

# Aprendiendo a programar robots antropomórficos mediante manipulación de piezas

José J. Quintana<sup>\*a</sup>, Basma Aziz<sup>b</sup>, Moises Diaz<sup>c</sup>, Miguel A. Ferrer<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Departamento de ingeniería Electrónica y Automática, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

<sup>b</sup>Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

<sup>c</sup>Universidad del Atlantico Medio, Las Palmas de Gran Canaria

<sup>d</sup>Departamento de Señales y Comunicaciones, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

## RESUMEN

En la docencia en el ámbito de la robótica se trabajan varias competencias tales como la relación matemática de distintos sistemas de referencia, aprender a definir orientaciones de objetos y herramientas y programar robots.

Para que los estudiantes adquieran estas competencias, es conveniente asentar los fundamentos teóricos mediante la realización de prácticas de laboratorio. Una manera de alcanzar este fin es a través de la programación de robots comerciales antropomórficos, así como de equipos neumáticos con distribuidores comandados por solenoides eléctricas.

Este artículo propone el diseño y la construcción de una plataforma de bajo coste para realizar prácticas de robótica. Específicamente, la plataforma consiste en el montaje de una pinza neumática en la extremidad libre de un robot antropomórfico, así como en la distribución de piezas de dominó sobre una base accesible por el robot. Una vez construida la plataforma, se proponen dos prácticas de laboratorio basadas en el movimiento de piezas con el robot.

**Palabras clave:** Robótica, Sistemas de referencia, Prácticas de laboratorio, Movimiento de piezas.

## 1. INTRODUCCIÓN

La programación de robots es una asignatura fundamental en grados de Ingeniería Electrónica y Automática, Ingeniería informática o Ingeniería de telecomunicaciones. De esta asignatura se espera que el estudiante adquiera las competencias relacionadas con la aplicación y programación de sistemas robotizados.

Una de las mejores maneras para adquirir los conceptos de esta asignatura, es mediante prácticas de laboratorio[1]. Se sabe que la motivación en el proceso de enseñanza y aprendizaje, así como la satisfacción personal se incrementa cuando los estudiantes son capaces de programar robots y observar que estos realizan físicamente las instrucciones programadas [2][3].

El fin que se persigue con la plataforma propuesta en este artículo es que los estudiantes se familiaricen con los sistemas de coordenadas, sepan definir la orientación de la herramienta colocada en el extremo del robot y, por último, con estos conocimientos, poder programar un robot antropomórfico industrial para mover piezas.

Estos robots están pensados para trabajar en un entorno industrial, donde habitualmente la empresa forma a sus trabajadores en la programación de robots y son usados en un campo de actuación determinado. Es por ello que las empresas formadoras cuentan con varios módulos para realizar prácticas académicas de robots. Debido al elevado presupuesto de adquisición de estos módulos con fines docentes, este artículo propone una plataforma de prácticas de programación de robots de bajo coste, ofreciendo a los estudiantes la posibilidad de realizar tareas de movimiento de piezas a través de la programación de un robot antropomórfico.

Este artículo está organizado de la siguiente manera. En la sección 2 se expone la motivación que nos ha llevado a la realización de esta plataforma de prácticas, en la sección 3 el diseño de dicha plataforma, en la sección 4 se expone la programación del robot, en la sección 5 se describirán las prácticas propuestas, en la sección 6 se describirá el presupuesto de la práctica y en la sección 7 se mostrarán las conclusiones.

## 2. ANTECEDENTES

La plataforma de prácticas propuesta tiene como objetivo la innovación docente en la asignatura Control de robots que se imparte en el tercer curso del Grado de Ingeniería en Electrónica Industrial y Automática.

La plataforma desarrollada está basada en el robot comercial antropomórfico ABB IRB120. El objetivo es mover piezas de dominó desde unas ubicaciones iniciales hasta unas ubicaciones finales utilizando una pinza neumática. Los objetivos específicos que se persiguen son los siguientes:

- Utilización y definición de sistemas de referencia.
- Aprender a definir la orientación de pinzas neumáticas.
- Programar un robot industrial de forma básica, utilizando instrucciones de movimiento e instrucciones para la activación de elementos externos.
- Utilizar accionamientos neumáticos y aprender a actuar a través del robot sobre una pinza neumática. Esto permitirá la familiarización de elementos propios de instalaciones neumáticas tales como distribuidores, compresor, llaves, etc.

