Año 15, Vol. VIII, No. 28
ISSN: 1856-8327
e-ISSN: 2610-7813

Incorporación de tecnologías de industria 4.0 en la formación de ingenieros: un laboratorio de manufactura con enfoque 4.0

Incorporation of industry 4.0 technologies in the training of engineers: a manufacturing laboratory with a 4.0 focus

Lisaura Rodríguez Alvarado, Jesús Loyo Quijada, Miguel López Ontiveros, Enrique Ávila Soler, Sergio García Carranco

https://doi.org/10.54139/reviiant.v8i28.378

Palabras clave: industria 4.0, laboratorio, formación integral, ingeniería
Key words: industry 4.0, laboratory, comprehensive training, engineering

RESUMEN

Para cerrar la brecha de conocimiento de la incorporación de tecnologías que garanticen la flexibilidad, innovación y adaptación de los procesos que buscan el desarrollo de productos cada vez más personalizados, se planteó la implementación de un laboratorio de manufactura con enfoque 4.0, en el cual se incluyen tecnologías como: impresión 3D, robótica colaborativa, interconexión en tiempo real entre estaciones y trazabilidad de los productos. El proceso de implementación se consideró en dos etapas, primeramente, se definió el objeto de estudio y posteriormente se detalló el proceso de planificación el cual está conformado por cuatro fases: entorno de trabajo colaborativo, módulos, equipamiento, espacio físico e integración y, por último, validación. Se espera que con ayuda de este laboratorio se pueda incorporar al proceso de enseñanza-aprendizaje de los futuros profesionales una formación integral al fomentar el uso y aplicación de estas nuevas tecnologías que permitirá no solo el desarrollo de nuevas habilidades sino también establecer una evaluación del sistema de producción bajo el enfoque 4.0.

ABSTRACT

To close the gap in knowledge of the incorporation of technologies that guarantee flexibility, innovation and adaptation of the processes that seek the development of increasingly personalized products, the implementation of a manufacturing laboratory with a 4.0 approach was proposed, in which include technologies such as: 3D printing, collaborative robotics, real-time interconnection between stations and product traceability. The implementation process is divided into two stages, firstly the object of study was defined and later the planning process is detailed, which is made up of four phases: collaborative work environment, modules, equipment, physical space and integration and, finally, , validation. It is expected that with the help of this laboratory, comprehensive training can be incorporated into the teaching-learning process of future professionals by promoting the use and application of these new technologies that will allow not only the development of new skills but also to establish an evaluation of the system. of production under the 4.0 approach.

Año 15, Vol. VIII, No. 28
ISSN: 1856-8327
e-ISSN: 2610-7813

INTRODUCCIÓN

El término Industria 4.0, asociado a la nueva revolución industrial desde su aparición en la feria Hannover Messe en 2011, ha involucrado diferentes elementos tecnológicos que garantizan la integración e interoperabilidad del sistema: sistemas de automatización, conexiones entre lo físico y lo virtual, digitalización e internet y, en general, un conjunto de tecnologías habilitadoras (Pfeiffer, 2017; Almada-Lobo, 2015).

La visión bajo el enfoque de industria 4.0 es que la manufactura "opere de una manera altamente flexible, segura, eficiente e inteligente, lo cual implicará que las líneas de producción proporcionen a los operadores humanos información relevante del proceso, así como indicadores de eficiencia y de productividad, que ayudarán a reducir mermas y maximizar la calidad de los productos" (Manufactura, 2019). México presenta un desempeño intermedio según un estudio que lo coloca en el clúster 2 al considerar cuatro dimensiones: 1) innovación global, 2) objetivos de desarrollo sostenible, 3) desempeño logístico y 4) desempeño ambiental (Anuşlua & Fıratb, 2019).

La Industria 4.0 promete grandes oportunidades para el desempeño de un proceso productivo, entre las que se puede mencionar: la flexibilidad, capacidad de producción, reducción de costos e incremento de la calidad. Sin embargo, a raíz de esto, surge el siguiente cuestionamiento ¿Cómo deben implementarse las nuevas tecnologías para obtener las máximas oportunidades? Aquí es posible mencionar que es recomendable incorporar más de una tecnología en distintas etapas de la cadena de valor y cuantificar el impacto en cada etapa (Vogel-Heuser & Hess, 2016).

Para explorar el estado actual de la producción científica aplicada a los problemas nacionales con enfoque 4.0 se realizó una búsqueda de la literatura especializada utilizando dos bases de datos Elsevier (https://www.sciencedirect.com/) y Taylor & Francis Group (https://www.tandfonline.com/). Se combinaron 65 palabras clave relacionadas con industria 4.0 en las cuales se incluyeron las 13 tecnologías claves de industria 4.0 Bongomin, Gilibrays, Oyondi, Musinguzi, & Omara (2020) con la palabra clave principal «México» para enfocar el análisis en los resultados de aplicación en este país. Se analizaron más de 15 artículos por categoría. Se obtuvo como resultado 130 trabajo que cumplían con estas características en sus palabras claves, título y resumen, se decidió excluir de este grupo aquellos trabajos cuya contribución no estuviera representada por un trabajo aplicado, ya sea a nivel industrial o docente. A raíz de esto se decidió hacer una segunda búsqueda utilizando las palabras claves englobadas en la categoría 2. El resultado con esta segunda caracterización dio como resultado 30 artículos que en contexto general, abordaran esta palabra clave en sus resultados, esto permitió considerar un artículo representativo bajo

Año 15, Vol. VIII, No. 28
ISSN: 1856-8327
e-ISSN: 2610-7813

el enfoque de aplicación o contexto de las tecnologías de industria 4.0

Los artículos que presentan propuestas de aplicación explícitas para el contexto nacional se muestran en la Tabla 1. La información en esta tabla estuvo orientada a analizar las contribuciones, metodologías, métodos, aportaciones y enfoques de los diferentes investigadores de acuerdo con el campo de aplicación y su contexto en la temática de industria 4.0. Derivado de este análisis se puede ver una creciente inmersión de las tecnologías de industria 4.0 y la preocupación de que estas tecnologías permitan personalización de los productos y servicios que se ofrecen, por otro lado, el desplazamiento de la mano de obra en actividades repetitivas es otra de las crecientes preocupaciones manifestadas. Sin embargo, los diferentes enfoques analizados tienen un punto en común, la innovación y la necesidad de adaptación a los nuevos cambios.

El uso de las tecnologías de la Industria 4.0 se ha intensificado, los diferentes enfoques coinciden en la necesidad de innovación y adaptación frente al cambio. Sin embargo, la aplicación de las tecnologías de la Industria 4.0 representa un desafío de acuerdo con el Mapa de Ruta para la Industria 4.0 de la Secretaría de Economía. La ANUIES (Asociación Nacional de Universidades e Institutos de Educación Superior) ha identificado a las ciencias de la computación, a la ingeniería mecánica, a la electrónica y automatización, física, matemáticas y estadística como las áreas educativas con mayor afinidad con la Industria 4.0.

De acuerdo con datos recientes expresados en la feria Industrial Transformation México desde el año 2018, se espera que en 2028 México se posicione en un clúster competitivo en robótica colaborativa, sistemas integrados, modelado y simulación y, que tres años más tarde, se encuentre entre los 5 países líderes en soluciones digitales y Big Data. La Tabla 2 muestra la situación actual de las tecnologías con enfoque 4.0 en México.

