

Diseño Conceptual de una Línea Piloto de Industria 4.0 con Fines Docentes

Autores

Ramón Quiza Sardiñas¹

Marcelino Rivas Santana²

Yanelys Cuba Arana³

Teresa Pérez Sosa⁴

Resumen

Este trabajo se centra en el diseño de una línea piloto de Industria 4.0 con fines educativos, destinada a proporcionar una experiencia práctica en el uso de tecnologías avanzadas. La línea piloto está concebida para integrar un transportador de banda, un brazo robótico y una cámara de visión por computadora, todos ellos conectados mediante una arquitectura de cloud/edge computing y comunicación basada en el protocolo MQTT. Estos componentes permitirán automatizar el proceso de clasificación de objetos a través de inteligencia artificial, mientras que la realidad aumentada facilitará una visualización interactiva del proceso, enriqueciendo así la comprensión de los estudiantes sobre la integración de estas tecnologías. Además, el sistema incorporará un módulo de vibro-diagnóstico para el mantenimiento predictivo, que monitorizará las condiciones de los componentes en tiempo real, anticipándose a posibles fallos. Aunque el trabajo se ha enfocado en el diseño detallado del sistema, las etapas de implementación y validación aún están pendientes, lo que abre la oportunidad para futuros desarrollos que verifiquen y optimicen el rendimiento del diseño propuesto. Este trabajo es el primer paso hacia una plataforma educativa avanzada que ayudará a los estudiantes a familiarizarse con los conceptos fundamentales de la Industria 4.0, preparándolos para los desafíos del entorno industrial moderno. La línea piloto, una vez implementada, buscará simular un entorno de producción real, facilitando una comprensión completa y práctica de las tecnologías interconectadas.

Palabras claves: Línea piloto. Industria 4.0. Docencia.

Conceptual Design of an Industry 4.0 Pilot Line for Teaching Purposes

Abstract

This work focuses on the design of an Industry 4.0 pilot line for educational purposes, aimed at providing hands-on experience in the use of advanced technologies. The pilot line is conceived to integrate a belt conveyor, a robotic arm and a computer vision camera, all of them connected through a cloud/edge computing architecture and communication based on the MQTT protocol. These components will automate the process of sorting objects through artificial intelligence, while augmented reality will facilitate an interactive visualisation of the process, thus enriching students' understanding of the integration of these technologies. In addition, the system will incorporate a vibro-diagnostics module for predictive maintenance, which will monitor component conditions in real time, anticipating potential failures. Although the work has focused on the detailed design of the system, the implementation and validation stages are still pending, opening the opportunity for future developments to verify and optimise the performance of the proposed design. This work is the first step towards an advanced educational platform that will help students become familiar with the fundamental concepts

¹ Director en el Centro de Estudios de Fabricación Avanzada y Sostenible - CEFAS - Universidad de Matanzas
Orcid: 0000-0003-1293-6044

² Profesor en el Centro de Estudios de Fabricación Avanzada y Sostenible - CEFAS - Universidad de Matanzas
Orcid: 0000-0002-0305-515X

³ Profesora en el Centro de Estudios de Fabricación Avanzada y Sostenible - CEFAS - Universidad de Matanzas
Orcid: 0000-0002-9535-8253

⁴ Profesora en el Centro de Estudios de Fabricación Avanzada y Sostenible - CEFAS - Universidad de Matanzas
Orcid: 0000-0002-5587-4624

of Industry 4.0, preparing them for the challenges of the modern industrial environment. The pilot line, once implemented, will seek to simulate a real production environment, facilitating a comprehensive and practical understanding of interconnected technologies.

Keywords: Pilot line. Industry 4.0. Teaching.

INTRODUCCIÓN

La Industria 4.0, también conocida como la cuarta revolución industrial, representa una nueva era en la manufactura y en la gestión de procesos industriales, caracterizada por la integración de tecnologías digitales avanzadas (GOLOVIANKO; TERZIYAN; BRANYTSKYI; MALYK, 2023). Esta transformación se basa en la interconexión de sistemas, la automatización avanzada, y el análisis de datos en tiempo real, permitiendo a las empresas alcanzar mayores niveles de eficiencia, flexibilidad y personalización (RAJA SANTHI; MUTHUSWAMY, 2023).

