

MODELO STEM PARA LA ENSEÑANZA DE ROBÓTICA

STEM MODEL FOR ROBOTICS TEACHING

Roberto Carlos Martínez Montejano

Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México
roberto.montejano@uaslp.mx

José Jimmy Jaime Rodríguez

Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México
jose.jaime@uaslp.mx

Germánico González Badillo

Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México
germanico.gonzalez@uaslp.mx

Guillermina Guerrero Mora

Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México
guillermina.guerrero@uaslp.mx

Víctor Esteban Espinoza López

Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México
victor.espinoza@uaslp.mx

Recepción: 30/octubre/2021

Aceptación: 24/febrero/2022

Resumen

La educación “STEM” (acrónimo de Science, Technology, Engineering and Mathematics) es la integración de las ciencias con un enfoque de enseñanza basado en la interdisciplinariedad de la tecnología, ingeniería y matemáticas. En los últimos años esta educación ha tenido creciente interés en el proceso de asimilación de conocimientos para eliminar barreras tradicionales, y así enfocarse en la innovación de procesos aplicados de diseño de soluciones. La instrucción en el área de robótica implica el desarrollo de proyectos de interés del alumnado que integran conocimientos teóricos que pueden resultar complicados de entender.

En este trabajo se desarrolla un brazo robótico controlado mediante una interfaz gráfica en LabVIEW como apoyo en la enseñanza basado en el modelo STEM y que también puede ser usado para la difusión de la ciencia, logrando que el alumno comprenda conceptos como la cinemática (por mencionar alguno) y tenga las bases para desarrollar un proyecto mecatrónico integral.

Palabras Clave: Enseñanza, interfaz gráfica, modelo STEM, robótica.

Abstract

STEM education (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) refers to integrating science focused on interdisciplinary teaching-based technology, engineering, and mathematics. In recent years, the interest in the knowledge assimilation process for removing traditional barriers and focusing on applied process innovation of design solutions integrating tools and technology has been increasing. The process of instruction in the robotics discipline carries project development for having the student's interest and at the same time the theoretical knowledge that sometimes can be difficult to understand.

This work proposes a robotic arm prototype development controlled by a graphical interface in LabVIEW based on a STEM model for supporting the teaching process and science diffusion, achieving the student understanding of concepts such as kinematics (for mention any), and develop the bases for making an integral mechatronics project.

Keywords: *Graphical interface, robotic, STEAM model, teaching.*

1. Introducción

La educación STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas), típicamente incluye actividades educacionales en todos los grados, desde jardín de niños, hasta postdoctorado.

Mientras que el proceso científico envuelve la formulación de una pregunta que puede ser respondida mediante investigación, el diseño de ingeniería involucra la formulación de un problema que puede ser resuelto mediante la construcción y evaluación de la implementación del diseño. La educación basada en el modelo STEM conjunta esos dos conceptos a través de las cuatro disciplinas [Kennedy, 2014].

Este enfoque en la educación STEM fue una iniciativa creada por la Fundación Nacional de Ciencia de los Estados Unidos, con el objetivo de que los estudiantes desarrollen un pensamiento crítico, que los vuelva creativos ante la resolución de

problemas y por lo tanto más rentables en el aspecto laboral; siendo esto el resultado de varios eventos históricos [White, 2014].

A pesar de los beneficios potenciales que otorga una educación basada en el modelo STEM, su implementación puede enfrentar varios retos. El primero sería llevar a la práctica este modelo en un sistema educacional rígido y ya establecido, ya que requeriría una profunda reestructuración de contenidos [Nadelson, 2017]. Además, requieren materiales y recursos disponibles para los estudiantes como herramientas de construcción (dispositivos de medición, desarmadores, martillos), materiales electrónicos (computadoras, programas de diseño, calculadoras, kits de robótica), y otros materiales usados en el diseño (madera, plástico, pegamento, acrílico) [Stohlmann, 2012]. Entonces, el poder crear un ambiente enfocado al modelo STEM como un proceso de enseñanza-aprendizaje puede resultar costoso y demandante en el tiempo [Nadelson, 2017].

