

INTEGRACIÓN DE DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA, ARDUINO Y MANUFACTURA ADITIVA EN EL PROCESO DE APRENDIZAJE DE ROBÓTICA BÁSICA EN ALUMNOS DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

INTEGRATION OF COMPUTER AIDED DESIGN, ARDUINO AND ADDITIVE MANUFACTURING IN THE LEARNING PROCESS OF BASIC ROBOTICS IN MECHATRONIC ENGINEERING STUDENTS

Eliel Eduardo Montijo Valenzuela^{1*}, Rogelio Acedo Ruíz², Jalil Gerardo Espinoza Zepeda³,
Efrén Sámano Hermosillo⁴, Cristal Anel Alcaráz Domínguez⁵, Gabriel Garcia Corral⁶

¹ eliel.montijo@ues.mx. Universidad Estatal de Sonora. *Autor corresponsal.

² rogelio.acedor@hermosillo.tecnm.mx. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de
Hermosillo.

³ jalil.espinoza@ues.mx. Universidad Estatal de Sonora.

⁴ efren.samano@ues.mx. Universidad Estatal de Sonora.

⁵ anel.alcaraz@ues.mx. Universidad Estatal de Sonora.

⁶ gabriel.garcia@ues.mx. Universidad Estatal de Sonora.

DOI: <https://doi.org/10.46589/rdiasf.vi38.526>

Recibido 12 de octubre 2022.

Aceptado 18 de diciembre 2022

Publicado 19 de Diciembre de 2022

Resumen

Los avances tecnológicos y la irrupción de la Industria 4.0, implica que los ingenieros en mecatrónica adquieran las competencias de egreso necesarias para adaptarse a un mundo de transformación digital y cada vez más automatizado, incluyendo potencialmente aquellas que ayuden en el diseño, manufactura, monitoreo y control de robots, a través de la adquisición y análisis de datos. En el desarrollo de estas competencias, existen herramientas de importancia que ayudan al proceso de aprendizaje de robótica básica, que incluyen el diseño asistido por computadora (CAD), Arduino y manufactura aditiva a través de la impresión 3D, además de la importancia de los conceptos de electrónica, mecánica y programación. El objetivo de esta investigación es recopilar los proyectos terminales generados por alumnos de ingeniería en mecatrónica de primer semestre de la Universidad Estatal de Sonora – Unidad Académica Hermosillo, a partir de un taller práctico extracurricular enfocado a robótica básica. La metodología de trabajo se fundamentó en el ABP (Aprendizaje Basado en Proyectos). Los resultados obtenidos fueron la creación de robots autónomos que evaden obstáculos, robots seguidores de trayectorias establecidas (seguidores de líneas) y robots comandados a distancia, todos ellos utilizaron Arduino y fueron personalizados mediante diseño CAD y manufacturados con impresión 3D.

Palabras clave: diseño, automotriz, validación estática, CAD, CAE.

Abstract

Among the materials used in the automotive industry, polymers can be considered of interest in the manufacture of auto parts, due to their versatility and application. This research presents the modeling and static validation by simulation of a straight pressure clip made of polyamide nylon 6.6 polymer material for automotive application. The methodology used consists of 3 stages. 1) Design and modeling using two-dimensional and three-dimensional drawing tools and assemblies.

2) Analysis of theoretical loads in the clip and the assembly. 3) Static validation from simulation with finite elements. As results were obtained: a three-dimensional model of the straight pressure clip, the distribution of loads in the assembly and the clip, simulated values of maximum stress generated in the clip and the assembly, maximum deformation and safety factor. The design meets the load specifications.

Keywords: design, automotive, static validation, CAD, CAE.

Introducción

La ingeniería mecatrónica es un campo que comprende múltiples disciplinas y es definida como “la combinación sinérgica de mecánica e ingeniería eléctrica, ciencias de la computación y tecnología de la información, que incluye sistemas de control, así como métodos utilizados para diseñar productos con inteligencia incorporada” (Harashima et al., 1996, p. 1). Esta definición, engloba diferentes saberes interdisciplinarios que actúan de forma conjunta; los sistemas mecánicos comprenden elementos mecánicos, máquinas y mecánica de precisión, los sistemas electrónicos abarcan la microelectrónica, electrónica de potencia, sensores y actuadores, y la tecnología de la información incluye la teoría de sistemas, automatización, ingeniería de software e inteligencia artificial (Isermann, 2000). Por lo tanto, la mecatrónica reúne áreas de la tecnología que involucran el diseño de máquinas y mecanismos, sensores, circuitos integrados, interfaz de medición, sistemas de actuación, sistemas de microprocesadores, procesamiento de señales, redes y comunicación (Shi y Zhang, 2021).

Una rama importante de la mecatrónica es la robótica. El término moderno robot deriva de la palabra checa *robot* (“siervo” o “trabajo forzado”), utilizada en la obra RUR de Karel Čapek en 1920 (Moravec, 2022). La robótica se define como la disciplina de la ciencia y la ingeniería, que se ocupa de la creación, composición, estructura, evaluación y propiedades de las capacidades artificiales incorporadas (Redfield, 2019), mientras que los robots son máquinas autónomas capaces de detectar su entorno, realizar cálculos para tomar decisiones y realizar acciones en el

mundo real (IEEE, 2020), mismos que son utilizados para diversas aplicaciones: procesos de manufactura (Stano y Percoco, 2021; Pérez et al, 2020; Barosz et al, 2020; Urhal et al., 2019), medicina (Khan et al., 2020; de Veiga et al., 2020; Troccaz et al., 2019; Haidegger, 2019; Gifari et al., 2019), agricultura (Rose et al., 2021; Santos et al., 2020; Moysiadis et al., 2020; Costarides et al., 2019), fabricación de semiconductores y circuitos electrónicos (Xia et al., 2022; Zhu et al., 2020; Xiong et al., 2020) e industria de la construcción (Pessoa et al., 2021; Davila et al., 2019; Moon et al., 2018), por mencionar algunas. En este sentido, los robots se han convertido en un elemento esencial en las actividades humanas que han mejorado aspectos científicos, tecnológicos, sociales y ambientales, generando resultados precisos, consistentes y optimizados en cualquier tipo de entorno.

La robótica ha demostrado ser una industria innovadora y muy útil, con una creciente evolución apoyada por múltiples factores, entre los que destacan el diseño asistido por computadora (CAD) y la manufactura aditiva (MA). El CAD es la tecnología relacionada al uso de sistemas de información para asistir en la creación, modificación, análisis y optimización de un diseño (Pitroda, 2021), y la documentación técnica, que reemplaza el dibujo manual con un proceso automatizado (Autodesk, 2022). Con los software CAD se pueden realizar modelos de robots con especificaciones concretas, e incluso se puede combinar con otras herramientas para simular sus capacidades, esto hace que los procesos de diseño de robots sean más sencillos y personalizados.