La existencia de un fuerte vínculo entre academia y sector industrial es cada vez más necesario para responder a las necesidades de adaptación de estas nuevas tecnologías con enfoque 4.0. Es de vital interés evaluar el desempeño de los procesos productivos al integrar esas tecnologías, porque podría parecer evidente que se mejorarán los principales índices del proceso, pero en muy pocos casos se ha establecido el impacto de la transición a un sistema con alto nivel tecnológico en el que la interoperabilidad de todo el sistema debe contribuir a la toma de decisiones y resolución de problemas.

Esta necesidad debe de ser respondida desde la formación integral de los futuros ingenieros que deben afrontar los retos que demandan los procesos cada vez más personalizados y flexibles.

Tabla 1. *Revisión del contexto de aplicación industrial y académico a nivel nacional de la industria 4.0*

Categoría	Subcategoría 1	Subcategoría 2	Aplicación/contexto
Smart factory	Industry 4.0	Perspectivas	Analizan las condiciones actuales y las perspectivas de las empresas que inician esta transformación, en donde resaltan que la innovación no está jugando un papel predominante (Casalet & Stezano, 2020)
	3D Printing	Tendencias	Establecen una hoja de ruta para el escenario desarrollado con el objetivo de determinar posibles etapas enfocadas en aprovechar la tecnología de e identificar oportunidades para la fabricación aditiva, en cuanto a su uso e investigación y desarrollo (Arcos-Novillo & Güemes-Castorena, 2017).
	Robotics	Collaborative robot (cobots)	Flexibilidad e inteligencia, evolucionando hacia sistemas de fabricación reconfigurables, investigación relevante para el desarrollo e introducción de máquinas herramienta reconfigurables (López, Ferreira, Hernández, Godoy, Fernández & Paniagua, 2016)
		Human robot interactions	Análisis del impacto negativo de los robots en el campo laboral como la reducción del empleo en los países deslocalizados al impulsar la reubicación (Faber, 2020)
	Reconfigurable systems /AI	Tendencias	Revisión exhaustiva de la literatura sobre el campo de las máquinas inteligentes y reconfigurables (Molina, Rodríguez, Ahuett, Cortés, Ramírez, Jiménez & Martínez, 2005)
	Sustainability	Empresa de Fabricación Sensible, Inteligente y Sostenible	Propone una metodología cuyo objetivo es adoptar las mejores prácticas utilizadas en la ingeniería empresarial mientras se abordan las brechas relevantes de sustentabilidad (Chavarría, Batres, Wright & Molina, 2017)
	E-Government	Ecosistema dinámico con iniciativas de datos de gobierno abierto	Plataforma emergente basada en las iniciativas de datos del gobierno abierto, enfocado a la innovación de servicios utilizando datos abiertos (Bonina & Eatonb, 2020)
Smart Data	Big data	Data mining	Propone un esquema de diseño que utiliza la tecnología big data como un medio para almacenar y recuperar grandes volúmenes de base de datos espacial de datos climáticos. (Sharma, Galicia, Susen & Cornejo, 2017)
	Business Analytics	Áreas de oportunidad en proyectos de ingeniería de sistemas de automatización	Factores de falla en proyectos de inteligencia empresarial «BI» (Ramírez & Stapleton, 2019).
IoT	Wearable	Aplicación	Creación de un sistema de entrega mediante ayudas de simulación en el que los tiempos requeridos sean mínimos, mejorando la calidad del servicio a los usuarios (Pérez, Olvera, García, Soler & Flores, 2020)
		Personalización	Selección de dispositivos portátiles (Bustamante-Bello, Ruiz-Soto, Ramírez-Mendoza, Avila–Vázquez, Montesinos, Noguez-Monroy & Navarro-Tucha, 2016)
Virtual reality	Augmented reality	Pesonalización del aprendizaje	La tecnología de realidad aumentada se puede explotar como un entorno de aprendizaje eficaz para ayudar a los estudiantes de secundaria de escuelas públicas y privadas a practicar los principios básicos de la geometría (Ibáñez, Uriarte, Zatarain & Barrón, 2020)

Tabla 2. *Situación actual de las tecnologías con enfoque 4.0 en el contexto nacional*

Tecnología	Tendencia	Agentes involucrados
E- Commerce	Nicho de oportunidad con crecimiento sostenido, para esto, es necesario mejorar el bienestar del consumidor y fomentar la inversión y la competencia.	Amazon, Mercado Libre y Alibaba.
E-Goverment	Es necesario traducir la innovación digital en redes sociales y desarrollo económico.	SAT- servicio públicos realizados en línea
Impresión 3D	La innovación y diseño de esta tecnología es limitada. La tecnología es limitada debido a un bajo conocimiento de su capacidad real.	MADiT (National Laboratory of Additive Manufacturing, 3D Digitalization, and Computed Tomography)- UNAM; CIATEQ; National Nanotechnology Laboratory at the Advanced Materials Research Center
Robótica	Hay inversión en manufactura flexible y un interés creciente por prototipos robóticos por parte de la academia.	Festo, UPIITA – IPN, CINVESTAV, The National Astrophysics, Optics, and Electronics Institute (INAOE)
Modelado y simulación	Se ha demostrado gran interés en la exploración de este campo.	CIATEQ; Intel lab GE-IQ lab, by General Electric, the Ford Design Center, and Volkswagen's Innovation Campus. oratory, San Miguelense Tech Park,
Sistemas integrados	Enfoque en Sistema Embebidos, fabricación inteligente, interface hombre-máquina.	Honeywell, Center for Engineering and Industrial Development (CIDESI), CIATEQ
Big Data	Tecnologías de almacenamiento, recuperación, procesamieno, análisis y visualización de grandes conglomerados de información.	Analytics laboratory (Big Data) of the Center for Research and Innovation in Information and Communication Technologies, 100 Mexico open data

De aquí se pude mencionar una pregunta clave que exploran Garcés & Peña (2020) *¿Cómo se debería ajustar la educación en ingeniería hacia la industria 4.0?* Ellos dan respuesta a esta interrogante a través de una propuesta genérica en donde, uno de los pilares se basa en la teoría del aprendizaje experiencial presentada por Kolb (1984), la cual consiste en que por medio de la transformación de la experiencia se crea el conocimiento, lo cual permite diseñar experiencias de aprendizaje activo, colaborativo e interactivo. Bajo este mismo enfoque, Coskun, Kayıkcı & Gençay (2019) desarrolla un marco genérico de tres pilares donde además de incluir la creación de un laboratorio, considera componentes de plan de estudio y un club de estudiantes. Específicamente en el segundo pilar proponen el diseño de dos laboratorios principales para abordar los cambios de planes de estudio, incorporando el desarrollo, unidades de conducción e impacto de las tecnologías de industria 4.0.

Año 15, Vol. VIII, No. 28
ISSN: 1856-8327
e-ISSN: 2610-7813

Erol, Jäger, Hold, Ott & Sihn (2016) expresan que un obstáculo importante para la incursión de estas tecnologías, radica en la compleja percepción y abstracción que dificulta la transformación al enfoque 4.0 en la práctica industrial. Dado a esto, sugieren un modelo basado en competencia para la industria 4.0 y el uso de escenarios con laboratorios para el aprendizaje orientado a problemas de producción futuro.