Para poder llevar a cabo un modelo STEM los maestros deben de poseer conocimientos profundos en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas [Eckman, 2016].

Algunos maestros han mostrado ciertas deficiencias en el entendimiento de alguna de estas disciplinas y las interacciones entre ellas, por lo que no se sienten lo suficientemente preparados [El-Deghaidy, 2015]. Además, las creencias propias y la manera de enseñar, aunado a la falta de motivación para cambiar sus prácticas, conllevan otro reto en el desarrollo de un modelo STEM.

La calidad en la educación en países como Estados Unidos, implica desarrollar un enfoque STEM dentro de sus planes de estudio, de tal manera que los estudiantes desarrollen competencias [Ding, 2019], con las principales características de interdisciplinar, interesante, experimental, situacional, colaborativa, artística, empírica y mejora tecnológica. Esas características a su vez se ven reflejadas en los procesos de enseñanza-aprendizaje de la robótica [Shengquan, 2015].

Al momento en que los alumnos se enfrentan a problemas de diseño ingenieril, no solamente aprenden acerca del proceso de diseño en ingeniería y prácticas de ingeniería, si no que profundizan en su entendimiento de las ideas principales y bases de la disciplina [Shahali, 2016]. Las actividades de proceso de diseño

ingenieril pueden fortalecer el conocimiento de los alumnos en ciencia, tecnología y matemáticas, porque llenan los espacios vacíos entre el conocimiento objetivo, conocimiento abstracto y la aplicación [Thibaut, 2018].

La robótica es una composición de distintas disciplinas y ramas como lo son la ingeniería mecánica, la ingeniería eléctrica, la ingeniería electrónica, la ingeniería biomédica, y ciencias de la computación, que se ocupa del diseño, construcción, manufactura, operación, estructura, y programación de los robots. Por lo que es importante que todos estos temas no queden relegados durante el proceso cognitivo y el diseño de un buen proyecto práctico basado en el aprendizaje teórico adquirido en el aula [Jingfu, 2002].

Los robots educativos se han convertido en una herramienta muy popular en todos los niveles, los más comunes son los basados en microprocesadores y los “kits” de prototipado rápido. Estos robots tienen como objetivo el potenciar a través del diseño, programación y ejecución, el aprendizaje STEM; pero, además, buscan entrenar un pensamiento basado en la solución de problemas, pensamiento creativo, trabajo en equipo y enganchar a los alumnos en la ciencia y la tecnología [Boya, 2020].

En este documento se describe y presenta una propuesta para el proceso de enseñanza-aprendizaje, que consiste en un proyecto de brazo robótico basado en el modelo STEM. Mediante el desarrollo de este proyecto se busca facilitar en los estudiantes la asimilación de distintos conocimientos y habilidades, como son: grados de libertad de un robot, el algoritmo Denavit-Hartenberg, la cinemática directa, la simulación, el diseño, la selección de componentes, la manufactura y la programación, así como el desarrollo de habilidades y competencias prácticas de forma paralela. El prototipo desarrollado, además de ayudar en el proceso de aprendizaje de los estudiantes ha sido utilizado en divulgación de la ciencia en diversos niveles educativos a través de la Semana Estatal de Ciencia y Tecnología (antes Semana Nacional de Ciencia y Tecnología), que es un foro por medio del cual millones de niños y jóvenes mexicanos conocen las múltiples posibilidades que ofrecen las áreas de la ciencia en los campos de la actividad productiva, la investigación científica y la docencia.

2. Métodos

El propósito del proyecto de diseño y construcción del brazo robótico propuesto en este trabajo consiste en englobar los conocimientos principales del espacio de formación de Robótica del octavo semestre del programa educativo de Ingeniería Mecatrónica de la Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Media (UAMZM) de la UASLP. El brazo robótico propuesto debe de contar con cuatro grados de libertad y deberá ser controlado a través de una interfaz gráfica desarrollada en LabVIEW. La metodología por seguir se muestra en la figura 1.



Figura 1 Metodología implementada en el proyecto.

