

Herramienta didáctica para el aprendizaje de la programación de sistemas robóticos Didactic learning tool for the programming robotic systems

M. A. García-González , G. R. Peñaloza-Mendoza , L. M. Carreón-Silva , A. Campos-Hernández 

Departamento de Ingeniería Biomédica, Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro, 61615, Pátzcuaro, Michoacán, México

Resumen

A nivel educativo, frecuentemente los estudiantes en el aula muestran falta de interés por aprender, esto puede deberse a factores ajenos o propios al aula (Hernández, 2016 y Romero, et al, 2014), de estos últimos, la complejidad y la estrategia didáctica son de principal relevancia, este trabajo se enfoca en el aprendizaje de los entornos de programación de sistemas robóticos mediante una herramienta didáctica para aprender mediante la práctica. Para esto, se diseña una herramienta didáctica que contiene la implementación de un brazo robótico tomado de la literatura y modificado, el diseño e implementación del control de sus articulaciones, el diseño de una aplicación móvil que permitirá al estudiante la manipulación de parámetros de entrada al robot, que dictan el movimiento de cada articulación simulando la programación guiada, además se agregaron funciones que realizan una operación específica para simular la programación textual, Por último, la aplicación cuenta con información para apoyar el proceso de comprensión de los temas de sistemas robóticos.

Palabras Clave: Robot Manipulador, Enseñanza, Herramienta Didáctica.

Abstract

At an educational level, students in the classroom often show a lack of interest in learning, this may be due to factors outside or specific to the classroom (Hernández, 2016 y Romero, et al, 2014), of the latter, the complexity and the didactic strategy are of main relevance, this work focuses on the learning of robotic systems programming environments through a didactic tool to learn by doing. For this, a didactic tool is designed that contains the implementation of a robotic arm taken from the literature, the design and implementation of the control of its joints, the design of a mobile application that will allow the student to manipulate input parameters to the robot, that dictate the movement of each joint simulating guided programming, in addition functions that perform a specific operation to simulate textual programming were added. Finally, the application has information to support the process of understanding robotic systems topics.

Keywords: Robot Manipulator, Teaching, Didactic Tool.

1. Introducción

A lo largo de la historia, la humanidad ha buscado realizar tareas de manera automática, por lo que, desarrollaron tecnologías tales como mecanismos que les facilitaron actividades rutinarias llamados autómatas, los cuales fueron evolucionando hasta lo que conocemos hoy en día como robot. Un robot puede ser definido como el conjunto de elementos, eléctricos, electrónicos, hidráulicos, mecánicos y/o neumáticos con el fin de realizar una tarea específica. Actualmente existen muchos tipos de robots como los son, robots industriales, robots de servicio, robots médicos, robots móviles o robots híbridos (robot móvil y manipulador). Al día de hoy la robótica

ha evolucionado hasta el punto en el que se han logrado cosas nunca antes imaginadas, como lo es el uso de robots en cirugías poco invasivas, pero es importante conocer todos los procesos lógicos que se llevan a cabo para el desarrollo de dichas tecnologías y el futuro que presentan.

Según lo marca Sánchez (2002), la divulgación científica se define como “la labor multidisciplinaria, cuyo objetivo es comunicar el conocimiento científico, utilizando diversos medios, a diversos públicos voluntarios recreando ese conocimiento con fidelidad y contextualización para hacerlo accesible”, por lo tanto, un producto de divulgación científica puede generar un conocimiento perdurable, por lo tanto, este

*Autor para la correspondencia: grey@itspa.edu.mx

Correo electrónico: miguelaym12@gmail.com (Miguel Ángel García-González), grey@itspa.edu.mx (Guillermo Rey Peñaloza-Mendoza), lcarreon@itspa.edu.mx (Luis Miguel Carreón-Silva), acampos@itspa.edu.mx (Alicia Campos-Hernández)

tipo de productos pueden ser implementados para utilizarlos como estrategia de aprendizaje.