La inclusión de la Industria 4.0 en la formación de pregrado y posgrado es fundamental, ya que dota a los estudiantes de las competencias necesarias para enfrentar los retos de un entorno laboral cada vez más automatizado y digitalizado (HERNANDEZ-DE-MENENDEZ; ESCOBAR DÍAZ; MORALES-MENENDEZ, 2020). Al comprender y aplicar estas tecnologías desde su etapa formativa, los futuros profesionales adquieren no solo conocimientos técnicos, sino también una mentalidad innovadora y adaptable, cualidades esenciales en el mercado laboral actual. Además, la familiarización temprana con los conceptos y herramientas de la Industria 4.0 permite a los estudiantes estar mejor preparados para abordar los cambios rápidos y continuos que experimenta el sector industrial (CHIGBU; NGWEVU; JOJO, 2023).

Las principales tecnologías habilitadoras de la Industria 4.0 incluyen la inteligencia artificial (IA) (JAN; AHAMED; MAYER; PATEL *et al.*, 2023), el internet de las cosas (IoT) (SOORI; AREZOO; DASTRES, 2023), la robótica colaborativa (SHERWANI; ASAD; IBRAHIM, 2020), la realidad aumentada (RA) (RELJIĆ; MILENKOVIĆ; DUDIĆ; ŠULC *et al.*, 2021) y la analítica de grandes datos (SAHAL; BRESLIN; ALI, 2020). Cada una de estas tecnologías desempeña un papel específico en la optimización y mejora de procesos industriales, al permitir la interconexión, el control y la toma de decisiones en tiempo real. Estas tecnologías son las que permiten a las empresas mantenerse competitivas en un entorno globalizado y dinámico (JAVAID; HALEEM; SINGH; SUMAN *et al.*, 2022).

En este contexto, las líneas piloto desempeñan un papel crucial en la formación de pregrado y posgrado en Industria 4.0, al ofrecer un entorno controlado y accesible en el que los estudiantes pueden experimentar y aplicar estos conceptos de manera práctica (PAJPACH;

HAFFNER; KUČERA; DRAHOŠ, 2022). Estas líneas sirven como laboratorios de aprendizaje, donde los estudiantes pueden interactuar con tecnologías avanzadas y comprender cómo se integran en un sistema industrial real (VILLALONGA; BERUVIDES; CASTAÑO; HABER, 2020). A través de estas experiencias, los estudiantes desarrollan una comprensión más profunda de las aplicaciones y beneficios de la Industria 4.0, preparándose para futuras implementaciones en escenarios industriales más amplios (SALAH; KHAN; RAMADAN; GJELDUM, 2020).

El reto de diseñar una línea piloto demostrativa de Industria 4.0 radica en la necesidad de integrar múltiples tecnologías de manera coherente y efectiva, logrando un equilibrio entre la complejidad técnica y la accesibilidad para los estudiantes (RANA; RATHORE, 2023). Este proceso requiere una cuidadosa planificación y un enfoque multidisciplinario, que abarque desde la selección de componentes hasta el diseño de la interfaz de usuario y el monitoreo del sistema en tiempo real (KAKAVANDI; GOMES; DE REUS; BADSTUE *et al.*, 2023).

En base a todo lo anterior, el objetivo de esta ponencia es presentar el diseño conceptual de una línea piloto de Industria 4.0 con fines educativos, que integra un transportador de banda, un brazo robótico y una cámara de visión por computadora, junto con tecnologías de realidad aumentada y vibro-diagnosis. A lo largo de esta presentación, se explorarán los principales desafíos enfrentados, las técnicas empleadas para superar estos obstáculos y los beneficios que esta línea piloto ofrece a la formación académica en Industria 4.0.