Siguiendo la metodología mostrada en la figura 1, en primer lugar, el alumno tomará los conceptos teóricos aprendidos en el aula, como: los grados de libertad de un robot, el algoritmo Denavit-Hartenberg, y la cinemática directa, entre otros, para establecer el diseño y desarrollar los cálculos necesarios para el correcto movimiento y funcionamiento del brazo robótico. Los cálculos son validados mediante el “Robotics toolbox” de Peter Corke en MATLAB, para obtener la cadena cinemática. Después se realiza el diseño CAD del brazo robótico con los materiales a usar en la etapa de construcción. Una vez diseñado el robot, se construye y finalmente se realiza la programación necesaria para controlarlo a través de una interfaz gráfica desarrollada en LabVIEW.

Como referencia para el alumno, se propone un brazo robótico como el que se presenta en la figura 2. Siguiendo la metodología descrita en la figura 1, a partir de este punto, comienza el proceso de diseño ingenieril por parte del alumno y la aplicación de los conocimientos teóricos aprendidos en clase. Los alumnos trabajarán en equipos de 4 integrantes para poder alcanzar el objetivo final, que consiste en tener un prototipo de brazo robótico funcional.



Figura 2 Brazo robótico de cuatro grados de libertad [Mohammed, 2015].

Se propone una cadena cinemática abierta de cuatro grados de libertad que se muestra en la figura 3. Mediante la fórmula de Grubler-Kutzbach de la ecuación 1 pueden comprobarse los grados de libertad.

$$n = s(r - p - 1) + \sum_i^p n_i \quad (1)$$

Donde n son los grados de libertad, s tiene un valor de 3 para un robot planar y 6 para un robot espacial (en este caso se debe usar el 6), r es el número de eslabones del sistema, p es el número de juntas del robot y n_i es el número de pares cinemáticos de clase 1, el cual tiene un valor de 1. Sustituyendo estos valores puede validarse que el sistema cuenta con los 4 grados de libertad especificados.

Para el análisis de la cadena cinemática del brazo robótico descrita en la figura 3, se colocan sobre esta los ejes de coordenadas en cada junta en sistema dextrógiro tomando en consideración que todas las articulaciones son de revoluta, entonces el eje z va sobre el eje de rotación de la articulación en cuestión. Posteriormente, se obtienen los parámetros Denavit-Hartenberg que se describen en tabla 1, [Corke, 2007]. Sustituyendo los parámetros de la tabla 1 en la matriz de transformación homogénea descrita en la ecuación 2, por cada articulación se obtendrá una matriz de transformación homogénea que está compuesta por rotación, traslación, perspectiva y escala.

$${}^{i-1}A_i = \begin{bmatrix} C\theta_i & -C\alpha_i S\theta_i & S\alpha_i S\theta_i & a_i C\theta_i \\ S\theta_i & C\alpha_i C\theta_i & -S\alpha_i C\theta_i & a_i S\theta_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

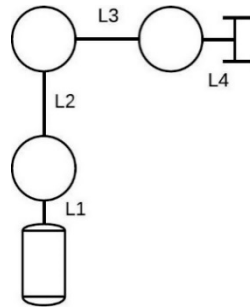


Figura 3 Cadena cinemática del brazo robótico de 4 grados de libertad.

Tabla 1 Parámetros Denavit-Hartenberg.

Articulación	θ_i	d_i	a_i	α_i
1	-90	L1	0	-90
2	180	0	L2	90
3	0	0	L3	-90
4	0	L4	0	0

En donde C representa la función coseno, y S representa la función seno. Una vez que se sustituyen los parámetros y se obtienen las cuatro matrices de transformación homogénea, se realiza la multiplicación en orden entre ellas para obtener la matriz general de transformación homogénea que se describe en la ecuación 3.

$${}^0T_3 = \begin{bmatrix} n_1 & o_1 & a_1 & p_1 \\ n_2 & o_2 & a_1 & p_2 \\ n_3 & o_3 & a_2 & p_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

De la ecuación 3, por cuestiones de espacio no se coloca el desarrollo de toda la multiplicación, pero los vectores columna n , o y a representan la rotación, el vector p representa la traslación, el número 1 es la escala y los ceros son la perspectiva. Con esta matriz general de transformación homogénea se puede obtener la cinemática directa, la cual nos da la posición del efector final a partir del conocimiento de cada junta.

