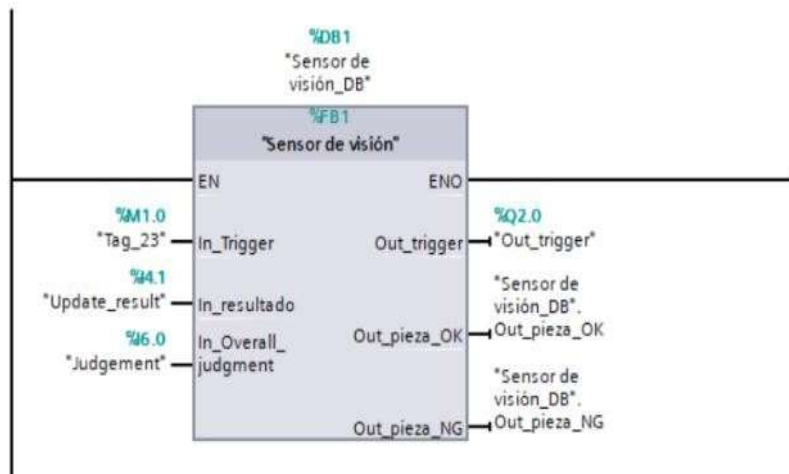


Fuente: propia.

La figura 4 muestra del programa principal, el primer segmento que hace el llamado de la función y en ella se definen cuáles serán las salidas y entradas tanto físicas como lógicas del programa, esta elección no es aleatoria, sino que responde a los datos que envía el sensor al conectarse en red con el PLC.

Figura 4

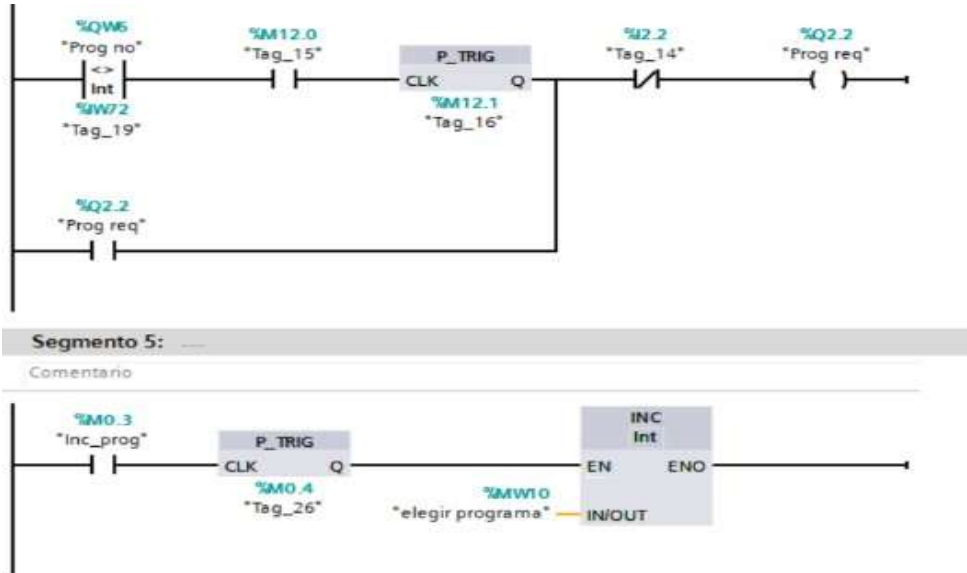
Segmento 1



Fuente propia

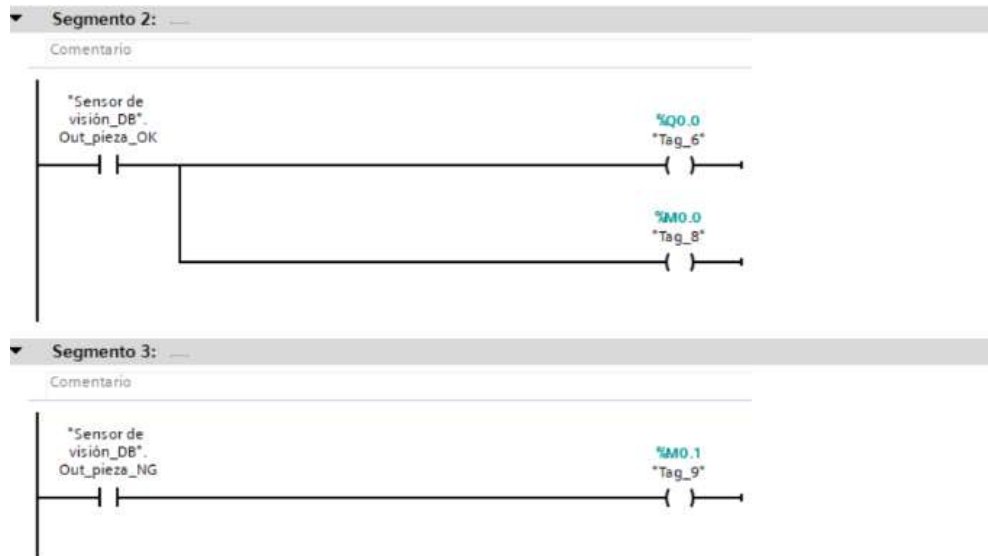
La figura 5 indica que los segmentos 2 y 3 son las salidas del juicio del sensor las cuales obedecen a las imágenes que se configuran en el sensor de visión.