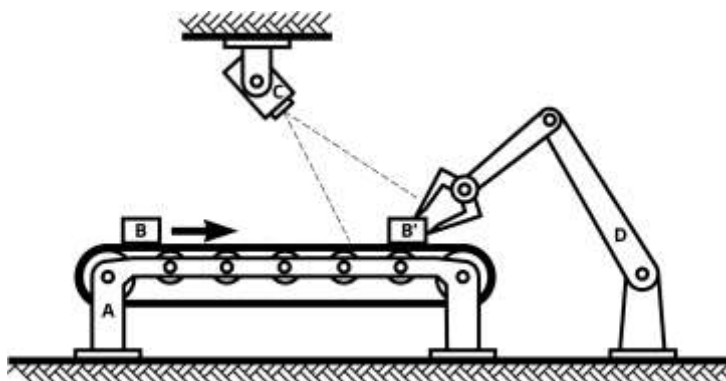
2 DESCRIPCIÓN DE LA LÍNEA PILOTO

La línea piloto de Industria 4.0 ha sido diseñada con fines educativos para simular un entorno de producción automatizado, integrado por un conjunto de tecnologías avanzadas que permiten a los estudiantes comprender y experimentar con conceptos clave de la cuarta revolución industrial. Los principales componentes de esta línea incluyen un transportador de banda, un brazo robótico y una cámara de visión por computadora, además de sistemas de realidad aumentada y vibro-diagnosis. Cada uno de estos elementos está interconectado y gestionado mediante una arquitectura de cloud/edge computing y comunicación basada en el protocolo MQTT, optimizando la recopilación, procesamiento y transmisión de datos.

En la Fig. 1 se muestra el diagrama conceptual de la línea piloto. En la misma, el transportador de banda (A) se encarga de mover los objetos (B) a lo largo del proceso de inspección y manipulación. Este componente está equipado con sensores que detectan la presencia de objetos y envían señales para activar los siguientes pasos en el sistema. La integración de sensores inteligentes permite la recopilación de datos en tiempo real, los cuales

son procesados tanto en la nube como en el borde de la red (edge) para una respuesta rápida y eficiente.

Figura 1: Diagrama conceptual de la línea



La cámara (C) captura imágenes de los objetos sobre la banda y, mediante algoritmos de inteligencia artificial y visión artificial, determina sus características, como posición, tamaño y tipo. Estas capacidades son fundamentales para la clasificación y manipulación de objetos, que se realiza de acuerdo con sus dimensiones y características específicas. El uso de cloud computing permite el almacenamiento y análisis de grandes volúmenes de datos de imagen, mientras que el procesamiento en el edge permite decisiones en tiempo real, reduciendo la latencia y mejorando la eficiencia del sistema.

El brazo robótico (D) recibe las instrucciones basadas en los datos analizados por la cámara, procediendo a manipular y colocar los objetos en las áreas designadas según su clasificación. Este componente está programado para adaptarse dinámicamente a los diferentes tipos de objetos, garantizando una mayor flexibilidad en el proceso. La robótica avanzada se combina aquí con la inteligencia artificial para crear un sistema autónomo que responde rápidamente a los cambios en la línea de producción. La comunicación entre el brazo robótico y otros componentes se realiza mediante el protocolo MQTT, asegurando una transmisión de datos rápida y confiable en un entorno de red distribuida.

Para enriquecer la experiencia educativa y facilitar la visualización del proceso, se ha implementado una interfaz de realidad aumentada. Esta tecnología permite a los estudiantes observar el flujo de trabajo y la interacción de cada componente en tiempo real, mediante la superposición de información relevante sobre el proceso. A través de dispositivos móviles o gafas de RA, los usuarios pueden ver datos en vivo sobre la condición y rendimiento de cada componente, proporcionándoles una comprensión más intuitiva del sistema.

Por su parte, el sistema de vibro-diagnóstico monitorea las vibraciones y otros parámetros críticos del transportador y el brazo robótico, permitiendo la detección temprana de fallos o

irregularidades. Estos datos se analizan en la nube, donde se aplica análisis predictivo para anticipar posibles problemas y realizar mantenimiento preventivo. Este enfoque permite un mantenimiento basado en la condición del equipo, optimizando la eficiencia operativa y reduciendo tiempos de inactividad.

Para gestionar y procesar los datos generados por los componentes, la línea piloto utiliza una arquitectura de *cloud/edge computing*. Esta combinación permite que los datos críticos se procesen en el borde de la red, logrando respuestas rápidas y minimizando la latencia, mientras que los datos de menor prioridad o aquellos destinados a análisis exhaustivos se envían a la nube. El protocolo de comunicación MQTT asegura una transmisión de datos eficaz y confiable entre todos los elementos del sistema, proporcionando la escalabilidad y flexibilidad necesarias para la integración de nuevas tecnologías y componentes en el futuro.

En conjunto, estos componentes y tecnologías permiten que esta línea piloto no solo sea una herramienta educativa, sino también un ejemplo práctico de cómo la Industria 4.0 transforma y optimiza los procesos industriales. Los estudiantes pueden interactuar con las tecnologías y observar de primera mano el impacto del procesamiento distribuido y la comunicación basada en estándares industriales, preparándolos para los desafíos de un entorno de producción moderno.