El desarrollar una herramienta didáctica interactiva para apoyo en la comprensión de las formas de programación de sistemas robóticos, es un medio adicional para fortalecer el entendimiento de dicho tema, tal como se describe en múltiples trabajos, en Bravo y Forero (2012) se habla de involucrar la robótica en el salón de clase por medio de actividades prácticas y recursos de aprendizaje, en Willging, et al (2017) se hace mención de una estrategia para el aprendizaje de la programación mediante la robótica, por último en Pinto, et al (2010) se describe la implementación de un robot móvil del kit de robótica Lego Mindtorms™ NXT, como apoyo a los procesos de enseñanza y aprendizaje en nivel escolar básico.

2. Marco Referencial

El proceso de programación de un robot consiste en introducir en su sistema de control las instrucciones necesarias para que desempeñe las tareas para las que ha sido diseñado, sin embargo, existen varios procedimientos de programación de robots, los cuales en el proceso de enseñanza-aprendizaje deben ser abordados.

A continuación, se referencian los tipos de programación empleadas en los sistemas robóticos, posteriormente algunos casos de aplicación industrial y, por último, otros casos de herramientas didácticas que permiten el aprendizaje de la robótica.

2.1. Programación usada en sistemas robóticos

2.1.1. Programación guiada o directa

El operario interviene guiando manualmente el brazo del robot, hace que este vaya describiendo los movimientos y trace las trayectorias necesarias para cumplir su función. Cada uno de los movimientos realizados se va almacenando en la memoria del robot, de forma que podrán ser repetidos posteriormente, ya sin intervención humana. En este tipo de programación es necesario disponer del propio robot para la elaboración del programa. En muchas ocasiones se emplea un sistema guiado en forma de joystick para mover las articulaciones del robot. Es un tipo de programación sencilla, pero con el inconveniente de que no tiene en cuenta las variaciones del entorno.

2.1.2. Programación textual o indirecta

En este caso no es necesaria la presencia del robot para realizar el programa, puesto que este se lleva a cabo en un lenguaje informático. El programa consiste en un texto formado por un conjunto de instrucciones, cuando el programa sea grabado en la memoria del robot, este realizará las acciones indicadas en el mismo.

Este tipo de programación permite realizar operaciones más complejas con mayor grado de precisión. Además, presenta la ventaja de que es posible establecer relaciones entre el robot y su entorno. Para ello basta con introducir en el programa los datos procedentes de los sensores de forma que el robot actúe en consonancia con los mismos, tal y como ocurre en los denominados robots inteligentes.

2.2. Aplicación de la programación en sistemas robóticos industriales

En los robots industriales no existe un lenguaje de programación generalizado. De hecho, en la actualidad existen una gran variedad de lenguajes destinados a la programación de robots industriales, puesto que en la mayoría de los casos los propios fabricantes desarrollan lenguaje destinado a su robot concreto. Un lenguaje empleado en la programación de robots industriales es el lenguaje RAPID

RAPID (por sus siglas en inglés *Robotics Application Programming Interactive Dialogue*) es un lenguaje de programación textual de alto nivel desarrollado por la empresa ABB. Empresa encargada de fabricar robots industriales. Una aplicación RAPID consta de un programa y una serie de módulos del sistema. El programa es una secuencia de instrucciones que controlan el robot y en general consta de tres partes:

- Una rutina principal, la cual es la rutina donde se inicia la ejecución
- Un conjunto de sub-rutinas que cumplen la función de dividir el programa en partes más pequeñas a fin de obtener un programa modular.
- Los datos del programa, que son los encargados de definir las posiciones, los valores numéricos, sistemas de coordenadas, etc.