Los procesos de diseño de robots cambian rápidamente a medida que la demanda aumenta, por lo que en los últimos años, nuevos métodos de fabricación, como MA y la robótica avanzada, fueron desarrollados y utilizados cada vez más por diferentes sectores industriales, cambiando radicalmente la forma en que se fabrican los productos (Urhal et al., 2019). La tecnología de MA surgió en la década de 1980 como parte de “prototipado rápido” en la producción de modelos conceptuales para el análisis y la discusión de ideas de diseño, aplicaciones de forma y ajuste, o para la producción de modelos arquitectónicos o anatómicos (Delgado et al., 2018), y describe un grupo de procesos que producen objetos depositando material capa por capa (Gibson, 2015).

El aprendizaje de la robótica en educación superior desde un enfoque de la ingeniería mecatrónica, supone una integración del CAD y de la MA de forma efectiva, por lo que es necesario que el estudiante adquiera las habilidades necesarias durante su formación para poder solucionar las problemáticas relacionadas a situaciones que incorporen robots. A lo anterior se suma que las

aulas del siglo XXI se están transformando lentamente en pequeños grupos colaborativos que están pasando de un aprendizaje pasivo a entornos de aprendizaje basados en proyectos (Kokotsaki et al., 2016; Helle et al., 2006), utilizando la robótica como un intento de motivar, involucrar y aumentar la retención y el interés de los estudiantes (Cappelleri y Vitoroulis, 2013). El ABP se ha implementado en el aprendizaje de la robótica a nivel superior desde hace varios años (Valls, 2022; Walter y Spath, 2015; Cabre et al., 2013; Quidway, 2011; Price et al., 2010; Varner, 1998) y hace referencia a un modelo de aprendizaje que se organiza en torno a proyectos (Huang et al, 2022), que fomenta la práctica y la relación del conocimiento con la vida diaria (Brin y Shypilova, 2022), contribuyendo a un aprendizaje significativo y profundo (Kızkapan y Bektaş, 2017).

El objetivo de esta investigación es recopilar los proyectos terminales generados por alumnos de ingeniería en mecatrónica de primer semestre de la Universidad Estatal de Sonora – Unidad Académica Hermosillo, a partir de un taller práctico extracurricular enfocado a robótica básica.

Metodología

La metodología aplicada para esta investigación se fundamentó en ABP y las investigaciones realizadas por (Cocota et al., 2105) y (Ortiz y Oviedo, 2019), con enfoque centrado en el estudiante, que pasa de ser un receptor pasivo al principal responsable de su propio aprendizaje. La estrategia empleada para aplicar la metodología ABP fue mediante un taller realizado en el Laboratorio de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Estatal de Sonora – Unidad Académica Hermosillo con una duración de 30 horas presenciales y 15 horas virtuales, dirigido a los estudiantes de la carrera de ingeniería mecatrónica de primer semestre. En el desarrollo e implementación del taller de robótica, se aplicaron contenidos enfocados a la innovación, la creatividad y STEAM (Ciencias, Tecnología, Ingeniería, Artes y Matemáticas), combinando conocimientos de CAD, MA y Arduino, fusionados en diferentes proyectos terminales de robótica básica. En la tabla 1 se concentran los contenidos conceptuales, contenidos procedimentales, materiales y software utilizados en las clases del taller, dividido por elementos de competencia y fases de aprendizaje.

Tabla 1. Programa del taller y secuencia de actividades desarrolladas.

Elemento de competencia I: CAD			
Fase I: Introducción al CAD utilizando software Solidworks.			
Clase 1	Introducción a la interfaz de Solidworks.	Conocer la estructura y funciones de Solidworks.	Práctica 1. Identificando las vistas y planos de un objeto del laboratorio.
Clase 2	Introducción a las vistas y planos en Solidworks.	Conocer y diferenciar las vistas y planos en Solidworks.	
Fase II: Generación de croquis en 2D utilizando software Solidworks.			
Clase 3	Introducción a los herramientas de croquis de Solidworks.	Aplicar las herramientas de croquis y su funcionamiento.	Práctica 2. Mi primer modelo 2D en Solidworks.
Clase 4	Sistemas de unidades y acotaciones.	Conocer los sistemas de unidades que utiliza Solidworks y aplicar la herramienta de cota.	
Clase 5	Relación de posiciones.	Aplicar las operaciones de relación de posiciones para elementos 2D.	
Fase III: Generación de modelos en 3D y ensamblajes utilizando software Solidworks.			
Clase 6	Introducción a los herramientas de modelado 3D de Solidworks.	Conocer las herramientas de modelado 3D y su funcionamiento.	Práctica 3. Ensamble de un mecanismo simple de 5 elementos con Solidworks.
Clase 7	Ensamblaje de sólidos 3D en Solidworks.	Aplicar las herramientas de relaciones básicas de ensamblaje.	
<i>Proyecto integrador del elemento de competencia I. Diseño, modelado y ensamblaje en Solidworks de las partes principales que integran el proyecto de robótica seleccionado.</i>			
Elemento de competencia II: MA (impresión 3D).			
Fase I: Introducción a la impresión 3D.			
Clase 8	La impresión 3D.	Entender qué es la impresión en 3D y por qué tiene tanta relevancia hoy en día.	Práctica 4. Identificando las partes principales de una impresora 3D.
Clase 9	Materiales de impresión y tipos de filamentos.	Conocer las características de los materiales de impresión y los tipos de filamentos comerciales.	
Clase 10	Partes principales de una impresora 3D.	Conocer e identificar las partes principales de una impresora 3D.	
Fase II: Preparación de archivos CAD para impresión con Ultimaker Cura.			



Clase 11	Ecosistema Ultimaker Cura.	Conocer el funcionamiento general de Ultimaker Cura.	Práctica 5. Simulando mi modelo STL en Ultimaker Cura.
Clase 12	Archivos CAD-STL.	Convertir archivos CAD a STL.	
<i>Proyecto integrador del elemento de competencia II. Manufacturar mediante impresión 3D, las piezas del ensamblaje generado en el elemento de competencia I.</i>			
Elemento de competencia III: Arduino.			
Fase I: Descripción de la tarjeta Arduino Uno y tarjeta de aplicaciones.			
Clase 13	Descripción del hardware.	Conocer el hardware de Arduino Uno.	---
Clase 14	Descripción del software.	Conocer el software de Arduino Uno.	
Clase 15	Programación con Arduino.	Conocer los métodos de programación con Arduino.	
Fase II: Señales analógicas y digitales.			
Clase 16	Salidas digitales.	- Encender y apagar un led. - Secuencia de 3 leds. - Generador de sonidos. - Activar un motor DC.	Práctica 6. Generación de un circuito con entradas y salidas digitales mediante Arduino Uno.
Clase 17	Entradas digitales.	Lectura de un botón (push button).	
Clase 18	Entradas analógicas.	- Lectura de una fotocelda. - Lectura de una resistencia variable (potenciómetro). - Lectura de un joystick.	Práctica 7. Generación de un circuito con entradas y salidas analógicas mediante Arduino Uno.
Clase 19	Salidas analógicas.	Variación de la velocidad y sentido de un motor CD y a pasos.	
Fase III: Sensores y actuadores.			
Clase 20	Conexión y programación de sensores.	- Sensor de temperatura. - Sensor ultrasónico	Práctica 8. Generación de un circuito para sensado con Arduino Uno.
Clase 21	Conexión y control de actuadores	- Motor CD - Servomotor	
Clase 22	Conexión de display de cristal líquido	- Conexión de pantalla LCD	
<i>Proyecto integrador del elemento de competencia III. Integrar los elementos electrónicos y de control al ensamble manufacturado para completar de forma funcional el proyecto final seleccionado.</i>			