3 ANÁLISIS DE REQUISITOS DE LA LÍNEA PILOTO

La línea piloto de Industria 4.0 requiere un conjunto de especificaciones técnicas para garantizar su funcionalidad y la integración de las tecnologías avanzadas involucradas. El transportador de banda necesita un sistema de control de velocidad ajustable que permita adaptar el proceso según las necesidades, utilizando un motor de corriente alterna o continua y un variador de frecuencia. Además, debe contar con sensores para detectar la presencia y el peso de los objetos, permitiendo gestionar adecuadamente el flujo en la línea. La comunicación del transportador con el resto del sistema se realiza mediante el protocolo MQTT, facilitando el intercambio de datos en tiempo real, y debe tener una fuente de alimentación acorde a los requisitos de los dispositivos.

La cámara de visión por computadora debe tener una resolución mínima de 2 MP y una velocidad de captura de al menos 30 FPS para procesar adecuadamente los objetos que se mueven sobre la banda. Es fundamental que cuente con capacidades de procesamiento local mediante dispositivos de *edge computing*, como una Raspberry PI, para ejecutar algoritmos de visión artificial. Esta configuración permite que el sistema tome decisiones en tiempo real, mientras que los datos se almacenan y analizan en la nube para aplicaciones de largo plazo. La

cámara debe estar conectada mediante Ethernet o Wi-Fi, dependiendo del entorno, y necesita un sistema de iluminación integrada para asegurar la calidad de las imágenes capturadas en diferentes condiciones de luz.

El brazo robótico de la línea debe tener al menos 4 grados de libertad para poder manipular objetos con precisión. Su carga útil debe estar acorde a las características de los objetos, y el alcance debe cubrir la extensión del transportador. Además, requiere un controlador programable que ejecute trayectorias basadas en la información obtenida por la cámara, y su conectividad también se basa en el protocolo MQTT. Para la seguridad operativa, el brazo debe contar con sensores de seguridad, como paradas de emergencia y sensores de colisión.

Para enriquecer la experiencia educativa, el sistema de realidad aumentada permite a los estudiantes visualizar datos sobre el proceso en tiempo real. Esto se logra mediante dispositivos como gafas de RA o tabletas, que están conectados al sistema mediante el protocolo MQTT o un servidor web. La aplicación de RA debe ser capaz de superponer información sobre el proceso, lo cual ayuda a una mejor comprensión de la interacción entre los componentes.

El sistema de vibro-diagnóstico es esencial para el mantenimiento predictivo. Los sensores de vibración, instalados tanto en el transportador como en el brazo robótico, permiten monitorear las condiciones de operación. El procesamiento de estos datos se realiza en dispositivos locales, y luego se transmiten a la nube para un análisis más profundo, anticipando posibles fallos antes de que ocurran.

La arquitectura de *cloud* y *edge computing* es clave para la línea piloto. Los dispositivos locales permiten un procesamiento rápido de datos críticos, como la clasificación de objetos y el monitoreo de vibraciones, mientras que la nube proporciona almacenamiento y análisis avanzados, ayudando en la optimización continua del sistema. El protocolo MQTT se utiliza para la comunicación eficiente entre todos los componentes, permitiendo baja latencia y alta fiabilidad en un entorno distribuido.

Esta combinación de tecnologías y requerimientos técnicos asegura que la línea piloto sea una plataforma educativa completa y avanzada, que introduce a los estudiantes en la aplicación práctica de la Industria 4.0.

4 APLICACIÓN EDUCATIVA

La línea piloto de Industria 4.0 facilita la enseñanza de conceptos avanzados en robótica, inteligencia artificial (IA), realidad aumentada (RA) y mantenimiento predictivo, al ofrecer un entorno práctico y aplicado donde los estudiantes pueden interactuar directamente con las

tecnologías. Este enfoque permite que los conceptos teóricos se conviertan en experiencias tangibles y comprensibles, incrementando la retención y comprensión de conocimientos técnicos avanzados.

En términos de robótica, los estudiantes tienen la oportunidad de trabajar con un brazo robótico, lo cual les permite comprender el funcionamiento y la programación de robots en un entorno industrial. Al manipular y programar el brazo, los estudiantes aprenden sobre cinemática, dinámica, grados de libertad, y cómo controlar movimientos precisos y adaptativos. Esto les da un conocimiento práctico de las habilidades requeridas para configurar robots en entornos de manufactura automatizada, lo cual es crucial en la Industria 4.0.