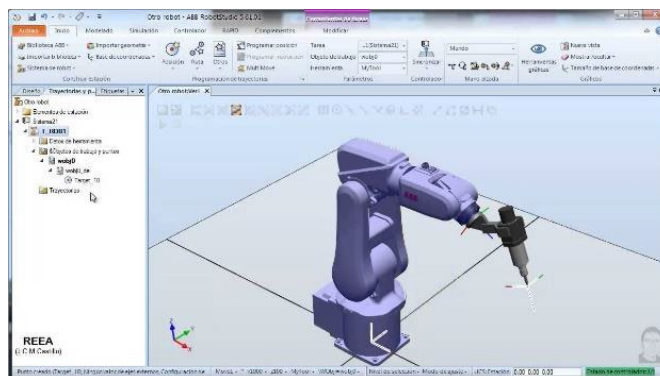


Figura 1.- *Software RobotStudio*

RobotStudio (nombre del simulador previamente mencionado) es un simulador de robots industriales muy completo, pero a su vez es un entorno complejo, ya que, como otros lenguajes de programación, es necesario conocer todas las palabras reservadas dentro de dicho lenguaje, así como las diferentes sentencias que este posee, la Figura 1 muestra la interfaz virtual del software. Además, RobotStudio es un software que requiere licencia lo que limita un poco más su acceso.

2.3. Herramientas didácticas para el aprendizaje de sistemas robóticos

El desarrollo e implementación de herramientas didácticas en los procesos de enseñanza – aprendizaje son ampliamente estudiados, esto debido a que brindan un apoyo adicional al proceso educativo, en el caso particular de la robótica, existen herramientas diseñadas para utilizar a la robótica como medio de aprendizaje de algunas habilidades y conocimientos como la programación, las matemáticas, entre otras, pero también se

utilizan para la enseñanza de los propios sistemas robóticos, muestra de esto se tiene en los trabajos que a continuación se describen.

- En Bravo y Forero (2012) se involucra a la robótica en el aula como recurso para facilitar el aprendizaje y desarrollo de competencias generales.
- Willging, et al (2017) emplean un sistema robótico como herramienta para el aprendizaje de la programación, este sistema es un robot móvil con la implementación de múltiples sensores.
- Una interfaz y un entorno real que permite la práctica de varios fundamentos de robótica son implementados en Jara (2007), el objetivo es presentar un laboratorio virtual, Figura 2, y otro remoto para la simulación y teleoperación de robots industriales, orientados a la enseñanza y práctica de la robótica.
- En Ariza y Amaya (2011), se describe el desarrollo y funcionamiento de un laboratorio remoto para la enseñanza de la automatización, por medio de una aplicación web un software de acceso remoto permite una conexión multiusuario independiente para la utilización de un robot manipulador de tipo industrial.
- En Izurrategui, et al (2002) se presenta la experiencia docente desarrollada en una clase de Control y Programación de Robots impartida en Ingeniería Técnica Industrial de la Universidad de La Rioja, donde utilizan un ambiente virtual para programar los robots y múltiples celdas de manufactura.

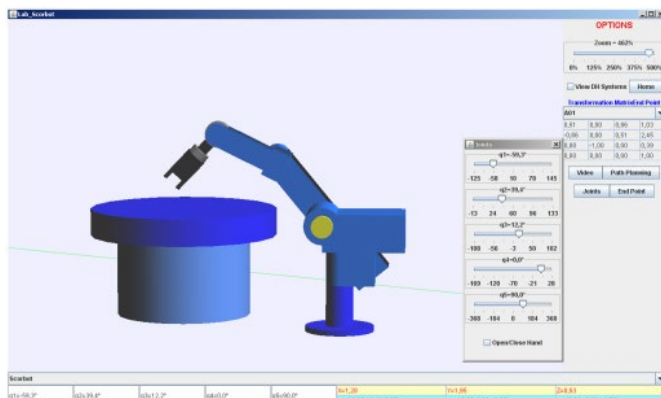


Figura 2.- Laboratorio virtual implementado en Barrientos, et al (2020).

3. Planteamiento del problema y solución propuesta

Problema: Existen causas por las que el aprendizaje no se concreta, muestra de esto los altos índices de reprobación, sin embargo, se observa que, en el Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro, se carece de una alternativa que brinde opciones para el aprendizaje de la programación de sistemas robóticos por medio de la práctica.