Para conseguir estos objetivos específicos, los apartados siguientes describirán la plataforma desarrollada y las prácticas que se proponen usar sobre ella.

## 3. DISEÑO DE LA PLATAFORMA DE PRÁCTICAS

La propuesta de este artículo se puede aplicar a un laboratorio docente que disponga de un robot antropomórfico y de un sistema neumático. Como es sabido, los robots industriales vienen de serie sin ninguna herramienta, por tanto, para que se puedan sujetar las piezas, es necesario disponer de algún tipo de pinza. Una posible solución es usar una pinza neumática. También es necesario definir el área de trabajo de acuerdo al área de trabajo del robot.

La base donde van a ir colocadas las piezas de dominó está unida a la estructura del robot. Por ello, cada vez que el robot se mueve, se produce una vibración en el área de trabajo y como consecuencia, una alteración en la posición inicial de las piezas de dominó. Para evitar esto, se ha diseñado también un soporte para dichas piezas.

### 3.1 Pinza neumática

Para poder realizar el movimiento de las fichas de dominó, se necesita una pinza neumática. La elegida, mostrada en la Figura 1, ha sido una pinza neumática de apertura paralela de la serie MHZ2 con un diámetro de 25 mm cuyo fabricante es TJCQD. En concreto, se trata de una pinza con dos dedos y con un funcionamiento de doble efecto. Debido a que la pinza y la muñeca del robot no tienen el mismo tipo de anclaje, se ha realizado una pieza para acoplar ambos elementos, esta pieza se realizó en acero y se muestra en la Figura 1. Por otra parte, debido a que la pinza en posición cerrada tiene unas dimensiones superiores a las de las piezas de dominó que debe coger, se han diseñado unos capuchones cuya finalidad es la de sujetar las fichas de dominó según la anchura de las mismas. Para ello, utilizando el software Solidworks se diseñó un capuchón que encajara perfectamente en las pinzas dejando los orificios de los tornillos, tal como muestra la Figura 1. Una vez diseñados los capuchones, éstos han sido realizados en la impresora 3D WitBox 2 y utilizando políacido láctico (PLA).

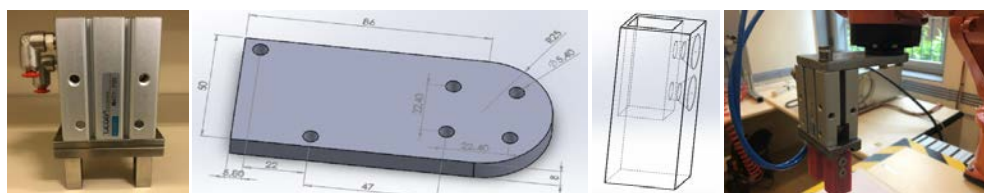


Figura 1. Pinza, pieza de adaptación, capuchón y pinza colocada en el robot.

### 3.2 Superficie de trabajo

La superficie de trabajo se diseñó teniendo en cuenta el principal factor limitante que es la alcanzabilidad del robot. Esta se diseñó de manera que las 28 fichas de dominó pudieran situarse, además de 14 piezas adicionales para la realización de dos visualizadores de 7 segmentos y 4 adicionales para la torre. La distribución de elementos en dicha tabla se puede observar en la Figura 2.

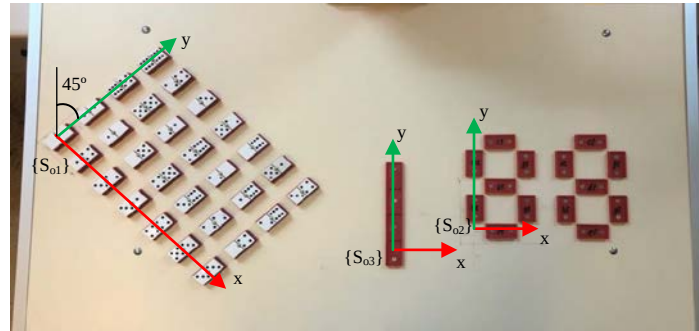


Figura 2. Superficie de trabajo y sistemas de referencia.

Una vez definida la posición de origen y de destino de las fichas de dominó, se observó que la posición de las fichas se alteraba cada vez que el robot hacía movimientos. Para evitar tal inconveniente se diseñaron en SolidWorks cajetines cuya forma se muestra en la Figura 3. Al igual que con los capuchones de la pinza se imprimieron en PLA con la impresora BQ Witbox2.