A continuación, se desarrolla una interfaz gráfica en el software de LabVIEW para controlar los movimientos de las articulaciones del brazo robótico. Cada motor de cada articulación se podrá mover de manera independiente con una cierta velocidad

establecida por el usuario. Se podrán mover los motores directamente en la interfaz o mediante un control exterior. Todo esto siguiendo el diagrama de flujo que se aprecia en la figura 4.

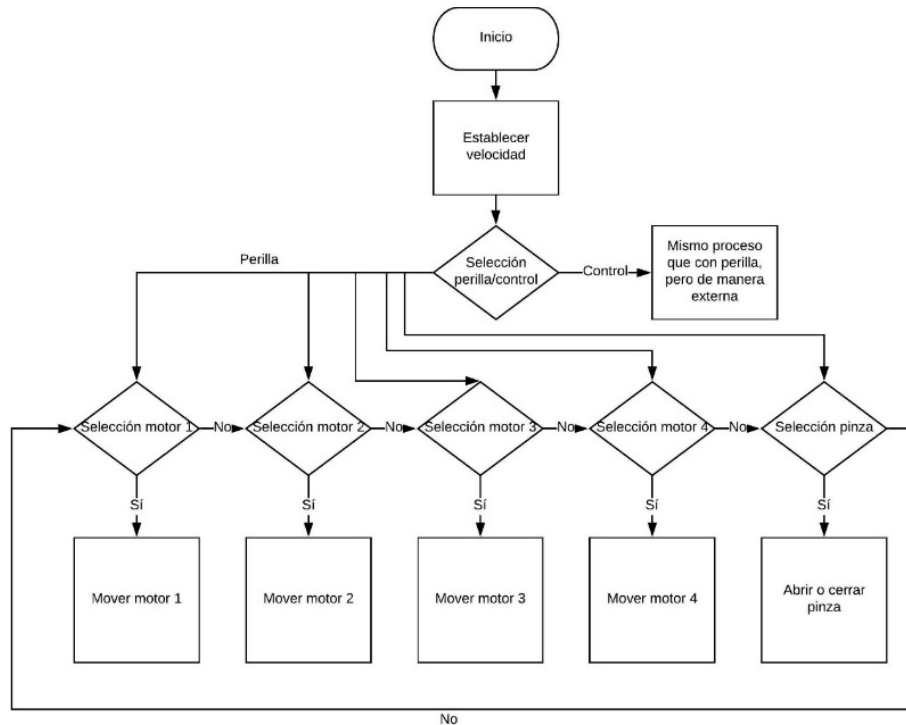


Figura 4 Diagrama de flujo del programa en LabVIEW.

3. Resultados

Con el objetivo de verificar la cinemática directa para el brazo robótico, se realiza la simulación de los parámetros Denavit-Hartenberg descritos en la tabla 1 utilizando la librería de MATLAB “Robotics Toolbox”, de Peter Corke. De este modo se obtiene la cadena cinemática abierta de la figura 5. Para esto se consideran las distancias que el brazo tendrá en el prototipo experimental, esto es $L1 = 5\text{ cm}$, $L2 = 11.5\text{ cm}$, $L3 = 8\text{ cm}$ y $L4 = 5\text{ cm}$. Estas distancias son propuestas por el alumno, atendiendo los requisitos del profesor, que básicamente consiste en tener un brazo robótico económico y de fácil traslado.

De la figura 5 es posible observar que los resultados son coherentes con la cadena cinemática sobre la cual se obtuvieron los parámetros, ya que muestra que tiene los mismos grados de libertad y configuración que la que se aprecia en la figura 3.