Hablando específicamente del área de ingeniería industrial, Sackey & Bester (2016), analizan los probables impactos de industria 4.0 y determinan que es necesario una nueva comprensión de ingenieros industriales digitalizados y altamente automatizados. Así mismo concluyen que, una combinación necesaria para el proceso de enseñanza aprendizaje son los laboratorios, incluyendo los virtuales. Por otro lado, Baena, Guarin, Mora, Sauza & Retat (2017) establecen que hay una carencia de enfoques educativos que contribuyan a desarrollar conocimientos basados en experiencia y que las fábricas de aprendizaje han demostrado ser efectivas para desarrollar conocimientos teóricos y prácticos en un entorno real de producción y para su desarrollo proponen tres pilares: didáctica, integradora e ingeniería.

(Angrisani, Arpaia, Bonavolonta & Moriello, 2018) han propuesto nuevos modelos de enseñanza para estudiantes de ingeniería con el objetivo de introducir las bases de industria 4.0. Jaschke (2014) Ha establecido la integración de procesos de aprendizaje para escenarios laborales de industria 4.0. Salah, Abidi, Mian, Krid, Alkhalefah & Abdo (2019) manifiestan que hay una creciente necesidad de incorporar enfoques novedosos y metodológicos orientadas a la generación de nuevas competencias que le permita a los estudiantes afrontar los nuevos retos de los procesos de fabricación. Por otro lado, Bongomin et al (2020) quienes a partir de un estudio exhaustivo de la literatura identificaron las 13 tecnologías claves de industria 4.0, establecieron, que es necesario investigar la capacidad y preparación de los países en desarrollo para adaptar la industria 4.0 desde un enfoque de cambio en los sistemas educativos.

Programas de vinculación entre la academia y la industria en el contexto mexicano han impulsar a ambos sectores, por citar algunos ejemplos de esta colaboración, se puede mencionar la Universidad Regiomontana en colaboración la Cámara Nacional de la Industria Electrónica de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información (CANIETI) y el Clúster de Medios Interactivos de Monterrey quienes en el 2018 inauguraron el primer laboratorio de tecnología 4.0 en el país, con esto, se busca desarrollar la integración de tecnologías máquina a máquina, el big data y el internet de las cosas (Agencia Informativa Conacyt). En el año 2019 el Tecnológico de Monterrey presenta el primer programa de enseñanza-aprendizaje basado en Educación 4.0 lanzado en México y China para fomentar la innovación y el espíritu de emprendimiento (CONECTA). En el año

Año 15, Vol. VIII, No. 28
ISSN: 1856-8327
e-ISSN: 2610-7813

2018, con la inauguración del Laboratorio Nacional de I4.0 en la Universidad Tecnológica de Querétaro, se enfatiza el liderazgo nacional del Estado de Querétaro y se desarrollan alianzas estratégicas con importantes instituciones impulsoras del concepto de sistemas inteligentes de manufactura e I4.0. La Universidad Iberoamericana de León inauguró en el año 2021 el Laboratorio de Innovación para el Desarrollo de Capacidades en Industria 4.0 en un esfuerzo en conjunto con el sector aeroespacial y automotriz de la región para crear un espacio para el desarrollo de pruebas en procesos de producción que incorporan la industria 4.0.

De acuerdo con la información presentada en Tabla 1 y 2 se puede determinar que en el contexto mexicano está cada vez más presente la inserción de la tecnología de industria 4.0 la cual está orientada a la flexibilidad y personalización de los procesos. Existen esfuerzos por parte del ámbito académico por actualizar planes de estudios y diseñar espacios de trabajo físicos y virtuales para crear las competencias y desarrollar las habilidades requeridas para que los estudiantes puedan afrontar los retos del campo laboral. Incluso, se puede afirmar que los laboratorios son una alternativa para recrear un entorno real de producción. Dado a este escenario y a la creciente necesidad de reforzar conocimientos teóricos – prácticos en el ámbito de industria 4.0 se presenta en este trabajo, el proceso de implementación de un laboratorio de manufactura con enfoque 4.0 en la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM-Azcapotzalco). Para esto, se ha considerado la creación de una célula de manufactura reconfigurable que permita simular un proceso de ensamble automatizado. La célula de manufactura reconfigurable incluirá tecnologías como manufactura aditiva, simulación, internet de las cosas y robótica colaborativa. En el proceso de implementación se contemplan aspectos como: espacio destinado, objetivos, configuración, equipo, capacitación de profesores, impactos académicos y la vinculación con otras Instituciones de Educación Superior.

METODOLOGÍA

Para el proceso de implementación del laboratorio se han considerado dos grandes etapas. La primera etapa consiste en la definición del objeto de estudio a partir del contexto actual, una vez que éste ya está definido se establecen las fases de planificación las cuales consisten en: entorno de trabajo colaborativo, módulos, equipamiento, espacio físico e integración y, por último, validación. A continuación, se explican cada una de las etapas y fases

Objeto de estudio

Con la creación del laboratorio se espera desarrollar un escenario que presente el realismo de un sistema productivo donde se cuente con procesos y tecnologías de la industria actual para realizar prácticas de ingeniería de producción en un contexto didáctico. El principal objetivo del

Año 15, Vol. VIII, No. 28
ISSN: 1856-8327
e-ISSN: 2610-7813

laboratorio es desarrollar procesos productivos utilizando tecnología 4.0 que permitan replicar a escala, la complejidad de los procesos industriales reales, de esta manera convergen el proceso, operadores y tecnología. Para esto, se pretende analizar el proceso de transición de un proceso manual a uno automatizado a partir del ensamble de una estructura de bloques conformado con Legos.

Planificación

Para la planificación del laboratorio se definieron las acciones para llevar a cabo su implementación, para esto, se tomó en cuenta el planteamiento realizado por Grajales (2018) en el que define cinco fases para gestionar el cambio en el laboratorio de sistemas integrados hacia la industria 4.0: preparación, análisis, creatividad, evaluación e implementación. Así mismo, se analizaron los planteamientos por Baena et al. (2017) en donde establecen acciones para transformar las prácticas de ingeniería de producción en una dirección de una fábrica de aprendizaje. Sus etapas consisten en identificar aspectos relevantes como temática, grupo objetivo, propósito educativo, enseñanza-aprendizaje, infraestructura tecnológica. Estas etapas se centraron en dos grandes pasos, la parte investigativa y en estructurar un modelo que orienta que la infraestructura y didáctica de las prácticas de producción sean intervenidas con el objetivo de formar una fábrica de aprendizaje. Para la parte del equipamiento, se tomó en cuenta el planteamiento de Kliment et al (2021) en donde mencionan que es importante considerar que el equipamiento del laboratorio debe de ser parte de la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías. Los investigadores plantean una propuesta de espacio de trabajo experimental que ofrece gran potencial para el desarrollo y mejora de tecnologías con el enfoque 4.0 en el campo de la simulación, logística, almacenamiento y campos similares.