Figura 3. Diseño del cajetín en SolidWorks

## 4. PROGRAMACIÓN DEL ROBOT

En este apartado se mostrarán los distintos sistemas de referencia utilizados, las herramientas matemáticas necesarias para definir la orientación deseada de la pinza y los comandos utilizados para la programación del robot.

### 4.1 Sistemas de referencia

Para trabajar de manera eficiente en un sistema robótico, es fundamental definir unos sistemas de referencia adecuados de manera que las coordenadas respecto a ellos sean fáciles de obtener. En este trabajo se han definido varios sistemas de referencia que se muestran en las Figuras 2 y 4. Estos sistemas de referencia son los siguientes:

- Sistema de referencia de la base del robot: Este es el sistema de referencia principal a la hora de programar un robot, ya que todos los puntos tanto en posición como en orientación de la pinza deben ir referidos a él.
- Sistema de referencia de la pinza: Este sistema se encuentra situado en el extremo de la pinza y es el utilizado para mostrar el punto en el que se quiere que se posicione la pinza y la orientación para sujetar las piezas correctamente.
- Sistemas de referencia de las fichas: Con el fin de conocer la posición de una ficha determinada, se prefiere utilizar los sistemas de referencia mostrados en la Figura 2 en vez de la posición absoluta respecto a la base del robot.

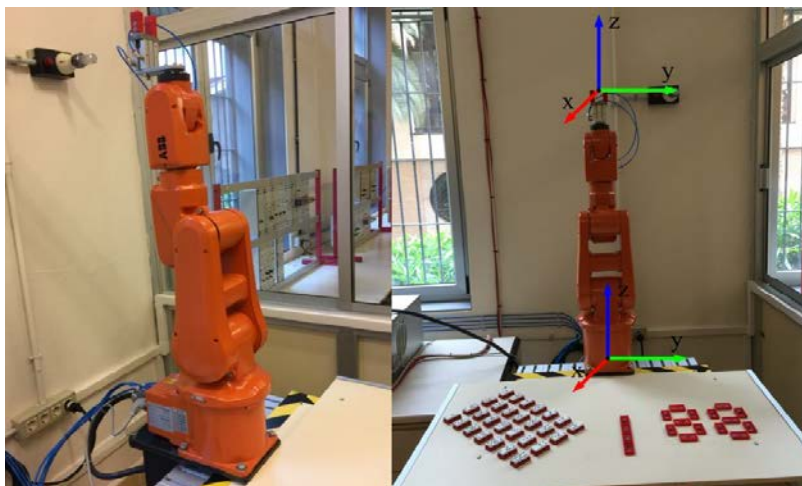


Figura 4. Sistemas de referencia del robot y de la pinza.

La definición de estos sistemas de referencia facilita de una manera importante los cálculos posteriores además de una mejor interpretación del código programado en el robot.

#### 4.2 Orientación de la pinza

Para que la pinza se coloque de manera adecuada para sujetar las diferentes piezas, es necesario conocer además de la posición de la pieza a sujetar, la orientación de la pinza para que se coja correctamente.

Al igual que con la posición, la orientación del robot también está referida al sistema de referencia de la base del robot.

Por tanto, se tienen dos sistemas de referencia, el de la base del robot y el de la pinza que tiene que estar con una orientación determinada para que se puedan sujetar las piezas de manera adecuada. Existen varias maneras de determinar la orientación del sistema de la pinza con respecto a la base del robot. En este trabajo se hace uso de los cuaternios, los cuales permiten definir la orientación de una manera sencilla en el robot.

El procedimiento para deducir el cuaternio que relaciona la orientación de la pinza con respecto a la base del robot, se describe a continuación:

- Se disponen el sistema de la pinza  $\{S_H\}$  y el de la base del robot  $\{S_R\}$  en el mismo origen.
- Se gira el sistema de referencia del robot  $\{S_R\}$  sobre sus ejes de manera que tras tres giros como máximo, el sistema  $\{S_R\}$  coincida con el sistema de la pinza  $\{S_H\}$ . Cada uno de estos giros va a definir un cuaternio determinado. Hay que tener en cuenta que cada vez que se gira el sistema  $\{S_R\}$  cambia la orientación de sus ejes y que hay que utilizar como ejes de giro los nuevos ejes.