Resultados

El elemento de competencia I se distribuyó en tres fases, siete clases, tres prácticas y un proyecto integrador. En la fase I se realizó una introducción al CAD utilizando como software Solidworks. En esta fase, el alumno conoció la estructura y funciones del software de diseño, además de las vistas y planos, para la comprensión de las proyecciones horizontales, verticales o de perfil de una pieza, que aportan información adicional y permiten la interpretación correcta de un objeto en análisis. Los conocimientos adquiridos durante la fase I se evaluaron mediante una práctica (práctica 1) que integra la identificación correcta de las vistas de un objeto (ver Figura 1). En la fase II se realizó una introducción al diseño 2D con Solidworks. En esta fase el alumno aplicó las herramientas 2D del software y las relaciones de posición, además de conocer los sistemas de unidades que maneja el software y los modos de acotación para la precisión de los diseños. Esta fase se evaluó con la realización de un modelo 2D en Solidworks (práctica 2) con base a un plano proporcionado por el facilitador (ver Figura 2). En la fase III se generó un ensamblaje a partir de sólidos 3D en Solidworks con base en el conocimiento de las herramientas de modelado y ensamblaje, misma que se evaluó con la práctica 3: creación de un mecanismo simple de cinco componentes en Solidworks (ver Figura 3).

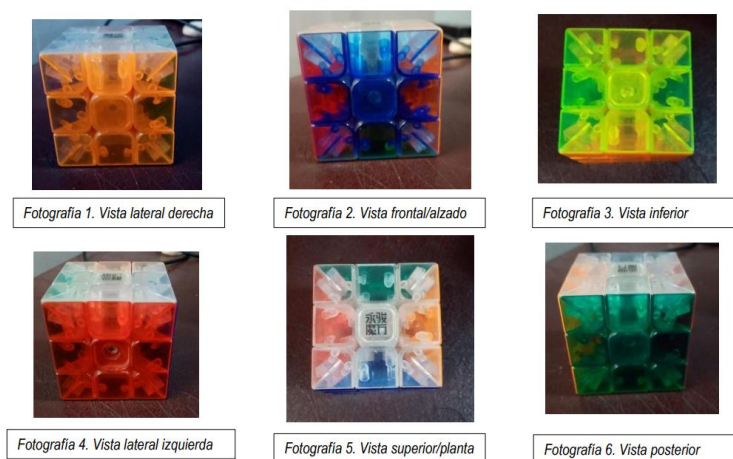


Figura 1. Ejemplo de resultado de práctica 1. Vistas de un cubo de Rubik.

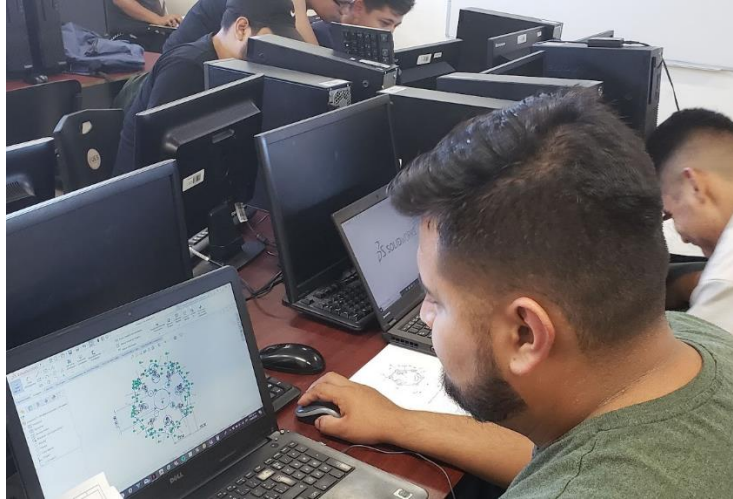


Figura 2. Ejemplo de resultado de práctica 2. Generación de diseño 2D en Solidworks

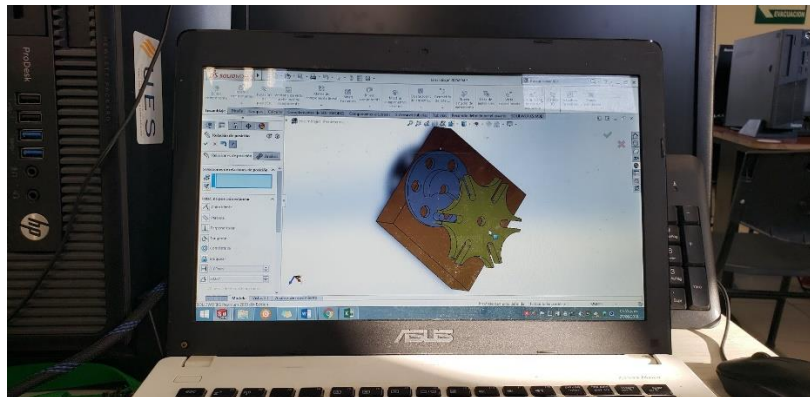


Figura 3. Ejemplo de resultado de práctica 3. Ensamble de mecanismo en Solidworks.

El elemento de competencia II se distribuyó en dos fases, cinco clases, dos prácticas y un proyecto integrador. En la fase I se realizó una introducción a la impresión 3D, donde el alumno comprendió el proceso y su relevancia como tecnología emergente, conoció las características físicas, químicas y mecánicas de los principales materiales poliméricos aplicados a la manufactura aditiva y los tipos de filamentos comerciales. En la conclusión de esta fase, el alumno conoció e identificó las partes principales de una impresora 3D. Los conocimientos adquiridos durante la fase I se evaluaron mediante una práctica (práctica 4) que integra la identificación correcta de las partes principales de una impresora 3D (ver Figura 4). En la fase II se analizó el ecosistema del software

Ultimaker Cura para el tratamiento de archivos generados en CAD y su conversión a formato STL para poder ser procesados mediante impresión 3D. Esta fase se evaluó mediante la simulación de un modelo STL en Ultimaker Cura (ver Figuras 5 y 6).

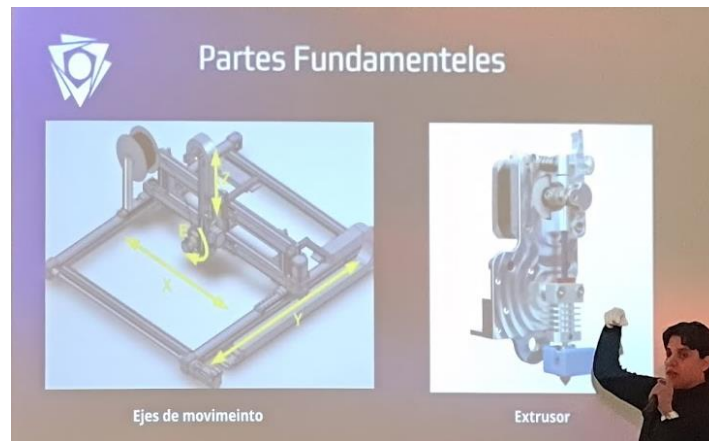


Figura 4. Ejemplo de resultado de práctica 4. Exposición de las partes fundamentales de una impresora 3D.