A partir de lo analizado anteriormente, para la etapa de planificación de implementación del laboratorio se definieron las siguientes fases: entorno de trabajo colaborativo, módulos, equipamiento, espacio físico e integración y, por último, validación.

En la primera fase de entorno de trabajo colaborativo se establecen los contactos con universidades que trabajan el enfoque de industria 4.0, de igual manera se inician pláticas con los proveedores que desarrollan equipo con este enfoque y finalmente se genera el equipo de trabajo que apoyará en el desarrollo de este proyecto.

En la segunda fase se determinan los módulos necesarios para cumplir con el objetivo de estudio, recordando que, se requiere analizar el proceso de transición de un proceso manual a uno automatizado con el enfoque de industria 4.0, para esto, se establecieron los siguientes módulos: ensamble, calidad, prototipo y manejo de inventario

El tercer módulo corresponde al equipamiento, espacio físico e integración. Esto se establece en función a las dos fases previas, básicamente se establecen los

Año 15, Vol. VIII, No. 28
ISSN: 1856-8327
e-ISSN: 2610-7813

requerimientos técnicos para cumplir el objeto de estudio. Una vez que se tienen los equipos es necesario realizar la integración para garantizar la comunicación en tiempo real y la interfaz de comunicación para controlar el proceso.

La última fase es la validación y prácticas, consiste básicamente en realizar pruebas pilotos para garantizar la integración de los equipos en los módulos y que funciona adecuadamente.

En la Tabla 3 se muestra el cronograma de trabajo en el que se ha considerado cada una de las fases necesarias para la etapa de planificación.

Tabla 3. *Plan de trabajo para la creación de una célula de manufactura con enfoque 4.0*

Etapa	Fase	Actividad	Periodo											
			Año 1				Año 2				Año 3			
			S1		S2		S1		S2		S1		S2	
Planificación	Entorno de trabajo colaborativo	Contacto con universidades/contacto industrial y vinculación académica												
		Documentación de los diferentes procesos a escala que se pueden realizar en la célula de manufactura												
	Módulos	Propuesta de distribución de una célula de manufactura												
	Equipamiento, espacio físico e integración	Estación de impresión 3D (prototipo), pruebas de funcionamiento y prueba piloto												
		Conectividad del sistema de impresión 3D												
		Estación de calidad. Configuración de la estación, equipamiento y protocolo de comunicación												
		Estación de ensamble. Configuración de la estación, equipamiento y protocolo de comunicación												
		Estación de empaque, codificación e inspección, equipamiento. Configuración de la estación y protocolo de comunicación												
		Almacén. Configuración de la estación, equipamiento y protocolo de comunicación												
		Interface de comunicación de las estaciones de trabajo												
	Validación	Pruebas pilotos												

Donde S= Semestre — Pendiente — En proceso

Año 15, Vol. VIII, No. 28
ISSN: 1856-8327
e-ISSN: 2610-7813

Las fases de entorno de trabajo colaborativo y módulo prácticamente se han desarrollado; sin embargo, se sigue trabajando en ampliar los contactos industriales y vinculación académico. Los avances más importantes en equipamiento e integración se tienen en la estación de impresión 3D (prototipo), hasta el momento se han realizado pruebas de prototipos funcionales y se han desarrollado manuales de funcionamiento para piezas personalizadas. El proceso de adquisición de sistemas de visión y dispositivos robóticos para inspeccionar y realizar el proceso de ensamble automatizado se ha iniciado.

RESULTADOS y DISCUSIÓN

Etapa 1. Objeto de estudio

El producto terminado que se pretende desarrollar en el laboratorio, está conformado por el ensamble en forma de escalera, alineado a la izquierda de cinco piezas de Legos de diferentes colores, ver Figura 1.

Figura 1. (a) Estructura del ensamble de legos y (b) Piezas que conforman el ensamble

Actualmente, el proceso de ensamble de la estructura de legos se realiza con tres estaciones de ensamble y una estación de inspección de calidad. Hay un encargado de materia prima, el cual suministra las piezas correspondientes a cada estación de trabajo, como se muestra en la Figura 2.

Año 15, Vol. VIII, No. 28
ISSN: 1856-8327
e-ISSN: 2610-7813

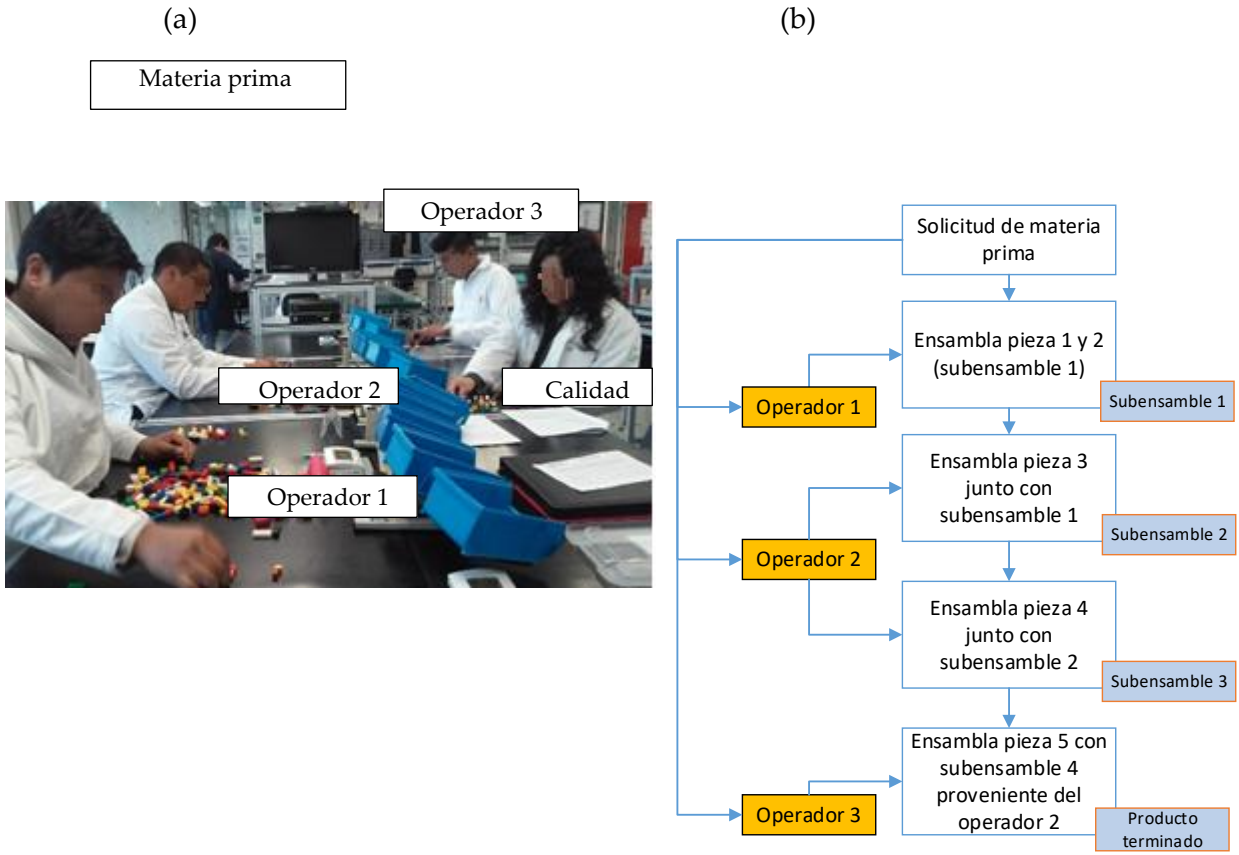

Figura 2. (a) Distribución de la línea de ensamble y (b) Diagrama de ensamble del proceso

A partir de este proceso manual ya definido se espera incorporar las tecnologías de industria 4.0 y evaluar el impacto de éstas sobre el proceso, permitiendo analizar las ventajas y desventajas de automatizar el proceso con el enfoque de industria 4.0.