La integración de IA y visión por computadora permite a los estudiantes experimentar con algoritmos de análisis de imágenes y clasificación de objetos. Al trabajar con cámaras de visión artificial y algoritmos de procesamiento de imágenes, los estudiantes desarrollan una comprensión más profunda de cómo la IA puede extraer información relevante de imágenes en tiempo real. Esto no solo abarca la teoría de redes neuronales y aprendizaje profundo, sino también el procesamiento en el borde (*edge computing*), donde aprenden cómo se toman decisiones en tiempo real cerca de la fuente de datos.

La realidad aumentada ofrece un enfoque innovador para visualizar y entender los procesos en marcha. A través de dispositivos de RA, los estudiantes pueden ver representaciones en tiempo real del flujo de trabajo, la operación del brazo robótico y el estado de los objetos en la banda transportadora. Esto hace que el proceso sea más intuitivo y accesible, permitiendo una interacción más inmersiva con el sistema. Además, la RA permite a los estudiantes explorar cómo esta tecnología puede mejorar la supervisión y el control de procesos industriales, creando experiencias visuales que serían difíciles de replicar solo con simulaciones o diagramas.

Por último, el mantenimiento predictivo mediante vibro-diagnóstico introduce a los estudiantes en técnicas avanzadas de monitoreo de condiciones. Al analizar los datos de vibración y otros parámetros de los componentes mecánicos, los estudiantes aprenden a detectar signos tempranos de desgaste o fallos potenciales, aplicando técnicas de análisis predictivo. Esta experiencia les proporciona una comprensión valiosa de cómo la Industria 4.0 permite no solo reaccionar a los problemas, sino anticiparse a ellos, mejorando la eficiencia y reduciendo los costos de mantenimiento.

En conjunto, la línea piloto proporciona una plataforma completa donde los estudiantes pueden aplicar y experimentar con tecnologías clave de la Industria 4.0, integrando conocimientos de diferentes áreas para comprender el valor de un sistema interconectado y

automatizado. Esto no solo prepara a los estudiantes con habilidades técnicas esenciales, sino que también fomenta una mentalidad innovadora y adaptable, características fundamentales para enfrentar los desafíos de la industria moderna.

CONCLUSIONES Y FUTUROS DESARROLLOS

El desarrollo de esta línea piloto de Industria 4.0 ha permitido avanzar significativamente en el diseño de un entorno educativo innovador, donde se integran tecnologías clave como la robótica, la inteligencia artificial y la realidad aumentada. Aunque el trabajo se centró en la fase de diseño, se ha logrado conceptualizar un sistema que combina un transportador de banda, un brazo robótico y una cámara de visión por computadora, interconectados mediante una arquitectura de cloud/edge computing y comunicación basada en el protocolo MQTT. Este sistema, diseñado para automatizar la clasificación de objetos, ofrece además herramientas de visualización en realidad aumentada y un enfoque de mantenimiento predictivo mediante vibro-diagnóstico.

Si bien el diseño ha alcanzado un nivel de concepto, las tareas de diseño detallado de los componentes, tanto de software como de hardware, la implementación y la validación del sistema aún están pendientes. Estos próximos pasos serán cruciales para verificar la funcionalidad y la eficiencia del diseño propuesto, y permitirán realizar ajustes y optimizaciones de acuerdo con las necesidades prácticas de un entorno de aprendizaje. La fase de implementación también abrirá la posibilidad de realizar pruebas de integración y evaluar la experiencia educativa, lo que permitirá adaptar el sistema de acuerdo con los resultados obtenidos.

Mirando hacia el futuro, la continuación del proyecto se centrará en materializar este diseño a través de la construcción e instalación del sistema, y en realizar una validación exhaustiva de cada uno de sus componentes. En el proceso de implementación, se planea evaluar y ajustar las capacidades de IA y el procesamiento en el borde, optimizando la transmisión y el análisis de datos para mejorar la experiencia educativa. Asimismo, se espera explorar otras aplicaciones de realidad aumentada y fortalecer la conectividad con plataformas de IoT, facilitando la integración con otros dispositivos y sistemas externos.

El proyecto avanza hacia su implementación con el objetivo de crear una plataforma de aprendizaje que no solo permita a los estudiantes familiarizarse con las tecnologías de la Industria 4.0, sino que también ofrezca una experiencia práctica y contextualizada. Con la finalización de la fase de diseño, el siguiente reto será llevar este concepto a la realidad,

fortaleciendo así la formación de los futuros profesionales y brindándoles una herramienta educativa de vanguardia que responda a las necesidades y demandas de la industria moderna.