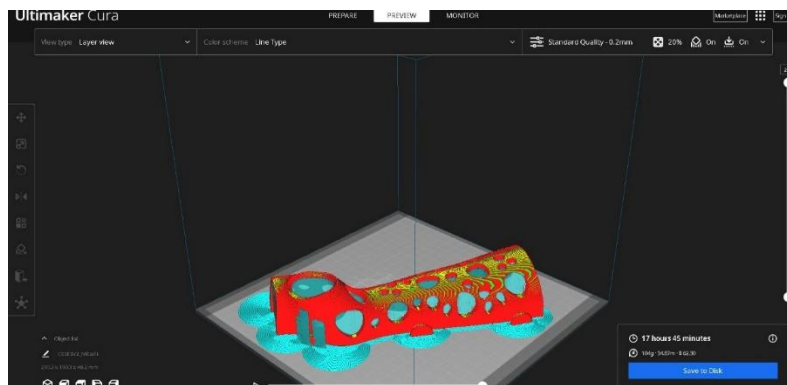


Figura 6. Ejemplo de resultado de práctica 5. Simulación en Ultimaker Cura.



Figura 6. Explicación sobre el funcionamiento de Ultimaker Cura.

El elemento de competencia III se distribuyó en tres fases, diez clases, tres prácticas y un proyecto integrador. En la fase I se realizó una descripción del hardware y software que componen el Arduino Uno. En esta fase, el alumno conoció la metodología de programación con Arduino, a partir de una exposición realizada por los integrantes del taller (ver Figura 7). En la fase II se analizaron las entradas y salidas de las señales analógicas y digitales de Arduino Uno. Esta fase se evaluó con la práctica 6 (generación de un circuito con entradas y salidas digitales mediante Arduino Uno) y 7 (generación de un circuito con entradas y salidas analógicas mediante Arduino Uno), mismas que se pueden apreciar en las Figuras 8, 9 y 10. En la fase III el alumno conoció el funcionamiento de diferentes sensores y actuadores, así como la programación en Arduino Uno y la conexión física a un circuito electrónico. Esta fase se evaluó mediante la integración de la práctica 8: generación de un circuito para sensado con Arduino Uno (ver Figura 11).



Figura 7. Estudiante explicando la metodología de programación en Arduino mediante la explicación de un pseudocódigo.



Figura 8. Ejemplo de resultado de práctica 6. Grupo de alumnos trabajando en equipo en el diseño de un circuito para encender/apagar un led mediante un botón pulsador utilizando Arduino Uno.

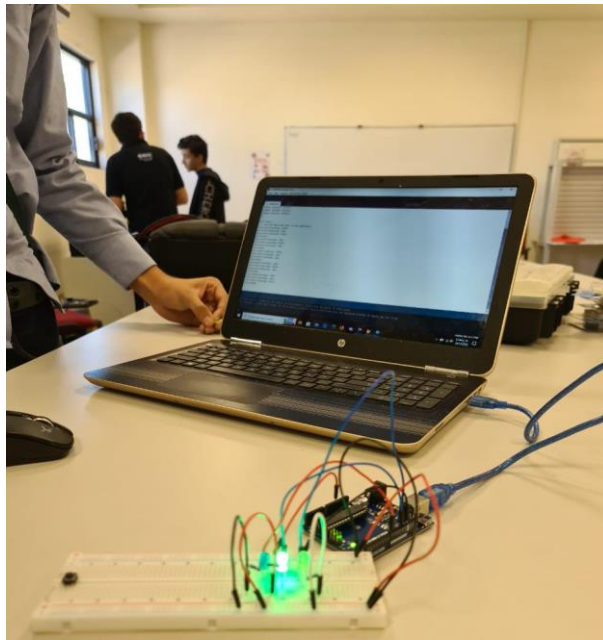


Figura 9. Ejemplo de resultado de práctica 6. Circuito de secuencia de 3 leds activados mediante botón pulsador utilizando Arduino Uno.

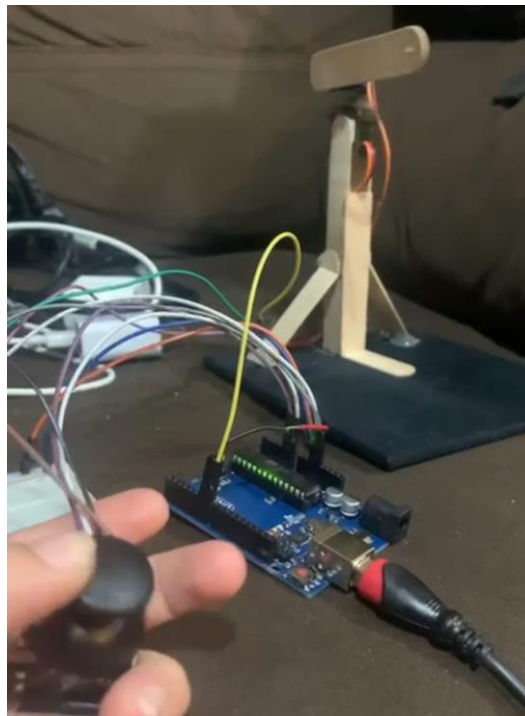


Figura 10. Ejemplo de resultado de práctica 7. Circuito para el movimiento de un motor mediante joystick utilizando Arduino Uno.

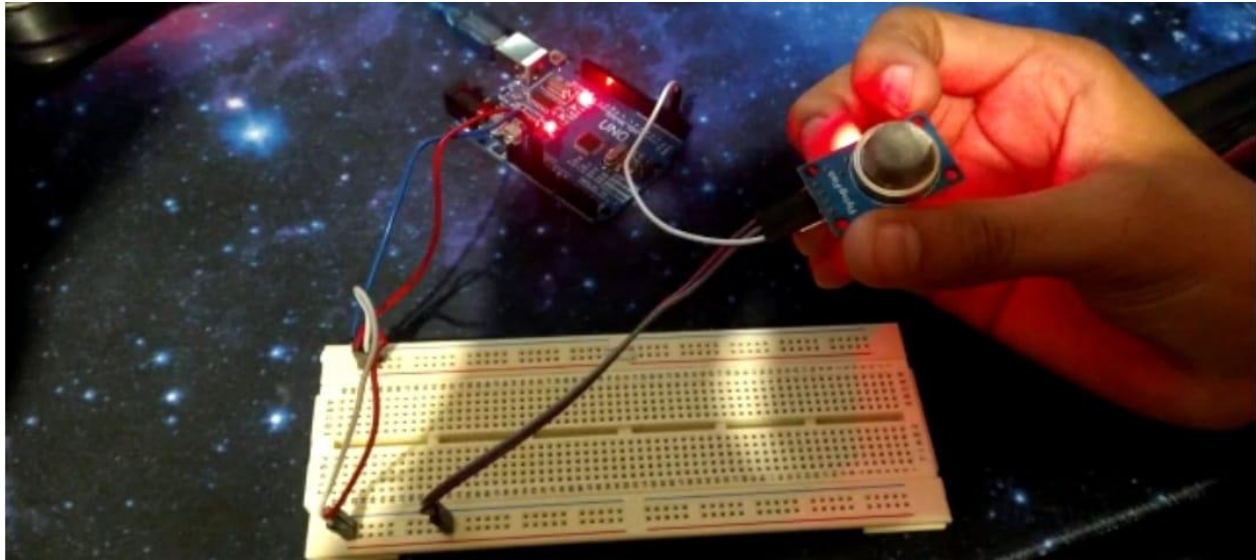


Figura 11. Ejemplo de resultado de práctica 8. Circuito para el sensado de gas utilizando Arduino Uno.