Con la incorporación estas tecnologías se esperan impactar directamente en el valor agregado del proceso, lo cual se puede ver reflejado por medio de indicadores claves como es el tiempo de entrega, porcentaje de cumplimiento de calidad y tiempo ciclo.

Etapa 2. Planificación

Trabajo colaborativo.

El entorno del trabajo colaborativo se desarrolla principalmente a partir de la vinculación institucional e industrial, así como la integración de profesores de otras disciplinas

- Vinculación institucional. Es un factor determinante para compartir conocimiento. Se ha establecido un vínculo académico con universidades interesadas en la Industria 4.0, es el caso de la Universidad Autónoma de Nuevo León, la Universidad Regiomontana y la Universidad Tecnológica de Querétaro. Sin embargo, es un campo que es necesario fortalecer.
- Vinculación con expertos en el tema. Se mantiene comunicación continua con profesionales en la industria. Se han organizado demostraciones de robótica

Año 15, Vol. VIII, No. 28
ISSN: 1856-8327
e-ISSN: 2610-7813

colaborativa, sistemas de visión y software de simulación.

- Capacitación. Profesores y alumnos de servicio social han participado en seminarios web y cursos de capacitación.
- Participación colaborativa. Se ha logrado la participación de profesores de los departamentos de electrónica y química en el desarrollo de proyectos con enfoque 4.0.
- Capacitación. La asistencia por parte de los profesores y alumnos a eventos internacionales como: Evento Hannover León, Exposición internacional de manufactura en Monterrey, exposición manufactura en la ciudad de México., Para conocer físicamente los equipos con los se trabaja la industria 4.0.

Módulos

Se considera que la célula de manufactura está integrada por 6 módulos:

- Estación de diseño y refacciones. Se imprimen piezas personalizadas de acuerdo con los requerimientos de producción. Se han desarrollado e impreso prototipos didácticos funcionales para prácticas de física y química.
- Estación de ensamble. Se suministran piezas para ensamble a un robot colaborativo.
- Inspección. Un sistema de visión dotado de un grupo de especificaciones predeterminadas acepta o rechaza los ensambles mediante el reconocimiento de patrones de imágenes, color, forma, dimensión y tamaño.
- Estación de empaque y codificación. El ensamble se coloca en una tarima o en un contenedor y se coloca un código identificador que habilita la trazabilidad.
- Estación de registro e inspección. Se inspecciona que el ensamble esté debidamente empacado y se monitorea su información por medio del código QR.
- Estación almacén de producto terminado. El ensamble final se almacena de acuerdo con reglas de prioridad como PEPS (primeras entradas, primeras salidas), UEPS (últimas entradas, primeras salidas), manteniendo nivel máximo, medio y mínimo.

El flujo de información será en tiempo real en una célula que actuará de manera integral, modular y flexible al desarrollar diferentes procesos de ensamble, considerando diferentes configuraciones de producto y tamaños de lote. En la Figura 3 se muestra la propuesta de equipamiento a nivel industrial y didáctico usando las tecnologías previamente mencionadas.

Año 15, Vol. VIII, No. 28
ISSN: 1856-8327
e-ISSN: 2610-7813

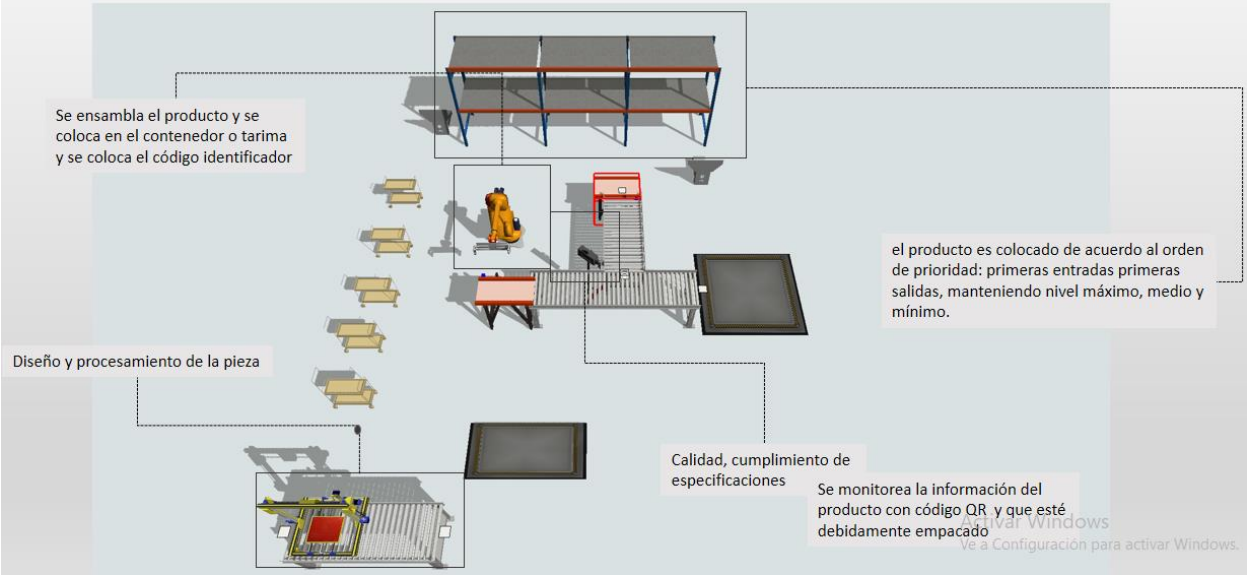

Figura 3. Propuesta de equipamiento en el laboratorio

Equipamiento, espacio físico e integración

El espacio destinado para la célula de manufactura reconfigurable es el segundo piso del edificio W de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, cuenta con el espacio disponible de 48.99 m², ver Figura 4.