Propuesta: Desarrollar una herramienta didáctica de apoyo en el proceso de aprendizaje de los conceptos de programación de sistemas robóticos, la cual, permita manipular de manera práctica un brazo robótico y simular el accionamiento mediante programación textual y guiada.

4. Desarrollo Metodológico

4.1. Metodología de Construcción

La implementación de esta estrategia didáctica consta de 3 partes fundamentales, las cuales son: diseño y construcción del robot manipulador a controlar, modelo matemático del robot manipulador por medio de la cinemática directa y diseño de la aplicación de control.

4.1.1. Construcción del robot manipulador

La implementación del prototipo se realizó mediante el diseño 3D del robot manipulador, basado en los manipuladores mostrados en Barrientos, et al (2007) y Jordán (2020) se optó por emplear un robot manipulador básico de 3 grados de libertad, pero se realizó un rediseño para que los elementos de accionamiento no estuvieran montados sobre las articulaciones, esto para disminuir el peso del robot y permitir una mayor capacidad de carga en el efector final.

El rediseño 3D de los elementos del robot manipulador se realizaron en el *Software Fusion 360* de la compañía Autodesk, cada eslabón del robot manipulador fue diseñado para que en extensión máxima alcanzara 27 cm (valor tomado con una escala 1:3 del robot ABB IRB 1100). En la Figura 2, se presenta el renderizado del modelo del brazo robótico ensamblado completamente después del diseño de cada elemento, en este ensamble se verificó la interacción de cada elemento al hacer un movimiento, para evitar daños estructurales al momento de su implementación.

Para la implementación física, se debe configurar el tipo de material a emplear, el factor de relleno de la pieza, entre otros parámetros, esto para cada uno de los elementos a imprimir. Para la configuración de la impresión 3D se utilizó el software Ultimaker CURA, en la Figura 3 se puede observar una pieza dentro del software de configuración para la impresión.

Una vez que las piezas fueron verificadas y configuradas para la impresión, se implementó una impresora Artillery SideWinder X1 para su fabricación, su tiempo de impresión total fue aproximadamente de 34 horas, gastando un aproximado de 150 gramos de material, en este caso al ser el primer prototipo se imprimió en PLA con un relleno del 20%. Parte de este proceso de fabricación se puede observar en las Figura 4 y Figura 5.

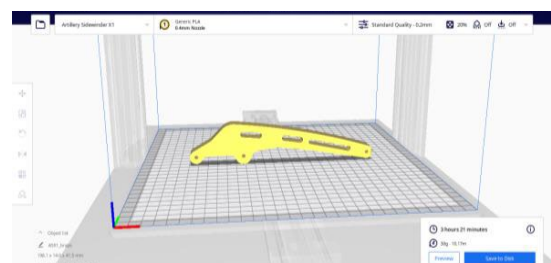


Figura 3.- Configuración de parámetros para las piezas mediante Cura Ultimaker



Figura 4.- Renderizado del ensamble del robot manipulador

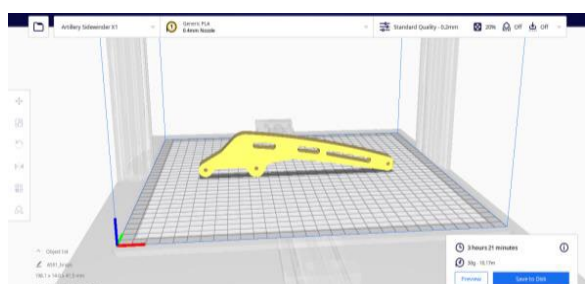


Figura 5.- Configuración de parámetros para las piezas mediante Cura Ultimaker

4.1.2. Modelado por Cinemática Directa para el Control

Para el funcionamiento del brazo robótico, se emplea el uso de su cinemática, la cual determina el movimiento del robot a partir de su geometría, este tema es ampliamente abordado en literatura de robótica (Barrientos, et al, 2007), por lo que, solamente se bosqueja la solución implementada en particular para este robot.