Se realizaron tres proyectos integradores (basados en ABP) en donde se demostró la comprensión de los temas vistos en cada uno de los elementos de competencia. Los proyectos se realizaron con base al diseño mecatrónico secuencial (también llamado tradicional), y se comenzó por el diseño mecánico y manufactura, seguido de la ampliación del sistema con sensores, actuadores y subsistemas no mecánicos, integrados durante la simulación y creación de los prototipos (Gawrysiak, 2002). El primer proyecto se basó en el diseño, modelado y ensamblaje en Solidworks de las partes mecánicas principales que integran el proyecto de robótica seleccionado. Un ejemplo del proyecto integrador del elemento de competencia I se aprecia en la Figura 12. El segundo proyecto se basó en la MA del ensamblaje mecánico mediante impresión 3D. Un ejemplo del proyecto integrador del elemento de competencia II se aprecia en la Figura 13. El tercer proyecto se basó en la integración de los elementos electrónicos y de control en el ensamble manufacturado, de esta forma, los estudiantes a partir de ajustes y correcciones, completaron de forma funcional el proyecto final seleccionado. Un ejemplo del proyecto integrador del elemento

de competencia III se aprecia en la Figura 14. Otros ejemplos de proyectos terminales fueron robots que evaden obstáculos (ver Figura 15) y robots comandados a distancia (ver Figura 16).

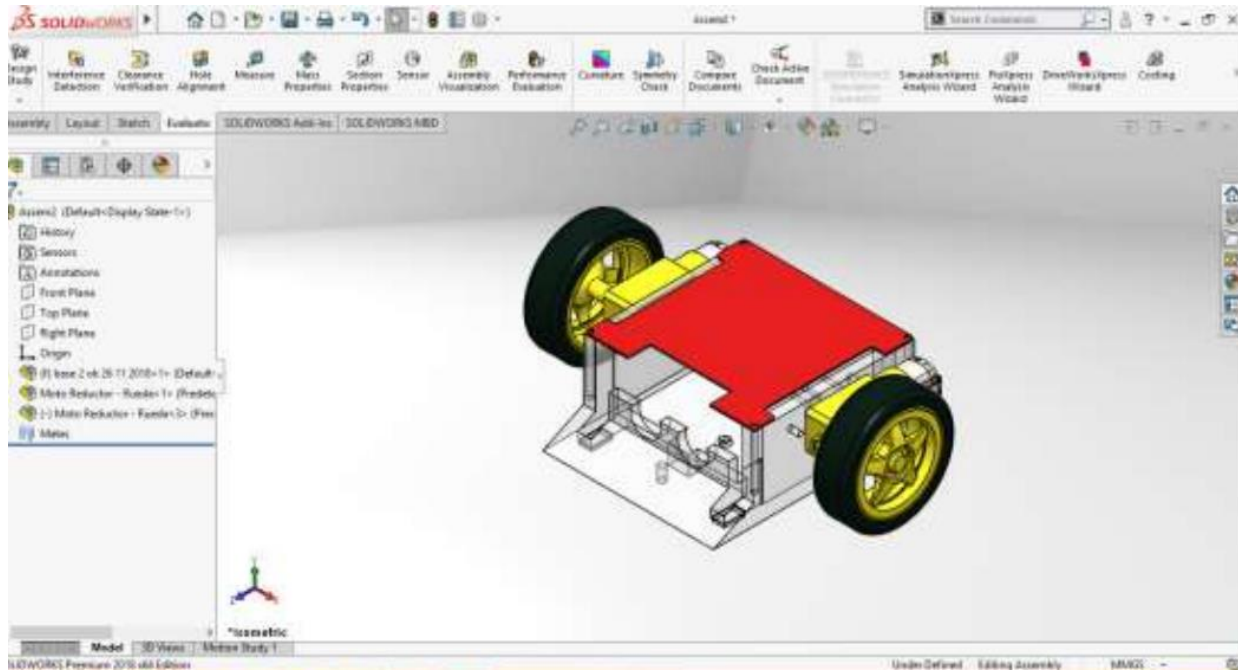


Figura 12. Ejemplo de resultado de proyecto integrador I. Ensamble mecánico en Solidworks de los elementos que conforman el proyecto final: en este caso un seguidor de línea.

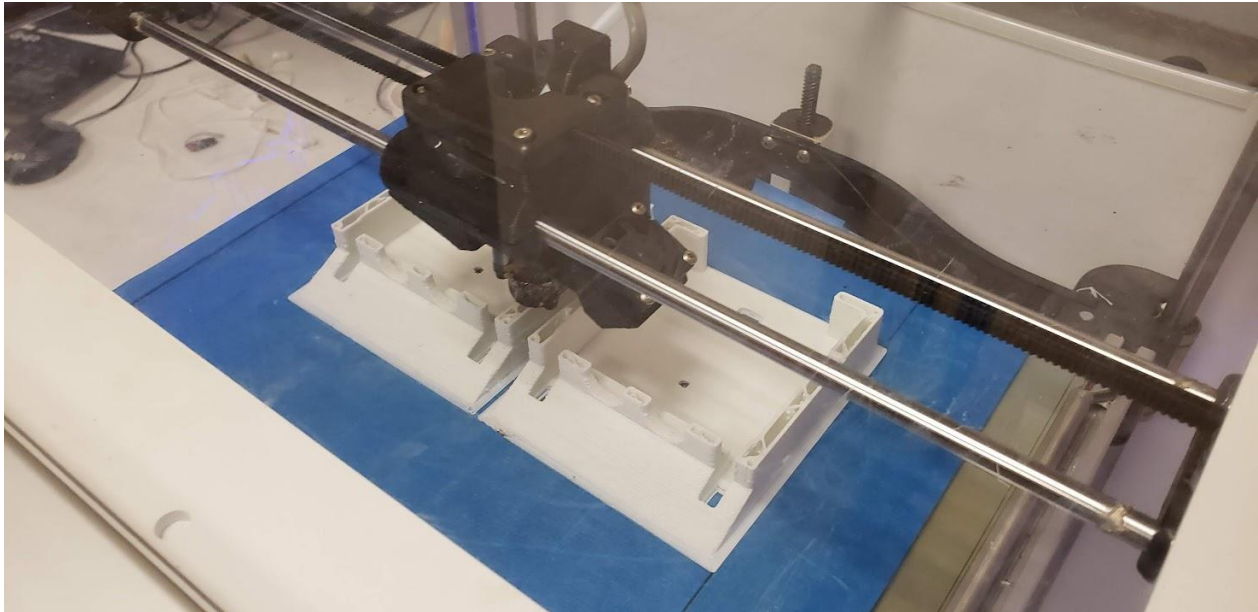


Figura 13. Ejemplo de resultado de proyecto integrador II. Manufactura de las piezas del ensamble generado. En la imagen se muestra la impresión en 3D de dos chasis del seguidor de línea.