Debido a que los cuaternios se pueden componer, basta con multiplicar los cuaternios anteriores, utilizando las herramientas matemáticas necesarias[4][5][6], para obtener el cuaternio final, que relaciona la orientación de los dos sistemas.

A continuación, se describirán brevemente los cuaternios.

#### 4.3 Cuaternios

Los cuaternios son utilizados ampliamente para definir la orientación de dos sistemas de referencia con sólo cuatro componentes.

Sea un cuaternio  $Q$  constituido por cuatro componentes  $(q_0, q_1, q_2, q_3)$  que representan las coordenadas del cuaternio en una base  $\{e, i, j, k\}$ . Donde se denomina parte escalar del cuaternio a la componente en  $e$ :  $q_0$ , y parte vectorial al resto de componentes. De modo que un cuaternio se puede representar como:

$$Q = [q_0, q_1, q_2, q_3] = [s, \mathbf{v}]$$

Donde  $s$  es la parte escalar, y  $\mathbf{v}$  la parte vectorial.

Para la utilización de los cuaternios como metodología de representación de orientaciones se asocia el giro de un ángulo  $\theta$  sobre el vector  $\mathbf{k}$  al cuaternio definido por:

$$Q = \text{Rot}(\mathbf{k}, \theta) = \left( \cos \frac{\theta}{2}, \mathbf{k} \sin \frac{\theta}{2} \right)$$

Se necesitan tres orientaciones para realizar todas las tareas sobre la tabla:

Orientación 1: Fichas dispuestas en vertical.

Orientación 2: Fichas dispuestas en horizontal.

Orientación 3: Fichas dispuesta a 45° (matriz de 28 fichas).

En los apartados siguientes se deducirán los cuaternios correspondientes a cada orientación.

*Orientación 1:*

La figura 5 muestra la orientación de la pinza para sujetar las fichas dispuestas en vertical.

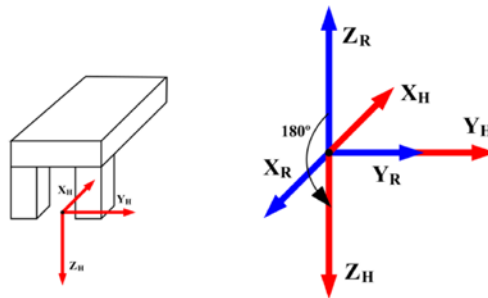


Figura 5. Orientación 1 de la pinza y los ejes del robot.

Se observa que para obtener el sistema de la pinza (rojo) partiendo del sistema de la base (azul) sólo se necesita girar el sistema de la base 180° respecto al eje  $y$ . Por lo tanto, el cuaternio correspondiente a la realización de un giro sobre el eje  $y$  de 180° es definido como:

$$Q_{TP1} = \text{Rot}(y, 180) = \left( \cos \frac{180}{2}, y \sin \frac{180}{2} \right) = [0, 0, -1, 0]$$

Este cuaternio define la orientación 1 de la pinza.

*Orientación 2*

La figura 6 muestra la orientación de la pinza para sujetar las fichas dispuestas en horizontal.

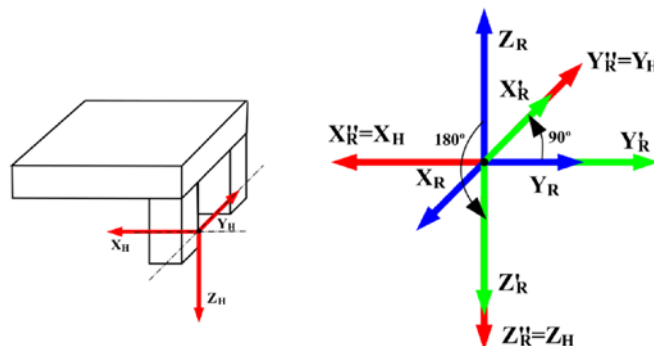


Figura 6. Orientación 2 de la pinza y los ejes del robot.