Figura 5
Salidas de juicio del sensor



Fuente Propia.

Figura 6
Elección del programa a ejecutar



Fuente: Propia

La figura 6 muestra los segmentos involucrados en el programa a ejecutar.

Conclusiones

La celda educativa funcionó exitosamente en tareas de inspección y ensamblaje automatizado. El sensor de visión realizó evaluaciones de calidad, mientras que el PLC coordinó las operaciones y la HMI permitió la interacción humana.

Las principales ventajas observadas fueron:

- Comunicación determinista y confiable gracias a PROFINET RT.
- Facilidad de configuración y diagnóstico en tiempo real mediante TIA Portal.
- Integración efectiva entre diferentes marcas mediante adaptación de señales.

El sistema permitió observar de forma didáctica la funcionalidad de una celda 4.0, desde la adquisición de datos hasta la toma de decisiones automatizadas.

La celda de manufactura implementada evidencia cómo la inteligencia y la autonomía de la Industria 4.0 emergen de la interacción entre sensores, redes de comunicación, unidades de procesamiento y actuadores. Se destacan dos niveles de integración:

- Integración horizontal, que comprende:
 - Arquitecturas de automatización
 - Programación de PLC
 - Compatibilidad entre protocolos
 - Infraestructura de red
- Integración vertical, orientada a:
 - Comunicación bidireccional entre niveles jerárquicos
 - Flujo de datos desde sensores hasta niveles de planificación y gestión

Finalmente, la participación de estudiantes y docentes fortaleció las competencias tecnológicas en automatización, programación, visión artificial y redes industriales, elementos clave en la formación de profesionales para la industria del futuro.

Referencias

Brecher, C., & Schaefer, D. (Eds.). (2013). *Innovative Education and Training Concepts for Advanced Manufacturing*. Springer.

Edward, N. S. (2002). The Role of Laboratory Work in Engineering Education: Student and Staff Perceptions. *International Journal of Electrical Engineering Education*, 39(1), 11–19. <https://doi.org/10.7227/IJEEE.39.1.2>

- Gilchrist, A. (2016). *Industry 4.0: The Industrial Internet of Things*. Apress. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-2047-4>
- Hernandez-de-Menendez, M., Escobar, C.A., & Morales-Menendez, R. (2020). Engineering Education for Smart 4.0 Technology: A Review. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 14, 789–803. <https://doi.org/10.1007/s12008-020-00672-x>
- León-Bassantes, L. S., González-Sánchez, E., Sánchez-Granja, A. E., & Mosquera-Viejo, J. L. (2025). Industria 4.0 y sostenibilidad: Sinergias entre digitalización y responsabilidad ambiental. *MQRInvestigar*, 9(2), e761. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.9.2.2025.e761>
- Mittal, S., Khan, M. A., Romero, D., & Wuest, T. (2017). Smart Manufacturing: Characteristics Technologies and Enabling Factors. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 233 (5), 1342-1361. doi:[10.1177/0954405417736547](https://doi.org/10.1177/0954405417736547)
- Moon, I. (Ed.). (2020). *Smart Manufacturing: Applications and Case Studies*. Springer.
- Mourtzis, D., Angelopoulos, J., & Dimitrakopoulos, G. (2020). Design and development of a flexible manufacturing cell in the concept of learning factory paradigm for the education of generation 4.0 engineers. *Procedia Manufacturing*, 45, 361–366. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.035>
- Schwab, K. (2016). *The Fourth Industrial Revolution*. World Economic Forum. <https://www.weforum.org/about/the-fourth-industrial-revolution-by-klaus-schwab>
- Shabur, A. (2024). A comprehensive review on the impact of Industry 4.0 on the development of a sustainable environment. *Discov Sustain* 5, 97. <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00290-7>
- Tzimas, E., Papazetis, G., Benardos, P., & Vosniakos, G.-C. (2024). Design and Development of a Flexible Manufacturing Cell Controller Using an Open-Source Communication Protocol for Interoperability. *Machines*, 12(8), 519. <https://doi.org/10.3390/machines12080519>
- Wang S, Wan J, Li D, Zhang C. (2016) Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 12(1). doi:[10.1155/2016/3159805](https://doi.org/10.1155/2016/3159805)