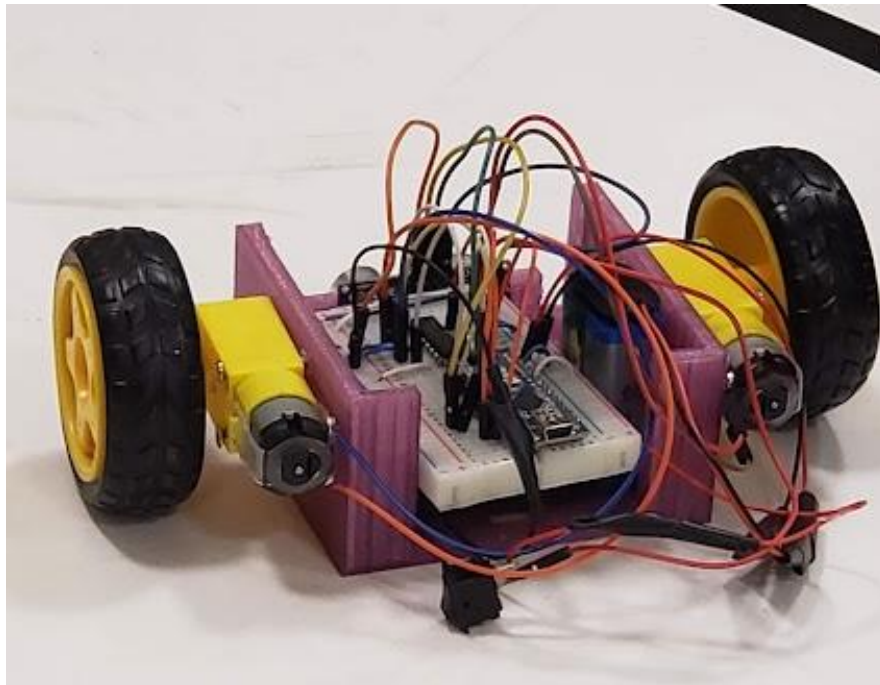


Figura 14. Ejemplo de resultado de proyecto integrador III. Integración de diseño, manufactura y componentes electrónicos y de control para formalizar el proyecto final de forma funcional.

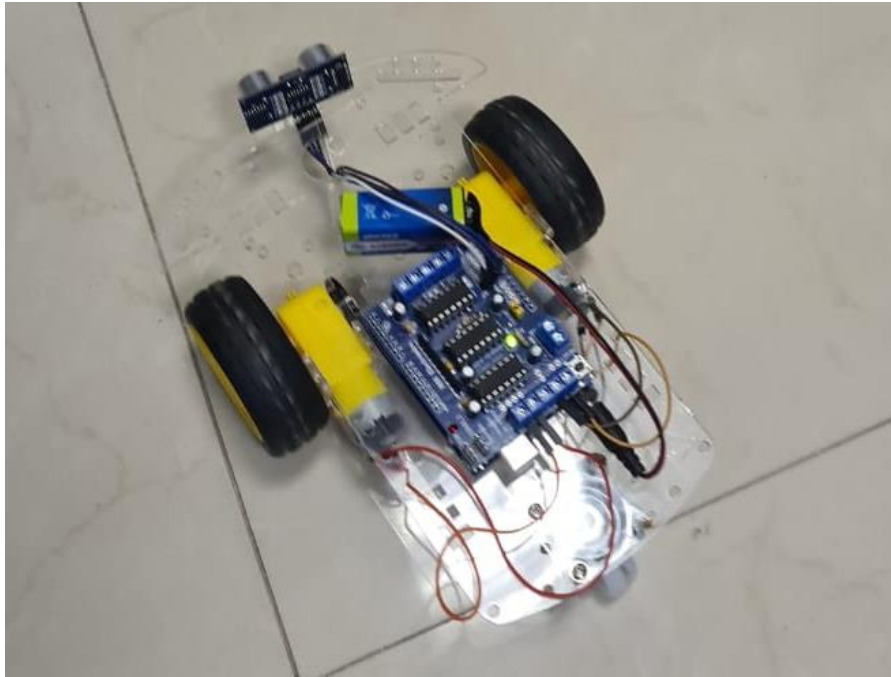


Figura 15. Ejemplo de proyecto terminal. Robot que evade obstáculos.

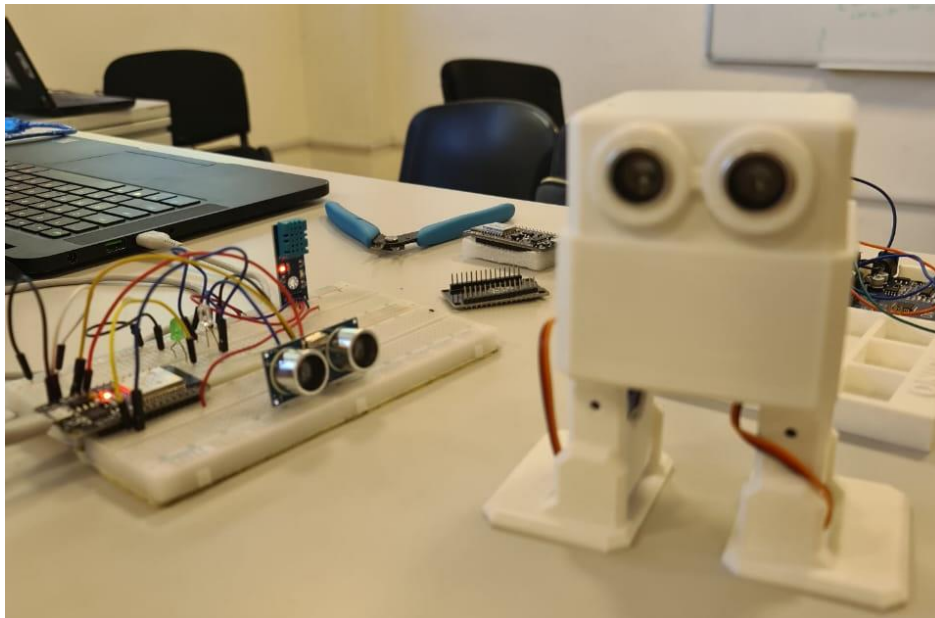


Figura 16. Ejemplo de proyecto terminal. Robot comandado a distancia y activado con música.
Su función es generar movimientos de baile.