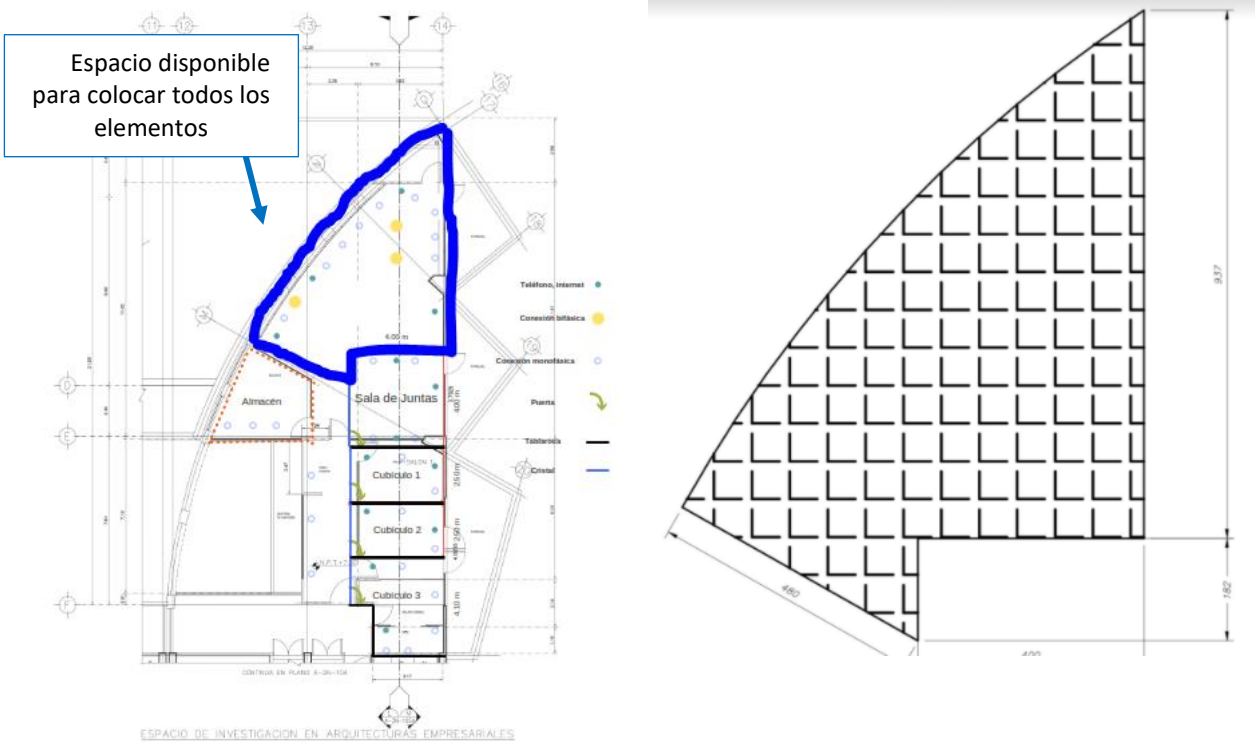

Figura 4. Plano del laboratorio de Manufactura

Se considera que el laboratorio sea equipado en al menos un 85% con equipo industrial, mismo equipo que se utiliza actualmente en el sector automotriz y alimenticio, principalmente. De esta manera, los alumnos pueden interactuar, adquirir las destrezas y conocimiento requerido para familiarizarse con el entorno profesional al que se enfrentarán una vez que sean egresados.

Se considera que el proceso de equipamiento tiene un 15% de grado de avance ya que actualmente, se cuenta con equipos de impresión 3D, banda transportadora y sistema de visión, ver Figura 5.

(a) (b)

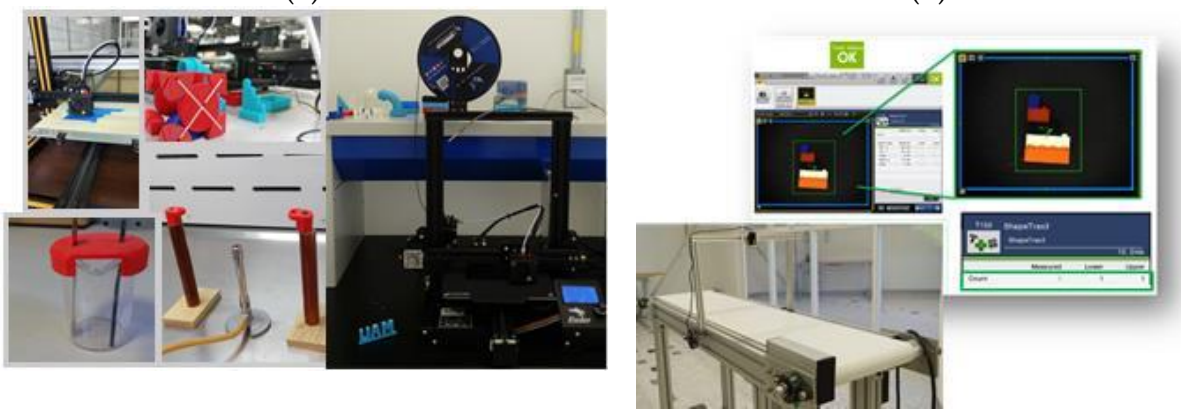

Figura 5. (a) Impresión 3D y (b) Banda transportadora y cámara de visión

Para simular un proceso de ensamble automatizado se espera contar con un cobot (brazo robótico colaborativo) UR3 de la empresa Universal Robots, en este brazo robótico se establecen los puntos y movimientos requeridos para manipular las piezas y realizar el proceso de ensamble a partir de "programación por aprendizaje". La principal característica de este brazo robótico es que, a partir del conocimiento experto del proceso, el mismo operador puede realizar la programación en un entorno colaborativo, de esta manera, no hay una sustitución del operador, sino que, en lugar de que éste se dedique a realizar actividades repetitivas se convierte en un gestor del proceso.

Una vez que se ha realizado el proceso de ensamble es necesario verificar la calidad, para esto se cuenta con el sistema de visión de la serie CV-X de la empresa Keyence. Con esta cámara es posible capturar imágenes del producto ensamblado y mediante la definición de características de calidad; por ejemplo: posición, forma y color, es posible establecer una condición de pieza aceptada y rechazada. En este caso, si la pieza es rechazada, la cámara envía una señal al cobot para que éste posicione la pieza en una banda transportadora y de acuerdo con la condición de la pieza, ésta es enviada a producto terminado o al sector de retrabajo. Actualmente se está trabajando

Año 15, Vol. VIII, No. 28
ISSN: 1856-8327
e-ISSN: 2610-7813

en la instrumentación de la banda transportadora para que la toma de decisión sea bidireccional, es decir, si el producto es aceptado la banda se mueve hacia la derecha y si el producto es rechazado se mueve hacia la izquierda.

Por último, se cuentan con dos impresoras 3D, Ender 3 Pro de la empresa Ultimaker. Con ayuda de estas impresoras se pueden desarrollar productos personalizados a partir del diseño original de los mismos. Actualmente se está trabajando en pruebas de impresión de las piezas que serán utilizadas como base para los procesos de ensamble, así como la fabricación de grippers colaborativos para el COBOT, para que la célula tenga la capacidad de innovarse según el producto.

También se tiene considerado el sistema de alimentación de tarimas y contenedores, un sistema de identificador del tipo de tarima o contenedor a utilizar dependiendo del producto a empacar.

Es importante mencionar que, dado que la célula de manufactura es reconfigurable y flexible, los puntos de inspección y secuencia de ensamble se pueden cambiar de acuerdo con requerimientos establecidos. Se tiene pendiente la fase de diseño, reconfiguración e integración del equipo, de tal manera que se pueda garantizar la interconectividad, comunicación y mando de los mismos para la adquisición y procesamiento de señales digitales que permiten el desarrollo de los procesos, siendo flexibles según el operador los configure.