Figura 6.- Impresión de piezas mediante la impresora Artillery SideWinder X1

Empleando el algoritmo Denavit-Hartenberg (DH) se obtiene la cinemática directa del robot esto se reduce a encontrar una matriz homogénea de transformación **T** que relacione la posición y orientación del extremo del robot respecto del sistema de referencia fijo situado en la base del mismo, la ecuación 1 representa la matriz **T** de transformación, la cual puede ser descrita como el producto de matrices **A** referentes a las características físicas de cada eslabón.

Con base en el algoritmo DH, se determinan las matrices **A** con los parámetros DH a_i, α_i, d_i y θ_i inherentes al robot manipulador propuesto. La ecuación 2 muestra la definición de las matrices **A** en términos de los parámetros DH, mientras que la ecuación 3, muestra la relación entre el producto de las matrices **A** y la matriz de transformación general. La Tabla 1 muestra los parámetros DH para cada eje de referencia en nuestro robot como se encuentran etiquetados en la Figura 6.

$$T = \begin{bmatrix} Rotación & Traslación \\ Perspectiva & Escala \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{3x3} & P_{3x1} \\ f_{1x3} & w_{1x1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad ec. 1$$

$$A_i^{1-1} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\cos(\alpha_i) \sin(\theta_i) & \sin(\alpha_i) \sin(\theta_i) & a_i \cos(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & \cos(\alpha_i) \cos(\theta_i) & -\sin(\alpha_i) \cos(\theta_i) & a_i \sin(\theta_i) \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad ec. 2$$

$$T = A_1^0 A_2^1 A_3^2 \quad ec. 3$$

Tabla 1.- Parámetros DH del robot manipulador diseñado.

Articulación	θ	d	a	α
1	θ_1	$L_1 = 3cm$	0	90°
2	θ_2	0	$L_2 = 12 cm$	0
3	θ_3	0	$L_3 = 12 cm$	0

Definiendo todas las matrices **A** (ecuación 2) en términos de los parámetros DH, y conociendo la localización destino del extremo final del robot manipulador, en términos de n, o, a y p de la matriz **T** (ecuación 1), se pueden manipular las 12 ecuaciones resultantes de la igualación de las ecuaciones 1 y 2, llamada cinemática inversa, para determinar el valor de rotación de cada articulación para lograr el posicionamiento deseado del robot. Este proceso se realiza numéricamente mediante la ayuda del software MATLAB basándose en lo implementado en Barrientos, et al (2007) y Jordán (2020), donde se utiliza para obtener los movimientos rotacionales correspondientes al desplazamiento deseado entre dos puntos.

4.1.3. Diseño de la aplicación de control

Para facilitar el aprendizaje de los diferentes tipos de programación de robots se tiene como apoyo una aplicación móvil diseñada para Android, con la cual se puede controlar un brazo manipulador mediante una sencilla interpretación del lenguaje RAPID y una programación guiada en la que el usuario puede mover cada eslabón de manera independiente.

El desarrollo de la aplicación móvil, primeramente, contiene un menú principal (Figura 7) en el que se puede acceder al control del robot y también se puede acceder a más material visual para aprender un poco más acerca de los tipos de robots, la estructura mecánica de estos y las transmisiones que pueden utilizar.