Para obtener el sistema de referencia de la pinza (rojo) partiendo del sistema de referencia de la base (azul), se observa que se necesitan dos giros, por una parte un giro de  $180^\circ$  sobre el eje  $y$  más de un giro posterior de  $-90^\circ$  sobre el nuevo eje  $z$ . Los cuaternios correspondientes se muestran a continuación:

$$Q_1 = \text{Rot}(y, 180) = \left(\cos \frac{180}{2}, y \sin \frac{180}{2}\right) \text{ y } Q_2 = \text{Rot}(z, -90) = \left(\cos \frac{-90}{2}, z \sin \frac{-90}{2}\right)$$

Para la obtención del cuaternio total en sus cuatro componentes, se calcula el producto de ambos cuaternios:

$Q_{TP2} = Q_1 \cdot Q_2$  obteniendo el siguiente vector:  $Q_{TP2} = [0, -0.7071, 0.7071, 0]$  que define la orientación 2.

#### Orientación 3

La Figura 7 muestra la orientación de la pinza para sujetar las fichas dispuestas a  $45^\circ$ .

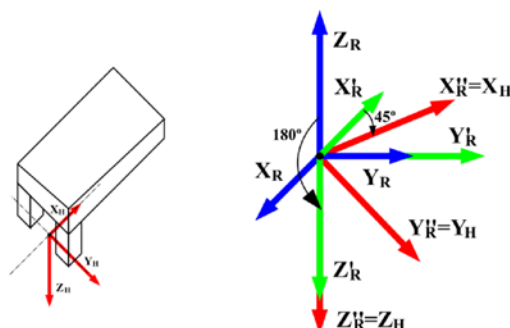


Figura 7. Orientación 3 de la pinza y los ejes del robot.

Para obtener el sistema de referencia de la pinza (rojo) partiendo del sistema de referencia de la base (azul), se observa que se necesitan dos giros, por una parte un giro de  $180^\circ$  sobre el eje  $y$  más un giro posterior de  $45^\circ$  sobre el nuevo eje  $z$ . Los cuaternios correspondientes se muestran a continuación:

$$Q_1 = \text{Rot}(y, 180) = \left(\cos \frac{180}{2}, y \sin \frac{180}{2}\right) \text{ y } Q_2 = \text{Rot}(z, 45) = \left(\cos \frac{45}{2}, z \sin \frac{45}{2}\right)$$

Para la obtención del cuaternio total en sus cuatro componentes, se calcula el producto de ambos cuaternios:

$Q_{TP3} = Q_1 \cdot Q_2$  obteniendo el siguiente vector:  $Q_{TP3} = [0, 0.3827, 0.9239, 0]$  que define la orientación 3.

Con estas 3 orientaciones y con los sistemas de referencia definidos anteriormente, se puede obtener la posición y orientación de todos los puntos para las prácticas propuestas.

#### 4.4 Programación en el robot

El programa para el movimiento de piezas se programará en el robot utilizando el software Robotstudio de ABB y dentro él la programación se hará en lenguaje RAPID. Por simplicidad, el robot se programará para realizar movimientos rectilíneos.

El lenguaje RAPID tiene un comando para la escritura de líneas rectas que tiene el siguiente formato:

`MoveL [[px, py, pz],[q1, q2, q3, q4],[-1,0,0,0], [9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]], v60, fine, Pinza;`

Los parámetros más importantes son los siguientes:

[p<sub>x</sub>, p<sub>y</sub>, p<sub>z</sub>]: Punto de destino, (el punto origen es en el que se encuentra el robot).

[q<sub>1</sub>, q<sub>2</sub>, q<sub>3</sub>, q<sub>4</sub>]: Orientación de la pinza en formato cuaternio.

v60: indica la velocidad durante la escritura de la línea.

fine: indica que el punto final se alcanza con precisión máxima.

Pinza: Indica la herramienta utilizada, en el caso estudiado es la pinza.

Por otra parte, a la salida 2 del módulo de control del robot se encuentra conectado el distribuidor que a su vez actúa sobre la pinza. Cuando esta señal está activa la pinza se cierra y cuando está inactiva se abre. El comando RAPID que maneja esta salida es:

SetDO Salida\_2, Valor;

Los parámetros de este comando son los siguientes:

Salida\_2: Es la salida booleana que se pretende activar o desactivar.

Valor: si tiene el valor 0, la salida estará desactivada y si tiene el valor 1 estará activada.

Con el conocimiento de estos comandos y partiendo de un programa base que estará a disposición de los estudiantes, éstos deberán generar el código correspondiente.