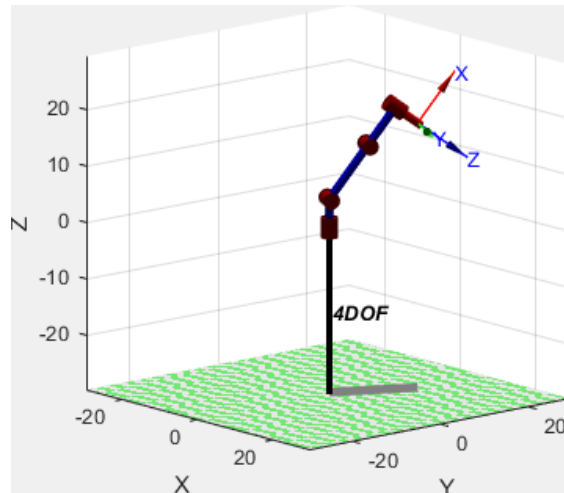


Figura 5 Simulación de parámetros en librería de Peter Corke.

A continuación, utilizando el software de diseño Autodesk Fusion 360 se realiza el diseño del brazo para previsualizar su aspecto, como se aprecia en la figura 6. Para esto, primero se deben determinar los materiales que se usarán para la construcción del prototipo, en este caso los materiales seleccionados son acrílico para los eslabones del robot, servomotores MG995 para la base, hombro, codo y muñeca; y un servomotor SG90 para abrir y cerrar el efector final.

El diseño desarrollado sirve como guía para la etapa de implementación, ver la relación de aspecto del brazo robótico, establecer medidas, y ver dónde se colocarán los materiales, así como las restricciones físicas.

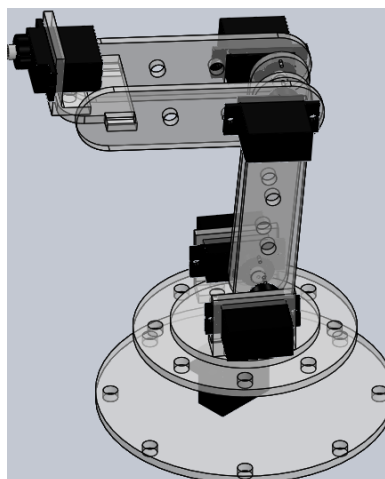


Figura 6 Diseño CAD del brazo robótico.

La figura 7 muestra el prototipo final ensamblado. Es importante mencionar que para obtener los voltajes y corrientes que alimentan el brazo robótico se utilizó una fuente de alimentación de una computadora, el motor de la base contiene un balero para facilitar el movimiento y se ensambló mediante una estructura creada por medio de impresión 3D utilizando PLA. Para la interconexión entre los motores con la computadora se usó una placa de desarrollo Arduino UNO, como tarjeta de adquisición de señales.



Figura 7 Prototipo ensamblado.

La interfaz gráfica se desarrolló en LabVIEW, figura 8, siguiendo el diagrama de flujo descrito en la figura 4. Para el control de cada uno de los motores se utilizaron botones booleanos de manera concéntrica con una perilla. La velocidad puede variar desde el 10% hasta el 100%. Hay un interruptor con el que se puede utilizar las perillas de LabVIEW, el cual puede ser un control comercial que se conecta por el puerto serial a la computadora o unos botones conectados a la placa de Arduino. También se debe de seleccionar el puerto por el que se conecta la placa de Arduino, además de guardar movimientos para posteriormente poder correr la secuencia de puntos guardados.

Al final del curso, el prototipo es presentado por los alumnos y evaluado por los profesores investigadores de la UAMZM de la UASLP del área de mecatrónica, basándose en la rúbrica descrita en la tabla 2, en donde se ponderan los conocimientos adquiridos por el alumno. Entre los puntos que se evalúan están los

antecedentes, clasificación de robots de acuerdo con su movimiento, grados de libertad, parámetros D-H, cinemática directa), claridad de su presentación, diseño del brazo robótico, funcionalidad (movimiento de todas las juntas, programación correcta, movimientos de acuerdo con lo calculado), y grado de avance.