Validación

La intención a mediano plazo con este laboratorio, es que nuestra universidad sea un referente tecnológico en industria 4.0 y colaborar activamente con el sector industrial para fortalecer la vinculación y trabajo colaborativo entre ambas partes.

Se tiene contemplado que este laboratorio ayude a fomentará el uso y aplicación de las nuevas tecnologías para el desarrollo de actividades productivas esto se pretende lograr por medio de la impartición de cursos de habilitación en el uso de las células de manufactura reconfigurables para la comunidad educativa y el sector empresarial.

Por otro lado, se espera evaluar el conocimiento a portado a los estudiantes una vez que éstos hayan desarrollado nuevas habilidades en el marco de la Industria 4.0 y se hayan incorporado en el mercado laboral.

La generación de proyectos de investigación con aplicación industrial es otra de las consideraciones que se están tomando en cuenta para evaluar el impacto del desarrollo de este nuevo laboratorio ya que no solo se espera que se apliquen las tecnologías de industria 4.0, sino que, se incursione en nuevas metodologías de trabajo.

El estudio representa retos en el corto, mediano y largo plazo, porque la formación de ingenieros, requiere de la aplicación de herramientas de innovación, en este caso un laboratorio de manufactura con el enfoque I4.0. Los resultados dependerán del avance de la aplicación y serán: a) certificación u acreditación por

Año 15, Vol. VIII, No. 28
ISSN: 1856-8327
e-ISSN: 2610-7813

algún organismo, b) sistema de gestión de la calidad, c) mejora continua, d) Barreras o limitaciones financieras, e) Colaborar con el cuidado del medio ambiente, personal, instalaciones, equipos y maquinaria, f) Mantener la vigencia tecnológica.

La investigación permite utilizar herramientas de evaluación a los alumnos al obtener los conocimientos derivados del aprendizaje de estos temas y son: el sistema de gestión de la calidad que mide la satisfacción de estudiantes y las competencias adquiridas que se relaciona con la evaluación, como: a) Encuestas de satisfacción, b) Buzón de sugerencias, c) Pruebas escritas, d) Pruebas orales y e) Rúbricas.

CONCLUSIONES

El laboratorio permitirá estar a la vanguardia de las nuevas tecnologías e incursionar en nuevas líneas de investigación orientadas a la mejora y optimización de los procesos. Las tecnologías 4.0 representan conocimiento emergente, en este escenario se identifican tres líneas de trabajo para un laboratorio de manufactura 4.0 en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco: formación de estudiantes incorporando las nuevas tecnologías, producción científica de alto impacto aplicada a los problemas nacionales y la vinculación interinstitucional entre la comunidad académica y la industria.

Para asegurar la contribución del laboratorio con los estudiantes de licenciatura, se plantea la integración de materias en el Plan de Estudio de la licenciatura en Ingeniería Industrial relacionadas con las temáticas de la industria 4 como la impresión 3D y la simulación de procesos productivos, así como desarrollar proyectos de fin de carrera multidisciplinarios con alumnos de Ingeniería Industrial, Computación y Electrónica

El laboratorio será el primero en su tipo en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, lo que permitirá estar a la vanguardia en nuevas tecnologías y fomentará la participación de profesores investigadores de los Departamentos de Sistemas, Electrónica y Departamentos que cubren la docencia de las licenciaturas en Ingeniería Industrial y Electrónica. Las tecnologías 4.0 representan un conocimiento emergente, cambiado de fondo la forma en que se desarrollan nuestras actividades, en este escenario se identifican tres líneas de trabajo para un laboratorio de manufactura 4.0 en la UAM Azcapotzalco:

Formación de estudiantes. Muchas de las actividades operativas serán sustituidas, los profesionales deberán desarrollar actividades donde el pensamiento, la toma de decisiones y el diseño tendrán un gran valor agregado, en ese sentido, el laboratorio permitirá a los alumnos a aplicar información en distintos contextos para resolver problemas complejos de forma multidisciplinar. Será muy

Año 15, Vol. VIII, No. 28
ISSN: 1856-8327
e-ISSN: 2610-7813

motivante para el estudiante realizar y desarrollar prototipos de productos, líneas de producción, sistemas de control y almacenamiento.

Incorporación de nuevas tecnologías. El equipamiento del laboratorio permitirá integrar en un lugar y espacio lo que actualmente se tiene en distintos espacios, esta situación permitirá tener en un entorno técnicamente multidisciplinar que complemente la formación universitaria para un entorno de industria 4.0.

Producción científica. El laboratorio fomentará el vínculo entre la academia y la industria, resolviendo problemas y de proyectos reales, fomentando en las industrias el cambio hacia este nuevo entorno donde las empresas deberán ser más rentables y sustentables en las áreas de desarrollo de productos y producción. Estos tres aspectos permitirán cerrar la brecha entre lo que requiere el mercado y lo que se imparte en la universidad.

Algunos de los retos que tendrá el presente proyecto será convertirse en un centro integrado de conocimiento que contemple formación de recursos humanos, investigación y transferencia de conocimiento para resolver necesidades y capacitación en la industria, lo anterior partiendo del hecho que un sector de la industria ha iniciado un proceso de reconversión tecnológica y requerirán del apoyo de este tipo de centros, este proceso de reconversión requiere de una preparación minuciosa para solventar todos los retos que la Industria 4.0 planteará en los próximos años.

Frente a la necesidad de adquirir nuevos conocimientos, en los Planes de Estudios de las licenciaturas que pudieran converger en las actividades del laboratorio se deberán procurar el desarrollo de competencias en aspectos como desarrollo de sistemas, integración de tecnologías heterogéneas, tecnologías móviles, sensores, tecnología de red, ciencias computacionales y mantenimiento predictivo

En los procesos de enseñanza aprendizaje, la universidad deberán de procurar que los alumnos aprendan a través de actividades que les permitan estructurar sus razonamientos, perspectivas, potencialidades y capacidad creativa.

Respecto a los docentes, estos deberán de organizarse en áreas multidisciplinares y con diversos enfoques, donde se trabaje en proyectos integrados.

REFERENCIAS

Almada-Lobo, F. (2015). The Industry 4.0 revolution and the future of manufacturing execution systems (MES). *Journal of Innovation Management*, 3 (4), 16–21. https://doi.org/10.24840/2183-0606_003.004_0003

Angrisani, L., Arpaia, P., Bonavolonta, F., & Moriello, R. S. L. (2018). Academic fablabs for industry 4.0: Experience at university of naples Federico II. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 21 (1), 6-13. https://doi.org/10.1109/MIM.2018.8278802

Anuşlua, M. & Fıratb, S. (2019). Clustering analysis application on Industry 4.0-driven global indexes. 3rd World Conference on Technology, Innovation and Entrepreneurship (WOCTINE). *Procedia Computer Science*, 158, 145–152. https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.037

Arcos-Novillo, D. & Güemes-Castorena, D. (2017). Development of an additive manufacturing technology scenario for opportunity identification—The case of Mexico. *Futures*, 90, 1-15. https://doi.org/10.1016/j.futures.2017.05.001

Baena, F., Guarin, A., Mora, J., Sauza, J. & Retat, S. (2017). Learning Factory: The Path to Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 9, 73-80. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.022