## 5. DEFINICIÓN DE LAS PRÁCTICAS

La condición inicial es que las 28 fichas estén colocadas en la parte izquierda de la zona de trabajo. Como datos de partida, el docente proveerá a todos los estudiantes las coordenadas de los puntos de los tres sistemas de referencias ubicados en el espacio de trabajo.

Los estudiantes deberán tomar las piezas partiendo desde la ficha que se encuentra en la parte izquierda de la fila inferior, y luego deberán tomar de forma consecutiva todas las piezas de esa fila, a continuación, pasarán a la fila superior y así sucesivamente.

### 5.1 Práctica 1

Esta práctica es común para todos los estudiantes. Éstos deberán tomar las piezas y formar una torre, tomando como base la pieza que se encuentra en la parte central del espacio de trabajo. Esta torre tiene cuatro piezas de base, luego se pondrán encima tres, posteriormente dos y finalmente una.

### 5.2 Práctica 2

En esta práctica, cada estudiante debe tomar los dos últimos números de su documento nacional de identidad, y deberá colocar las fichas de dominó en los dos visualizadores de siete segmentos ubicados en la parte izquierda del espacio de trabajo, de manera que al finalizar la práctica se muestren esos dos números.

## 6. PRESUPUESTO DE LA PRÁCTICA PROPUESTA

Algunos de los equipos de prácticas académicas que suministran los fabricantes de robots tienen un precio elevado. Con el fin de poder trabajar en el aula las competencias que se pudieran trabajar con esos equipos, este trabajo propone una plataforma de prácticas para movimiento de piezas de bajo coste. Para ello, se parte de un robot antropomórfico, de un equipo neumático y de una impresora 3D, los cuales no se consideran en el presupuesto de la plataforma propuesta. El material más costoso de esta práctica fue la pinza con un total de 40€. La pieza de adaptación de la pinza y el extremo del robot costó unos 10€, la tabla sobre la que poner las fichas unos 10€ y, finalmente, otros 40€ más fueron dedicados a la compra de las fichas de dominó, pequeñas mangueras y conectores para el aire comprimido, así como la impresión de las piezas 3D. En total, el material necesario para la construcción del equipo de prácticas ronda los 100€, aproximadamente.

## 7. CONCLUSIONES

Con el fin de que los estudiantes aprendan a programar movimientos en un robot industrial, en este trabajo se ha expuesto el diseño y la realización de una plataforma de prácticas, para el movimiento de piezas de dominó. Esta plataforma consiste de una base donde se distribuyen las piezas de dominó y una pinza ubicada en el extremo del robot.

Con esta plataforma, los estudiantes pueden trabajar las competencias relacionadas con los sistemas de referencia, como relacionarlos entre sí, aprender a definir la orientación de la pinza, programar un robot industrial, tanto en el uso de los comandos de trayectorias como en el uso de comandos para el manejo de la pinza neumática.

Con este trabajo se han conseguido dos objetivos: por una parte, el desarrollo de una plataforma de prácticas a un precio reducido y fácilmente replicable, y, por otra parte, definir dos prácticas de control de robots a realizar individualmente por cada estudiante y bajo la supervisión de un técnico de laboratorio.

## REFERENCIAS

- [1] J. J. Quintana, M. Diaz and M. A. Ferrer, "Stirring Up the Learning to Program Robotic Arms Through the Generation of Student Handwriting," *2018 XIII Technologies Applied to Electronics Teaching Conference (TAEE)*, La Laguna, 2018, pp. 1-6. doi: 10.1109/TAEE.2018.8476000.
- [2] J. Agudo, "La activación y mantenimiento de la motivación durante el proceso de enseñanza-aprendizaje de una lengua extranjera.," *Didáctica. Leng. y Lit.*, vol. 13, p. 237, 2001.
- [3] M. Rinaudo, M. De La Barrera, and D. Donolo, "Motivación para el aprendizaje en alumnos universitarios," *Rev. Electron. Motiv. y emoción*, vol. 9, no. 22, pp. 1–19, 2006.
- [4] J. J. Craig, *Introduction to robotics: mechanics and control*, vol. 3. Pearson/Prentice Hall Upper Saddle River, NJ, USA:, 2005.
- [5] P. Corke, *Robotics, Vision and Control*. Springer Tracts in Advanced Robotics, Springer Berlin; Heidelberg, 2011.
- [6] A. Barrientos, L. Peñin, C. Balaguer, and R. Aracil, *Fundamentos de robótica*, Segunda. McGraw Hill, 2007.