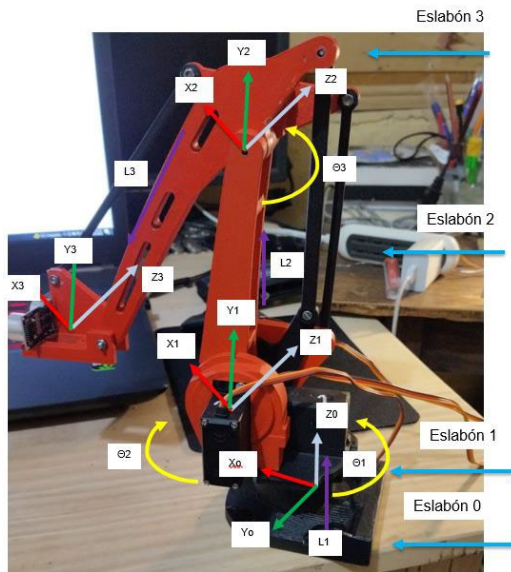


Figura 7.- Etiquetados de Denavit-Hartenberg

Dentro de la ventana de control se tienen diferentes elementos los cuales nos permiten mover al robot de diferentes maneras. La primera manera, simulando un entorno de programación guiada, cuenta con un deslizador para cada eslabón. Cada deslizador está limitado al rango de valores que se puede mover cada eslabón. Cuando se desea fijar dicha posición del robot, seleccionar el botón “OK” ubicado a un lado. Los valores mostrados en el deslizador son unidades angulares (Figura 8).

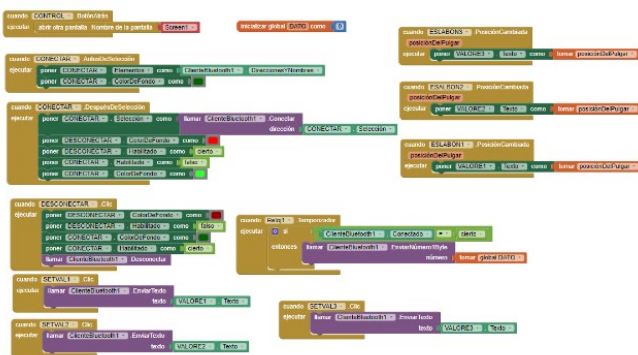


Figura 8.- Bloques de la ventana de menú principal

Del lado derecho de la pantalla se cuenta con tres botones para una función específica cada uno, simulando la programación textual. El primer botón nombrado “Movimiento Lineal” al momento de que es presionado realiza una recta entre dos puntos diferentes previamente definidos. El segundo botón “Movimiento Circular” de manera similar que el botón anterior, realiza un medio arco entre dos puntos diferentes predeterminados. Finalmente, el botón “Rutina” ocasiona que el robot realice una rutina previamente establecida simulando una acción de trabajo. Esta función de rutina contiene parámetros modificables para que el usuario/estudiante realice las acciones deseadas mediante movimientos lineales y circulares en el espacio de trabajo.

En la ventana Tipos de Robots, Estructura Mecánica y Transmisiones se encuentra información descriptiva de cada apartado apoyado con imágenes para comprender mejor el

funcionamiento de diferentes sistemas robóticos. Finalmente, se deben obtener los parámetros DH del modelo realizado, así como su modelo cinemático directo, lo que permitirá alcanzar una posición final con respecto al movimiento de los ángulos de las articulaciones.

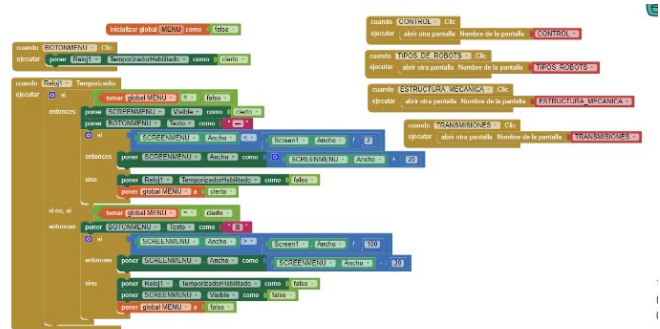


Figura 9.- Bloques de la ventana de control

Dentro de la aplicación como se ha mencionado anteriormente, se tiene la pantalla principal (Figura 9) con el nombre del proyecto, así como un menú desplegable en el que se puede acceder a la ventana de control (Figura 10), a la explicación de transmisiones (Figura 11), la ventana de tipos de robots y la ventana de estructura mecánica (Figura 12), todas ellas de elaboración propia.



