

ROBOTS COMPETITIVOS: UNA NUEVA HERRAMIENTA PARA EL APRENDIZAJE

COMPETITIVE ROBOTS: A NEW TOOL FOR LEARNING

Jackson Victor Valverde Tobar^{1*}

¹ Universidad Estatal Península de Santa Elena. Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9039-4642>
Correo: jackvvt@outlook.com

Byron Jose Baque Pozo²

² Universidad Estatal Península de Santa Elena. Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7430-9956>
Correo: byron.baque.243@outlook.com

Sebastian Enrique Chafra Mendez³

³ Universidad Estatal Península de Santa Elena. Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7406-1891>
Correo: sebastianchafra@hotmail.com

Kevin Josue Mantuano Rodriguez⁴

⁴ Universidad Estatal Península de Santa Elena. Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9383-8946>
Correo: kevinrodriguez18@gmail.com

Resumen

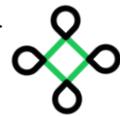
Los robots se han convertido en uno de los principales campos de interés en la intersección de la ingeniería, la robótica y la educación, especialmente en las competencias educativas. Estas competencias ofrecen una plataforma única para fomentar la creatividad, el pensamiento crítico y el desarrollo de habilidades técnicas en estudiantes de todas las edades. El diseño de un robot trepador se enmarca en el ámbito de las competencias educativas, abarcando componentes esenciales para una experiencia de aprendizaje integral. En primer lugar, el diseño electrónico implica el desarrollo de circuitos y sistemas de control que permitan al robot trepar de forma eficiente y segura. El diseño mecánico se centra en crear una estructura robusta y adaptable que facilite el movimiento vertical del robot. El modelado matemático del motor es esencial para comprender y optimizar el rendimiento de la fuente de energía, mientras que el modelo dinámico del sistema proporciona una visión holística de las interacciones entre los componentes. Por último, el modelo matemático se convierte en una herramienta fundamental para la simulación y el análisis, permitiendo a los estudiantes explorar conceptos matemáticos y físicos aplicados en el contexto de la robótica trepadora.

Palabras clave: robot; diseño; competencias; modelo matemático; modelo dinámico; simulación



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).

E-mail: Ecosur@gopsapp.com



Abstract

Robots have become a leading field of interest at the intersection of engineering, robotics, and education, especially in educational competitions. These competitions offer a unique platform to foster creativity, critical thinking, and the development of technical skills in students of all ages. The design of a climbing robot is framed within the scope of educational competitions, encompassing essential components for a comprehensive learning experience. First, the electronic design involves the development of circuits and control systems that allow the robot to climb efficiently and safely. The mechanical design focuses on creating a robust and adaptable structure that facilitates the robot's vertical movement. The mathematical modeling of the motor is essential to understand and optimize the performance of the power source, while the dynamic model of the system provides a holistic view of the interactions between the components. Finally, the mathematical model becomes a fundamental tool for simulation and analysis, allowing students to explore mathematical and physics concepts applied in the context of climbing robotics.

Keywords: *robot; desing; competitions; mathematical model; Dynamic model; simulation*

Introducción

El desarrollo de robots móviles responde a la necesidad de extender el campo de la aplicación de la robótica a tal punto que, en la actualidad, tienen un rol esencial en diversos sectores, abarcando desde la industria hasta la atención médica y la exploración espacial [1]. Estos dispositivos autónomos o controlados a distancia tienen la capacidad de moverse en distintos entornos, lo que los convierte en herramientas versátiles para una amplia gama de aplicaciones. Además de su utilidad práctica, los robots móviles también se han ganado un lugar destacado en la educación y las competencias. Las competencias educativas de robótica ofrecen a estudiantes de todas las edades la oportunidad de aprender sobre ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM) al diseñar, construir y programar robots para superar desafíos específicos. Estos eventos promueven la creatividad, el trabajo en equipo y el pensamiento crítico, preparando a las futuras generaciones para afrontar los retos tecnológicos del porvenir [2].

Materiales y métodos

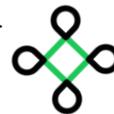
El presente estudio se centró en la realización de una investigación descriptiva para el diseño de un robot trepador destinado a competencias educativas. El proceso de diseño abordó tres aspectos cruciales: los componentes utilizados, el diseño electrónico y el diseño mecánico. En cuanto a los componentes, se llevó a cabo la selección de materiales y componentes de hardware con el fin de optimizar el rendimiento del robot en escalada y navegación. Para el diseño electrónico, se desarrolló un sistema de control, que incorporó sensores y algoritmos de navegación. Además, el diseño mecánico se centró en la creación de una estructura resistente y ligera, con mecanismos de tracción y agarre cuidadosamente diseñados. Este enfoque integral permitió la creación de un robot trepador altamente competitivo, capaz de enfrentar desafíos en competencias educativas de manera eficiente y efectiva.

Componentes



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).

E-mail: Ecosur@gopsapp.com



- **Micromotor con caja reductora plástica**

Este motor de tipo "DC" incluye una caja reductora de plástico incorporada que le proporciona la capacidad de generar un torque eficiente en un espacio compacto y con un voltaje reducido. La carcasa del motor está fabricada con plástico resistente, no dañino y de color amarillo. Estos motores resultan idóneos para aplicaciones en proyectos de robótica móvil, como robots seguidores de línea, robots trepadores y robots de alta velocidad.

- **Controlador “TB6612FNG”**

Este controlador de motor posibilita la regulación de dos motores de corriente continua, manteniendo una corriente estable de 1.2 amperios (con un pico de 3.2 amperios) a partir de una placa Arduino o cualquier otro microcontrolador. También permite ajustar tanto la velocidad como la dirección de rotación de los motores.