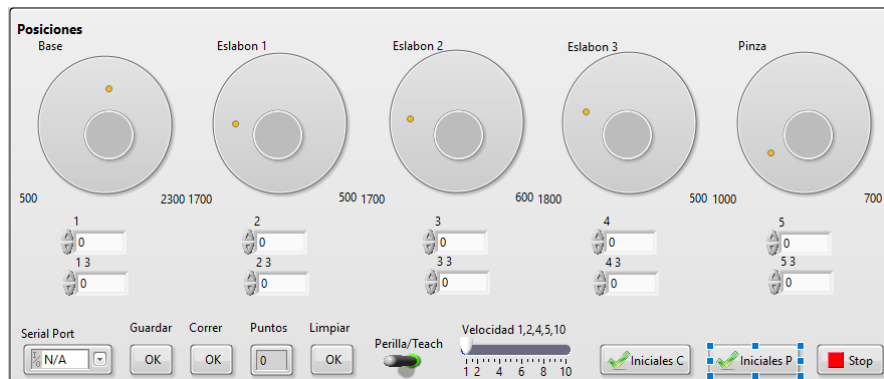


Figura 8 Interfaz gráfica desarrollada en LabVIEW.

El proyecto se aplica de manera anual y se ha venido evaluando desde el 2017, teniendo resultados generales promedio de 8.14, que de acuerdo con los rangos descritos en la tabla 2, corresponderían a buenos resultados. Además, el proyecto va de acuerdo con el objetivo general de la materia en el plan de estudios de Ingeniería Mecatrónica de la UAMZM el cual es: “Presentar los fundamentos básicos de la teoría de control para robots manipuladores. Preparar al estudiante con sentido teórico-práctico para el análisis, diseño y desarrollos de algoritmos de control, validación experimental y armado de prototipos”.

Se puede evidenciar la operacionalización del enfoque interdisciplinario STEM, debido a que el proyecto se abordó de manera integral, actuando en concordancia con [Santillán, 2019]. El cual se refiere al aprendizaje basado en problemas, alcanzando el propósito de desarrollar un prototipo funcional de brazo robótico, integrando la ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas, teniendo un aprendizaje estructurado que abarca distintas disciplinas en el que se da importancia a los conocimientos transferidos entre las materias. Es una experiencia de impacto para los alumnos al promover el aprendizaje significativo y crítico en la búsqueda de soluciones creativas e integrales para un brazo robótico.

Tabla 2 Rúbrica de evaluación.

Criterio	Puntos
Claridad	
Fácil entendimiento y describe correctamente el funcionamiento	1.5
No se describe el funcionamiento	1
No se entiende el propósito del prototipo	0.5
Participación	
Se aprecia un reparto equitativo de actividades en el equipo	2
Casi todos los miembros del equipo participaron	1
Solamente unos cuantos miembros del equipo desarrollaron todo	0.5
Funcionamiento	
El prototipo funciona de manera adecuada	1.5
El prototipo funciona, pero requiere participación de algún integrante para sopesar fallas	1
El prototipo no es funcional, sin embargo, se encuentra ensamblado	0.5
El prototipo no es funcional o no lo presentaron	0
Estética	
Prototipo correctamente diseñado, apariencia agradable	1.5
Prototipo ensamblado, pero de apariencia rudimentaria	1
El prototipo carece de estética o no se encuentra ensamblado	0
Aplicación de teoría	
En el diseño e implementación se hizo uso de cálculos o teorías ingenieriles	1.5
Hace cálculos básicos o rudimentarios	1
Carece de aplicación de teoría	0
Programa	
El prototipo mueve todas las juntas en LabVIEW e incluye control de velocidad	2
El prototipo mueve la mayoría de sus juntas	1
El prototipo no se mueve	0.5
Total	

Además, el prototipo construido ha sido utilizado en eventos tanto de difusión del programa educativo de Ingeniería Mecatrónica de la Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Media UASLP en la región y en eventos como la Semana Estatal de Ciencia y Tecnología, en donde se busca que el alumnado de edades tempranas se vaya interesando en procesos científicos y tecnológicos. Un ejemplo de esto se muestra en la figura 9.



Figura 9 Prototipo de brazo robótico en eventos de divulgación de la ciencia.