Figura 10.- Ventana de control

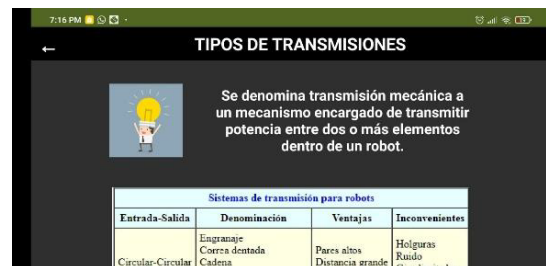


Figura 11.- Ventana Tipos de Transmisiones



Figura 12.- Ventana de Estructura Mecánica de un Robot

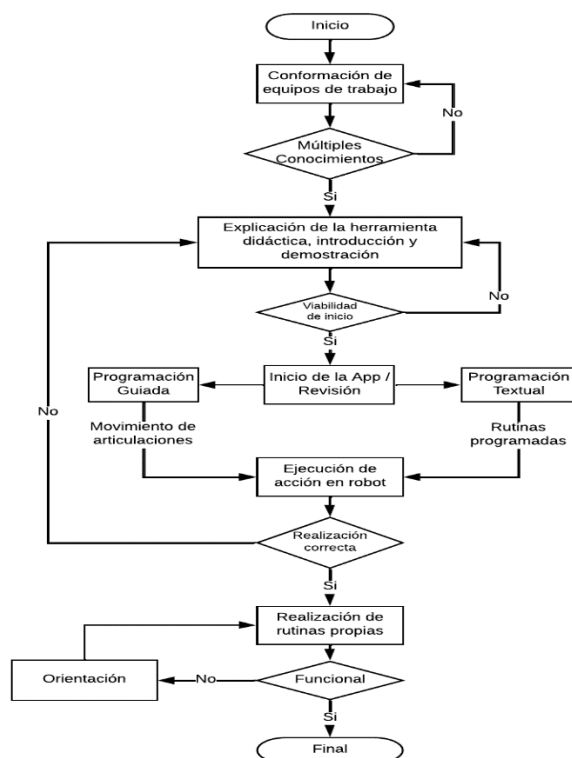


Figura 13.- Metodología de aplicación de la herramienta didáctica

4.2. Metodología de Aplicación

La aplicación de esta herramienta didáctica se basa en el aprendizaje basado en la práctica, el cual es altamente motivador y envolvente, debido a que el estudiante tiene el control de las acciones que realiza. El procedimiento de trabajo empleado se muestra en la Figura 13, donde se esquematiza las etapas del proceso. Como primera etapa se deben crear los grupos de trabajo, teniendo para la verificación de la herramienta un grupo de control donde no se utilice, preferentemente se deben diagnosticar a los estudiantes para crear grupos diversificados. Una vez formados los grupos de trabajo, se entregan los contenidos de las prácticas que se han de realizar, de forma tal que, en las primeras, se comienza enseñando al estudiante el funcionamiento de la aplicación y del robot manipulador. Posteriormente se realizan actividades de posicionamiento del efecto final mediante el control guiado de las articulaciones utilizando los deslizadores en la aplicación, lo cual permite simular la programación guiada manipulando cada una de las articulaciones por separado. Para la programación guiada, se implementan prácticas de realización de trazos a partir de rutinas preestablecidas, donde el alumno puede ejecutarlas con un botón en la aplicación, esto hará trazos lineales o circulares de acuerdo al comportamiento que se desee. Dado que solo se cuentan con 3 robots manipuladores disponibles, se recomienda describir al principio de la unidad temática el tema y las prácticas, dejando el resto del tiempo para que puedan trabajar sobre los robots, como primera parte solamente se busca que el estudiante aprenda las formas de programación de sistemas robóticos, que es el objetivo de la herramienta, sin embargo posteriormente el código de la aplicación se abre para que puedan programar sus propias rutinas con programación textual y aprendan a programar.