Bongomin, O., Gilibrays, G., Oyondi, E., Musinguzi, A. & Omara, T. (2020). Exponential disruptive technologies and the required skills of industry 4.0. *Journal of Engineering*, 2020, 280156, 1-17. https://doi.org/10.1155/2020/4280156

Bonina, C., & Eatonb, B., (2020). Cultivating open government data platform ecosystems through governance: Lessons from Buenos Aires, Mexico City and Montevideo. *Government Information Quarterly*, 37 (3), 101479. https://doi.org/10.1016/j.giq.2020.101479

Bustamante-Bello, R., Ruiz-Soto, G., Ramírez-Mendoza, R., Avila–Vázquez, R., Montesinos, L., Noguez-Monroy, J. & S. Navarro-Tucha (2016). Health Wearables for Early Detection of Frailty Syndrome in Older Adults in Mexico: An Informed, Structured Process for the Selection of a Suitable Device. *Procedia Computer Science*, 98, 374-381. https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.09.057

Casalet, M. & Stezano, F. (2020) Risks and opportunities for the progress of digitalization in Mexico. *Economics of Innovation and New Technology*, 29 (7), 689-704. https://doi.org/10.1080/10438599.2020.1719643

Chavarría, D., Batres, R., Wright, P. & Molina, A. (2017). A methodology to create a sensing, smart and sustainable manufacturing Enterprise. *International Journal of Production Research*, 56 (1-2), 584-603. https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1386333

Coskun, S., Kayıkcı, Y. & Gençay, E. (2019). Adapting Engineering Education to Industry 4.0 Vision. *Technologies*, 7 (1), 10; 1–13. https://doi.org/10.3390/technologies7010010

Erol, S.; Jäger, A.; Hold, P.; Ott, K. & Sihn, W. (2016). Tangible Industry 4.0: a scenario-based approach to learning for the future of production. 6th CLF - 6th CIRP Conference on Learning Factories. *Procedia CIRP*, 54, 13-18. https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.162

Faber, M. (2020). Robots and reshoring: Evidence from Mexican labor markets. *Journal of International Economics*, 127, 103384. https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2020.103384

Garcés, G. & Peña, C. (2020). Ajustar la Educación en Ingeniería a la Industria 4.0: Una visión desde el desarrollo curricular y el laboratorio. *Revista de estudios y experiencias en educación*, 19 (40), 129-148. http://dx.doi.org/10.21703/rexe.20201940garces7

Grajales, V. (2018). *Estrategia en el marco de la industria 4.0, para el laboratorio de SIM de la Fundación Universitaria los Libertadores (Trabajo de grado)*. Fundación Universitaria Los Libertadores, Colombia. http://hdl.handle.net/11371/3055

Ibáñez, M., Uriarte, A., Zatarain, R. & Barrón, M. (2020). Impact of augmented reality technology on academic achievement and motivation of students from public and private Mexican schools. A case study in a middle-school geometry course. *Computers & Education*, 145, 103734. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103734

Jaschke, S. (2014). Mobile learning applications for technical vocational and engineering education: The use of competence snippets in laboratory courses and industry 4.0. *2014 International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL)*, 605-608. https://doi.org/10.1109/ICL.2014.7017840

Kliment, M., Pekarcikova, M., Trebuna, P., & Trebuna, M. (2021). Application of TestBed 4.0 Technology within the Implementation of Industry 4.0 in Teaching Methods of Industrial Engineering as Well as Industrial Practice. *Sustainability*, 13 (16), 8963. https://doi.org/10.3390/su13168963

Kolb, D. (1984). *Experience as the source of learning and development*. USA: Prentice Hall.

López, A., Ferreira, D., Hernández, E., Godoy, J., Fernández, G. & Paniagua, P. (2016). Multi-robot formation control using distance and orientation. *Advanced Robotics*, 30 (14), 901-913. https://doi.org/10.1080/01691864.2016.1159143

Molina, A., Rodriguez, C. A., Ahuett, H., Cortés, J. A., Ramírez, M., Jiménez, G. & Martinez, S. (2005). Next-generation manufacturing systems: key research issues in developing and integrating reconfigurable and intelligent machines. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 18 (7), 525-536. https://doi.org/10.1080/09511920500069622

Pérez, A.; Olvera, V.; García, C.; Soler, F. & Flores, I. (2020). Internet of things and industry 4.0 applied in the delivery system for the bicipuma bike-sharing system in UNAM-Mexico. *Procedia Manufacturing*, 42, 434-441. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.052

Pfeiffer, S. (2017). The Vision of BIndustrie 4.0 in theMaking—a Case of FutureTold, Tamed, and Traded. *Nanoethics*, 11, 107–121. https://doi.org/10.1007/s11569-016-0280-3

Ramírez, M. & Stapleton, L. (2019). Failure Factors in the Control of Large-Scale Business Intelligence Systems Development Projects: Case Study of an Advanced Engineering Firm in Mexico. *IFAC-PapersOnLine*, 52 (25), 579-584. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.609

Sackey, S. M., & Bester, A. (2016). Industrial engineering curriculum in Industry 4.0 in a South African context. *South African Journal of Industrial Engineering*, 27 (4), 101-114. https://doi.org/10.7166/27-4-1579

Salah, B., Abidi, M., Mian, S. H., Krid, M., Alkhalefah, H., & Abdo, A. (2019). Virtual Reality-Based Engineering Education to Enhance Manufacturing Sustainability in Industry 4.0. *Sustainability*, 11(5), 1477. https://doi.org/10.3390/su11051477

Sharma, S., Galicia, L.D., Susen, J. & Cornejo, L. (2017). Employing big data analytics to monitor transportation impacts in El Paso during Pope's visit to the US-Mexico border City of Juárez. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 6 (2), 127-142. https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2017.06.005

Vogel-Heuser, B. & Hess, D. (2016). Guest editorial industry 4.0 – prerequisites and visions. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 13 (2), 411–413. https://doi.org/10.1109/TASE.2016.2523639

Año 15, Vol. VIII, No. 28
ISSN: 1856-8327
e-ISSN: 2610-7813

Autores

Lisaura Walkiria Rodríguez Alvarado. Docente – investigador Departamento de Sistemas, Universidad Autónoma Metropolitana UAM-Azcapotzalco, Ciudad de México, México.

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1653-4643
Email: lwra@azc.uam.mx

Jesús Loyo Quijda. Docente – investigador Departamento de Sistemas, Universidad Autónoma Metropolitana UAM-Azcapotzalco, Ciudad de México, México.

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2713-723X

Email: lqj@azc.uam.mx

Miguel Ángel López Ontiveros. Docente – investigador Departamento de Sistemas, Universidad Autónoma Metropolitana UAM-Azcapotzalco, Ciudad de México, México.

ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9377-9639

Email: mlopez@azc.uam.mx

Enrique Ávila Soler. Docente – investigador Departamento de Sistemas, Universidad Autónoma Metropolitana UAM-Azcapotzalco, Ciudad de México, México.

ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8980-0925

Email: eas@azc.uam.mx

Sergio Miguel García Carranco. Docente – investigador Departamento de Sistemas, Universidad Autónoma Metropolitana UAM-Azcapotzalco, Ciudad de México, México.

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1726-5772

Email: smgc@azc.uam.mx

Recibido: 15-10-2021 **Aceptado:** 30-03-2022