4. Discusión

El objetivo del proyecto del brazo robótico es que el alumno refuerce los conocimientos adquiridos durante la materia de robótica, el cual involucra el grueso de los temas del curso como son clasificación de robots, grados de libertad, aplicación del algoritmo Denavit-Hartenberg, matrices de transformación homogénea, cinemática directa, entre otros. Este es un proyecto que además involucra conocimientos de otras materias como la programación tanto básica en lenguaje C en Arduino, como de más alto nivel en una interfaz gráfica en LabVIEW, así como diseño CAD, conocimientos de mecánica, máquinas eléctricas, electrónica analógica, electrónica digital, electrónica de potencia, etc.

El desarrollo del prototipo es un modelo STEM de enseñanza que ya involucra una fuerte conexión entre la ciencia (investigación de materiales, desarrollos hechos para brazos robóticos, etc.), las matemáticas (mediante resolución de ecuaciones, álgebra lineal), la ingeniería (en el diseño y perfeccionamiento de nuevos procedimientos en la industria) y la tecnología (creación de un prototipo funcional), lo cual resulta en una excelente herramienta para la educación. Se logra un proceso interesante para el alumno, ya que además de incorporar el aprendizaje práctico y fomentar el trabajo en equipo, se motiva al estudiante a querer saber más, llegar a sus propias conclusiones, diseñar sus propias investigaciones para aplicar lo que descubrieron y a desarrollar pensamiento crítico y creativo.

El principal aporte de este prototipo es el diseño ingenieril para una problemática que es la construcción de un brazo robótico. Los materiales de construcción que puede ser de acrílico o la totalidad de los eslabones hechos en impresora 3D, las medidas, la selección de motores, el microcontrolador y el desarrollo de la interfaz gráfica son elegidos por cada equipo de estudiantes con los únicos requisitos de que sea de un costo reducido y de dimensiones pequeñas. La directriz al inicio del curso es que involucren los conocimientos señalados por el instructor de la materia y que sea de más de tres grados de libertad, ya que en caso contrario cae dentro de otra clasificación y se denominaría manipulador robótico en lugar de brazo robótico. Cabe resaltar, que el aporte del profesor en el desarrollo del prototipo es como guía, y los resultados presentados en este artículo son una base de lo que los

alumnos puedan ser capaces de desarrollar, ya que se les otorga libertad en el diseño del brazo, selección de componentes, manera de armarlo, programación, etc. Lo que se prioriza es que se asimilen los conocimientos y los lleven de forma correcta a la práctica, es decir que los alumnos demuestren todo esto al momento de presentar su prototipo, evidenciado, además, la participación y contribución de cada integrante del equipo.

5. Conclusiones

En este trabajo se propuso el desarrollo de un prototipo de brazo robótico basado en el modelo STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas), con el propósito de incrementar el interés del alumno y motivarlo en conocimientos técnicos de la robótica que en algunas ocasiones pueden resultar complicados de entender.

Al ser un desarrollo mecatrónico integral involucra una gran cantidad de conocimientos previamente adquiridos por el estudiante, la robótica es una materia del área de ingeniería aplicada y dentro del programa educativo de la UAMZM de la UASLP se ubica en el octavo semestre.

Las imágenes mostradas no son exclusivamente de un solo prototipo de brazo robótico, ya que es un proyecto que se ha trabajado como proyecto final de la materia de robótica desde el año 2017 en la UAMZM. Durante el año 2020 debido a la pandemia por COVID-19 se vio interrumpido el desarrollo físico de este proyecto, sin embargo, se ha podido dar continuidad realizando el modelo CAD en el software de diseño Solidworks que puede ser compatible con las librerías adecuadas con LabVIEW. Por lo que el alumno puede trabajar, aunque sea de manera virtual en el desarrollo completo del brazo robótico. Actualmente, se busca darle continuidad, en dos materias de robótica. De manera que en robótica I se trabaje la parte de simulación y en robótica II se lleve a cabo de manera física, involucrando los conocimientos de ambos espacios de formación.