5. Conclusión

Se detectó la necesidad de crear alternativas para el aprendizaje de la programación de sistemas robóticos por medio de la práctica, para lo cual, se presentó el desarrollo de una herramienta didáctica; bajo la propia experiencia, se ha realizado un planteamiento metodológico para la utilización de la misma, donde el estudiante percibirá la diferencia entre la programación guiada y la textual con respecto a las acciones realizadas por un robot, estas son controladas por medio de una aplicación móvil. Posteriormente el estudiante puede realizar su propia programación con estructuras fijas para la manipulación del brazo robótico. Los resultados obtenidos son la aplicación para móviles Android, la cual permite el control del brazo robótico por medio de controles guiados y textuales, un brazo robótico que realiza las operaciones indicadas y una estructura para programar rutinas en base a la programación textual de estructuras fijas que solo permite desplazamientos lineales y circulares punto a punto. Actualmente, la herramienta didáctica solo ha sido probada para verificar su funcionamiento correcto, no se tienen datos de su aplicación con grupos de estudiantes, sin embargo, la manipulación en pruebas de verificación fue desarrollada por estudiantes que comprendieron su funcionamiento rápido. La implementación con un grupo piloto actualmente está iniciando.

6. Referencias

- Ariza L. C. & Amaya H. D. (2011) Laboratorio remoto para la enseñanza de la programación de un robot industrial. *Ing. USBMed*, ISSN: 2027-5846, Vol. 2, No. 1, pp. 33-39. Ene-Jun, 2011.
- Barrientos, A., Peñín, L. F., Balaguer, C., Aracil, R. (2007): *Fundamentos de Robótica*. McGraw-Hill
- Bravo Sánchez, F. A., & Forero Guzmán, A. (2012). *La robótica como un recurso para facilitar el aprendizaje y desarrollo de competencias generales*.
- Hernández Herrera, C. A. (2016). Diagnóstico del rendimiento académico de estudiantes de una escuela de educación superior en México. *Revista Complutense de Educación*, 27(3), 1369-1388. https://doi.org/10.5209/rev_RCED.2016.v27.n3.48551
- Izurategui, C. E., Martínez, M. G., Rodríguez, J. B., & Sáenz, J. M. M. (2002) *Experiencia Docente En La Impartición De Prácticas De Laboratorio De La Asignatura De Control Y Programación De Robots*. Centro de Enseñanzas Científicas y Técnicas. Universidad de La Rioja, XXIII Jornadas de Automática.
- Jara, C. A., Candelas-Herías, F. A., & Torres, F. (2007). *Laboratorios virtuales y remotos basados en EJS para la enseñanza de robótica industrial*. *Actas de las XXVIII Jornadas de Automática*, Huelva, 2007
- Jordán Gamito, A. (2020): *Diseño y realización de un sistema automatizado de clasificación por colores basado en brazo robótico y el TMS320F28335*. TFG de Ingeniería en Tecnologías Industriales. Departamento de Ingeniería Electrónica Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Pinto-Salamanca, M. L., Barrera-Lombana, N., & Pérez-Holguín, W. J. (2010). *Uso de la robótica educativa como herramienta en los procesos de enseñanza*. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 10(1), 15-23.
- Romero, L. Utrilla, A. Utrilla, V.M. (2014). *Las Actitudes Positivas y Negativas de los Estudiantes en el Aprendizaje de las Matemáticas, su Impacto en la Reprobación y la Eficiencia Terminal*, RA XIMHAI, Vol. 10, Número 5, Julio-Diciembre 2014.
- Sánchez Mora A. M., (2002). *Guía para el divulgador atribulado I: Enseñanza y aprendizaje de la divulgación*. En *El Muélgano Divulgador*, núm. 17. Dirección General de Divulgación de la Ciencia, UNAM, México.
- Willing, P., Astudillo, G. J., Castro, L., Bast, S. G., Occelli, M., & Distel, J. M. (2017). *Educación con tecnologías: la robótica educativa aplicada para el aprendizaje de la programación*. In *XIX Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2017)*, ITBA, Buenos Aires.