Conclusiones

Una de las siete competencias de egreso del ingeniero en mecatrónica de la Universidad Estatal de Sonora destaca el “integrar prototipos y sistemas tecnológicamente adecuados, con base a las normas y estándares internacionales, para proyectos mecatrónicas en el sector industrial, de servicios, público o privado, a través del análisis de problemas, enfoque en resultados e innovación” (UES, 2021), englobado a que los empleadores de los diferentes sectores de la fabricación, esperan que cualquier ingeniero desarrolle de forma efectiva las habilidades y conocimientos en los procesos de robótica y automatización. Sin embargo, muchas habilidades y conocimientos se limitan a los contenidos temáticos de las asignaturas relacionadas con estas áreas de la mecatrónica, por lo que muchos estudiantes se interesan en tomar talleres relacionados al diseño, manufactura, automatización y robótica, como parte de su formación profesional.

La metodología aplicada en el aprendizaje de robótica básica se fundamentó en un taller enfocado al diseño mecatrónico secuencial, con la intención de que el estudiante comprendiera de forma correcta cada una de las etapas que comprenden la unificación de un proyecto final funcional, en donde los actores principales del conocimiento-aprendizaje fueron los estudiantes, desarrollando y aplicando contenidos y productos creativos, innovadores y enfocados en STEAM. La combinación de conocimientos en CAD, MA y Arduino, y el uso de tecnologías de la información y comunicación (TICs), condujeron a excelentes resultados en el proceso de enseñanza-aprendizaje de conceptos básicos de la robótica y el desarrollo de habilidades duras, haciendo énfasis en las siguientes herramientas: Solidworks (para diseño CAD), Ultimaker Cura (impresión 3D) y plataforma Arduino (control electrónico). Por otra parte, los docentes comisionados al curso, notaron una evolución en el desarrollo de habilidades blandas del grupo durante el tiempo de duración del taller, destacando la comunicación, trabajo en equipo, gestión del tiempo, liderazgo, negociación, inteligencia emocional y pensamiento crítico.

La implementación de talleres extracurriculares, podría ser un complemento eficiente a las secuencias didácticas del plan de estudio, mejorando las experiencias de enseñanza y aprendizaje en el aula, y permitiendo que los estudiantes experimenten un proceso integral del conocimiento a través de metodologías concretas como el ABP. Esta nueva pedagogía basada en problemas, fomenta también las pautas para que el docente desarrolle el material de aprendizaje y planifique las lecciones con el objetivo de promover una experiencia de aprendizaje más eficaz y significativa, con el objeto de aumentar el interés de los estudiantes en el desarrollo social, científico y tecnológico a través de las ingenierías.

Como profesores, el trabajar con alumnos en las etapas tempranas de su formación como ingenieros mecatrónicos, resulta ser una tarea gratificante. Encontramos que el solucionar problemas con enfoque a la robótica, involucra un trabajo multidisciplinario, que está ligado a la comprensión de muchos saberes y el uso de herramientas y componentes tecnológicos, mismos que pueden ser proporcionados de forma efectiva desde el núcleo de la Academia, en cooperación con las autoridades educativas para facilitar los recursos tecnológicos a través de los laboratorios, para el apoyo de actividades que permiten reforzar el conocimiento y mejorar el aprendizaje.

Referencias

- Autodesk. (2022). *CAD software: 2D and 3D computer-aided design*. Autodesk. Revisado el 11 agosto 2022, en <https://www.autodesk.com/solutions/cad-software>
- Barosz, P., Gołda, G., y Kampa, A. (2020). Efficiency analysis of manufacturing line with industrial robots and human operators. *Applied Sciences*, 10(8), 2862. <https://doi.org/10.3390/app10082862>
- Brin, P., y Shypilova, M. (2022). Project-oriented game-based learning. *Handbook of Research on Acquiring 21st Century Literacy Skills Through Game-Based Learning*, 927–945. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-7271-9.ch047>
- Cabre, T. P., Cairol, M. T., Calafell, D. F., Ribes, M. T., y Roca, J. P. (2013). Project-based learning example: Controlling an educational robotic arm with Computer Vision. *IEEE Revista Iberoamericana De Tecnologías Del Aprendizaje*, 8(3), 135–142. <https://doi.org/10.1109/rita.2013.2273114>

- Cappelleri, D. J., y Vitoroulis, N. (2013). The Robotic Decathlon: Project-Based Learning Labs and curriculum design for an introductory robotics course. *IEEE Transactions on Education*, 56(1), 73–81. <https://doi.org/10.1109/te.2012.2215329>
- Cocota, J. A., D'Angelo, T., y de Barros Monteiro, P. M. (2015). A project-based learning experience in the teaching of Robotics. *IEEE Revista Iberoamericana De Tecnologías Del Aprendizaje*, 10(4), 302–309. <https://doi.org/10.1109/rita.2015.2486458>
- Costarides, V., Zygomalas, A., Giokas, K., y Koutsouris, D. (2019). Robotics in surgical techniques robotics in surgical techniques. *Rapid Automation*, 1528–1542. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-8060-7.ch072>
- da Veiga, T., Chandler, J. H., Lloyd, P., Pittiglio, G., Wilkinson, N. J., Hoshiar, A. K., Harris, R. A., y Valdastrì, P. (2020). Challenges of Continuum Robots in clinical context: A Review. *Progress in Biomedical Engineering*, 2(3), 032003. <https://doi.org/10.1088/2516-1091/ab9f41>
- Davila, J. M., Oyedele, L., Ajayi, A., Akanbi, L., Akinade, O., Bilal, M., y Owolabi, H. (2019). Robotics and automated systems in construction: Understanding industry-specific challenges for adoption. *Journal of Building Engineering*, 26, 100868. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100868>
- Delgado, D., Clayton, P., O'Brien, W. J., Seepersad, C., Juenger, M., Ferron, R., y Salamone, S. (2018). Applications of additive manufacturing in the construction industry – a forward-looking review. *Automation in Construction*, 89, 110–119. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.12.031>
- Gawrysiak, M. (2002). Stages of mechatronic design according to R. Isermann. In *Proc. Workshop on Mechatronic Design* (1st ed., pp. 7–15). essay, Cracow.
- Gibson, I., Rosen, D., y Stucker, B. (2015). Additive Manufacturing Technologies. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2113-3>
- Gifari, M. W., Naghibi, H., Stramigioli, S., y Abayazid, M. (2019). A review on recent advances in soft surgical robots for endoscopic applications. *The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*, 15(5). <https://doi.org/10.1002/rcs.2010>
- Haidegger, T. (2019). Autonomy for surgical robots: Concepts and paradigms. *IEEE Transactions on Medical Robotics and Bionics*, 1(2), 65–76. <https://doi.org/10.1109/tmrb.2019.2913282>
- Harashima, F., Tomizuka, M., y Fukuda, T. (1996). Mechatronics - "what is it, why, and how?" an editorial. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 1(1), 1–4. <https://doi.org/10.1109/tmech.1996.7827930>