Otra de las ventajas del brazo robótico, es que no solamente queda como un instrumento de evaluación para el alumno, si no que ha sido utilizado en promoción del Programa Educativo de Ingeniería Mecatrónica en la región, captando la atención de futuros ingenieros y favorecer el incremento en la matrícula de la

carrera, que se ha visto reflejado en las generaciones 2019 y 2020. Además, ha ayudado en el proceso de divulgación de la ciencia en la Semana Nacional de Ciencia y Tecnología (actualmente Semana Estatal de Ciencia y Tecnología), con la intención de que alumnos de grados inferiores (desde jardín de niños hasta nivel preparatoria) se vayan involucrando en la ciencia y tengan motivación para estudiar algo relacionado con el modelo STEM.

Como trabajo a futuro se propone darle continuidad e involucrar los conocimientos del espacio de formación de robótica 2, como dinámica del robot (cálculo de las fuerzas y aceleraciones involucradas en el robot, con el método de Euler-Lagrange), control (utilizar una técnica de control clásico), diseño de trayectorias (que el robot sea capaz de seguir y reproducir una trayectoria establecida por el usuario), arquitectura de robot (involucra el software y hardware más adecuado para optimizar recursos) y visión por computadora (conectado alguna cámara de video o el sensor Kinect de Microsoft para que el robot pueda identificar objetos y realice tarea de tomar y soltar), resultando un desarrollo mecatrónico más completo que contribuya a incrementar los conocimientos de los alumnos y la infraestructura existente dentro la unidad para que otros alumnos puedan trabajar con estos prototipos.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Boya Lara, C., & Vega, M., Una propuesta para potenciar el aprendizaje STEM basado en Robótica BEAM. Publicaciones. Facultad de Educación y Humanidades del Campus de Melilla, 125-14, 2020.
- [2] Corke, P., A simple and systematic approach to assigning Denavit-Hartenberg parameters. *IEEE Transactions on Robotics*, 590-594, 2007.
- [3] Ding, F., Cai, M., & Chen, S., Application of STEAM theory in robot teaching. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*, 109-113, 2019.
- [4] Eckman, E., Williams, M., & Silver-Thorn, M., An integrated model for STEM teacher preparation: The value of a teaching cooperative educational experience. *Journal of STEM Teacher Education*, 71-82, 2016.

- [5] El-Deghaidy, H., & Mansour, N., Science teachers perceptions of STEM education: Possibilities and challenges. *International Journal of Learning and Teaching*, 51-54, 2015.
- [6] Jingfu, L., & Zhixiang, Z., Study on project-based learning (PBL) model. *Foreign Education Research*, 18-22, 2002.
- [7] Kennedy, T., & Odell, M., Engaging students in STEM education. *Science Education International*, 246-258, 2014.
- [8] Mohammed, A., & Sunar, M., Kinematics modeling of a 4-DOF robotic arms. *International Conference on Control, Automation and Robotics*, 87-92, 2015.
- [9] Nadelson, L., & Saifert, A., Integrated STEM defined: Context, challenges, and the future. *The Journal of Educational Research*, 221-223, 2017.
- [10] Santillán, J., Cadena, V., & Cadena, M., Educación Steam: Entrada a la sociedad del conocimiento. *Ciencia Digital*, 212-227, 2019.
- [11] Shahali, E., Halim, L., Rasul, M., Osman, K., & Zulkifeli, M., STEM learning through engineering design: Impact on middle secondary students' interest towards STEM. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 1189-1211, 2017.
- [12] Shengquan, Y., & Xiang, H., Stem education concept and interdisciplinary integration model. *Open Education Research*, 109-113, 2015.
- [13] Stohlman, M., Moore, T., & Roehrig, G., Considerations for teaching integrated STEM education. *Journal of Pre-College Engineering Education Research*, 28-34, 2012.
- [14] Thibaut, L., Ceuppens, S., De Loof, H., De Meester, J., Goovaerts, L., Struyf, A., Boueve-de-Paw, J., Dehaene, W., Deprez, J., De Cock, M., Hellinckx, L., Knipprath, H., Langie, G., Struyven, K., Van de Velde, D., Van Petegem, P., & Depaepe, P., Integrated STEM education: a systematic review of instructional practices in secondary education. *European Journal of STEAM Education*, 1-12, 2018.
- [15] White, D., What is STEM education and why it is important? *Florida Association of Teacher Educators Journal*, 1-9, 2014.