Agradecimientos

Este trabajo es un resultado parcial del proyecto “Línea piloto de Industria 4.0 para docencia y capacitación” (PS223LH001-071), financiado por el Programa Sectorial Educación Superior y Desarrollo Sostenible, del Ministerio de Educación Superior de la República de Cuba.

REFERENCIAS

- CHIGBU, B. I.; NGWEVU, V.; JOJO, A. The effectiveness of innovative pedagogy in the industry 4.0: Educational ecosystem perspective. **Social Sciences & Humanities Open**, 7, n. 1, p. 100419, 2023/01/01/ 2023.
- GOLOVIANKO, M.; TERZIYAN, V.; BRANYTSKYI, V.; MALYK, D. Industry 4.0 vs. Industry 5.0: Co-existence, Transition, or a Hybrid. **Procedia Computer Science**, 217, p. 102-113, 2023/01/01/ 2023.
- HERNANDEZ-DE-MENENDEZ, M.; ESCOBAR DÍAZ, C. A.; MORALES-MENENDEZ, R. Engineering education for smart 4.0 technology: a review. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)**, 14, n. 3, p. 789-803, 2020/09/01 2020.
- JAN, Z.; AHAMED, F.; MAYER, W.; PATEL, N. *et al.* Artificial intelligence for industry 4.0: Systematic review of applications, challenges, and opportunities. **Expert Systems with Applications**, 216, p. 119456, 2023/04/15/ 2023.
- JAVAID, M.; HALEEM, A.; SINGH, R. P.; SUMAN, R. *et al.* Understanding the adoption of Industry 4.0 technologies in improving environmental sustainability. **Sustainable Operations and Computers**, 3, p. 203-217, 2022/01/01/ 2022.
- KAKAVANDI, F.; GOMES, C.; DE REUS, R.; BADSTUE, J. *et al.* Towards Developing a Digital Twin for a Manufacturing Pilot Line: An Industrial Case Study. In: KARAARSLAN, E.; AYDIN, Ö., *et al* (Ed.). **Digital Twin Driven Intelligent Systems and Emerging Metaverse**. Singapore: Springer Nature Singapore, 2023. p. 39-64.
- PAJPACH, M.; HAFFNER, O.; KUČERA, E.; DRAHOŠ, P. Low-cost education kit for teaching basic skills for industry 4.0 using deep-learning in quality control tasks. **Electronics**, 11, n. 2, p. 230, 2022.
- RAJA SANTHI, A.; MUTHUSWAMY, P. Industry 5.0 or industry 4.0S? Introduction to industry 4.0 and a peek into the prospective industry 5.0 technologies. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)**, 17, n. 2, p. 947-979, 2023/04/01 2023.

RANA, B.; RATHORE, S. S. Industry 4.0 – Applications, challenges and opportunities in industries and academia: A review. **Materials Today: Proceedings**, 79, p. 389-394, 2023/01/01/ 2023.

RELJIĆ, V.; MILENKOVIĆ, I.; DUDIĆ, S.; ŠULC, J. *et al.* Augmented Reality Applications in Industry 4.0 Environment. **Applied Sciences**, v.11, n. 12, DOI: 10.3390/app11125592.

SAHAL, R.; BRESLIN, J. G.; ALI, M. I. Big data and stream processing platforms for Industry 4.0 requirements mapping for a predictive maintenance use case. **Journal of Manufacturing Systems**, 54, p. 138-151, 2020/01/01/ 2020.

SALAH, B.; KHAN, S.; RAMADAN, M.; GJELDUM, N. Integrating the concept of industry 4.0 by teaching methodology in industrial engineering curriculum. **Processes**, 8, n. 9, p. 1007, 2020.

SHERWANI, F.; ASAD, M. M.; IBRAHIM, B. S. K. K., 2020, **Collaborative Robots and Industrial Revolution 4.0 (IR 4.0)**. 1-5.

SOORI, M.; AREZOO, B.; DASTRES, R. Internet of things for smart factories in industry 4.0, a review. **Internet of Things and Cyber-Physical Systems**, 3, p. 192-204, 2023/01/01/ 2023.

VILLALONGA, A.; BERUVIDES, G.; CASTAÑO, F.; HABER, R. E. Cloud-Based Industrial Cyber-Physical System for Data-Driven Reasoning: A Review and Use Case on an Industry 4.0 Pilot Line. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, 16, n. 9, p. 5975-5984, 2020.