- Helle, L., Tynjälä, P., y Olkinuora, E. (2006). Project-based learning in Post-Secondary Education – theory, practice and rubber sling shots. *Higher Education*, 51(2), 287–314. <https://doi.org/10.1007/s10734-004-6386-5>
- Huang, W., Li, X., y Shang, J. (2022). Gamified Project-Based Learning: A systematic review of the research landscape. *Sustainability*, 15(2), 940. <https://doi.org/10.3390/su15020940>
- IEEE. (2020, May 28). *What is a robot?* ROBOTS. Revisado 6 agosto, 2022, en <https://robots.ieee.org/learn/what-is-a-robot/>
- Isermann, R. (2000). Mechatronic systems: Concepts and applications. *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, 22(1), 29–55. <https://doi.org/10.1177/014233120002200103>
- Khan, Z. H., Siddique, A., y Lee, C. W. (2020). Robotics utilization for healthcare digitization in Global Covid-19 Management. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(11), 3819. <https://doi.org/10.3390/ijerph17113819>
- Kızıkcapan, O., y Bektaş, O. (2017). The effect of Project Based Learning on seventh grade students' academic achievement. *International Journal of Instruction*, 10(01), 37–54. <https://doi.org/10.12973/iji.2017.1013a>
- Kokotsaki, D., Menzies, V., y Wiggins, A. (2016). Project-Based Learning: A review of the literature. *Improving Schools*, 19(3), 267–277. <https://doi.org/10.1177/1365480216659733>
- Moon, S., Becerik-Gerber, B., y Soibelman, L. (2018). Virtual learning for workers in robot deployed construction sites. *Advances in Informatics and Computing in Civil and Construction Engineering*, 889–895. https://doi.org/10.1007/978-3-030-00220-6_107
- Moravec, H. (2022). Robot. Revisado el 15 agosto 2023, en <https://www.britannica.com/technology/robot-technology>
- Moysiadis, V., Tsolakis, N., Katikaridis, D., Sørensen, C. G., Pearson, S., y Bochtis, D. (2020). Mobile Robotics in Agricultural Operations: A Narrative Review on planning aspects. *Applied Sciences*, 10(10), 3453. <https://doi.org/10.3390/app10103453>
- Ortiz, L, y Ovieedo, W. (2019). Robótica educativa utilizando método STEAM con Arduino e impresión 3D. En Rojas, A (Ed.), *IV Encuentro de Investigadores. Construyendo el conocimiento científico en Paraguay* (1a ed.). Sociedad Científica de Paraguay.
- Pérez, L., Rodríguez-Jiménez, S., Rodríguez, N., Usamentiaga, R., y García, D. F. (2020). Digital Twin and virtual reality based methodology for multi-robot manufacturing cell commissioning. *Applied Sciences*, 10(10), 3633. <https://doi.org/10.3390/app10103633>



- Pessoa, S., Guimarães, A. S., Lucas, S. S., y Simões, N. (2021). 3D printing in the construction industry - a systematic review of the thermal performance in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 141, 110794. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110794>
- Pitroda, H. (2021). *Computer Aided Design: Text book and Practice book* (1a ed.). Walnut publication.
- Price, A., Rimington, R., Chew, M. T., y Demidenko, S. (2010). Project-based learning in Robotics and electronics in Undergraduate Engineering Program Setting. *2010 Fifth IEEE International Symposium on Electronic Design, Test & Applications*. <https://doi.org/10.1109/delta.2010.68>
- Qidwai, U. (2011). Fun to learn. *ACM Inroads*, 2(1), 42–45. <https://doi.org/10.1145/1929887.1929904>
- Redfield, S. (2019). A definition for robotics as an academic discipline. *Nature Machine Intelligence*, 1(6), 263–264. <https://doi.org/10.1038/s42256-019-0064-x>
- Rose, D. C., Lyon, J., de Boon, A., Hanheide, M., y Pearson, S. (2021). Responsible development of autonomous robotics in agriculture. *Nature Food*, 2(5), 306–309. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00287-9>
- Santos, L. C., Santos, F. N., Solteiro Pires, E. J., Valente, A., Costa, P., y Magalhaes, S. (2020). Path planning for Ground Robots in agriculture: A short review. *2020 IEEE International Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions (ICARSC)*. <https://doi.org/10.1109/icarsc49921.2020.9096177>
- Shi, Y., y Zhang, K. (2021). Advanced model predictive control framework for Autonomous Intelligent Mechatronic Systems: A tutorial overview and Perspectives. *Annual Reviews in Control*, 52, 170–196. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2021.10.008>
- Stano, G., y Percoco, G. (2021). Additive manufacturing aimed to soft robots fabrication: A Review. *Extreme Mechanics Letters*, 42, 101079. <https://doi.org/10.1016/j.eml.2020.101079>
- Troccaz, J., Dagnino, G., y Yang, G.-Z. (2019). Frontiers of Medical Robotics: From concept to systems to clinical translation. *Annual Review of Biomedical Engineering*, 21(1), 193–218. <https://doi.org/10.1146/annurev-bioeng-060418-052502>
- UES. (2022). *Ingeniero en Mecatronica (IM)*. Universidad Estatal de Sonora. Revisado 2 ago 2022, 2023, en <https://bit.ly/3WY2TCH>
- Urhal, P., Weightman, A., Diver, C., y Bartolo, P. (2019). Robot Assisted Additive Manufacturing: A Review. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 59, 335–345. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.05.005>



- Valls, A. (2022). Computational thinking and Educational Robotics integrated into Project-Based Learning. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1303413/v2>
- Verner, I. (1998). The value of project-based education in Robotics. *RoboCup-97: Robot Soccer World Cup I*, 231–241. https://doi.org/10.1007/3-540-64473-3_63
- Walter, W., y Spath, W. (2015.). Experience teaching a multidisciplinary project-based Robotics Course Building Autonomous Mobile Robots. *2011 ASEE Annual Conference & Exposition Proceedings*. <https://doi.org/10.18260/1-2--17955>
- Xia, N., Zhu, G., Wang, X., Dong, Y., y Zhang, L. (2022). Multicomponent and Multifunctional Integrated Miniature Soft Robots. *Soft Matter*, 18(39), 7464–7485. <https://doi.org/10.1039/d2sm00891b>
- Xiong, W. Q., Pan, C. R., Qiao, Y., Wu, N. Q., Chen, M. X., y Hsieh, P. H. (2021). Reducing wafer delay time by robot idle time regulation for single-arm cluster tools. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 18(4), 1653–1667. <https://doi.org/10.1109/tase.2020.3014078>
- Zhu, Q. H., Zhou, M. C., Qiao, Y., Wu, N. Q., y Hou, Y. (2020). Multiobjective scheduling of dual-blade robotic cells in wafer fabrication. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 50(12), 5015–5023. <https://doi.org/10.1109/tsmc.2019.2944866>

CÓMO CITAR

MONTIJO-VALENZUELA, E. E., Espinoza Zepeda, J. G. ., Sámano Hermosillo, E. ., Alcaráz Domínguez, C. A. ., & García Corral, G. . (2022). INTEGRACIÓN DE DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA, ARDUINO Y MANUFACTURA ADITIVA EN EL PROCESO DE APRENDIZAJE DE ROBÓTICA BÁSICA EN ALUMNOS DE INGENIERÍA MECATRÓNICA . *Revista De Investigación Académica Sin Frontera: División De Ciencias Económicas Y Sociales*, (38). <https://doi.org/10.46589/rdiasf.vi38.526>



Neliti - Indonesia's Research Repository