- **Arduino Nano**

Es un dispositivo o tarjeta pequeña programable completa y compatible con “protoboards” (tablero con orificios conectados eléctricamente entre sí), basada en el microcontrolador. Tiene 14 pines de entrada/salida digital, de los cuales 6 pueden ser usando con “PWM” (señal de voltaje utilizada para modificar la cantidad de energía que se envía a una carga), 6 entradas analógicas, un cristal de 16Mhz (megahercio), conexión mini-USB, terminales para conexión “ICSP” (Programación Serial En Circuito) y un botón de reinicio. Posee las mismas capacidades que un “arduino uno”, tanto en potencia del microcontrolador como en conectividad, solo se ve recortado en su conector USB, conector “Jack de alimentación” (suministra corriente directa desde una conexión de red a un dispositivo) y los pines cambia un formato de pines “header” (conector eléctrico) [3].

- **Imanes de Neodimio**

Los imanes de neodimio son imanes permanentes que generan un campo magnético capaz de ejercer atracción o repulsión sobre metales mediante sus polos norte y sur. Están fabricados a partir de una aleación que combina neodimio, hierro y boro, lo que les confiere una notable potencia magnética [4].

Diseño electrónico

- **Conexiones del circuito**

En el diseño de la placa Arduino se realiza las conexiones de los pines de entrada y salida de los componentes que son:



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).

E-mail: Ecosur@gopsapp.com



- Pin A0 conexión hacia el led 1.
- Pin A1 conexión hacia el led 2.
- Pin VIN y GND fuente de alimentación de la batería para el Arduino.
- Pin D3 conexión hacia el pin PWMA del controlador.
- Pin D4 conexión hacia el pin AIN2 del controlador para el terminal uno del motor.
- Pin D5 conexión hacia el pin AIN1 del controlador para el terminal dos del motor.
- Pin D6 conexión hacia el pin STBY del controlador.
- Pin D11 conexión hacia la resistencia.
- Pin D12 conexión hacia el pulsador.
- Pin GND tierra del circuito.
- Pin 5V voltaje de alimentación.

• **Diagrama esquemático**

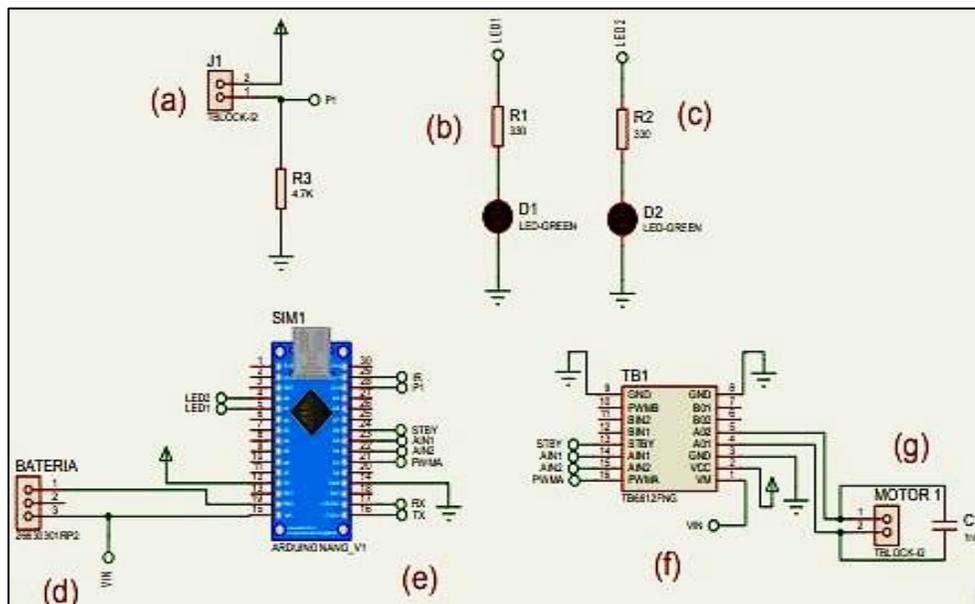


Figura 1. Conexión de los sensores hacia el Arduino
Diagrama esquemático del robot.

Fuente: Sitio web nexoscientificos.vidanueva.edu.ec





Diseño mecánico

- **Soporte principal**

El soporte principal del robot escalador está diseñado a una medida de 120 mm de largo, 29 mm de ancho y 33 mm de altura para que el motorreductor ingrese dentro del soporte y quede fijo para realizar el movimiento de las demás piezas, además de esto se incorporara la fuente de energía y la placa electrónica que ira cubierta encima del soporte, la altura total del robot es de 53mm [5].

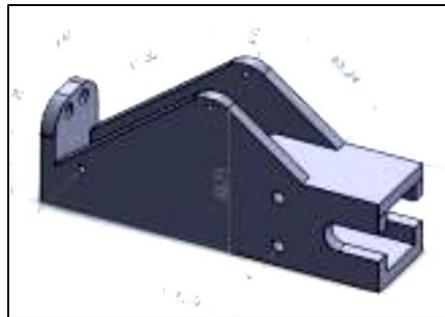


Figura 2. Base principal
Fuente: Sitio web
nexoscientificos.vidanueva.edu.ec

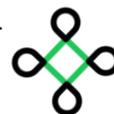
- **Extremidades**

Las extremidades están diseñadas a una medida de 38 mm de altura con un diámetro de 8 mm a cada lado [5].



Figura 3. Extremidades de apoyo.
Fuente: Sitio web
nexoscientificos.vidanueva.edu.ec





- **Extremidades**

Las extremidades del robot tendrán una dimensión de 115 mm, con una altura de 50 mm; el diámetro interno del orificio es de 2 mm para introducir la barra de sujeción para el giro de las patas [5].

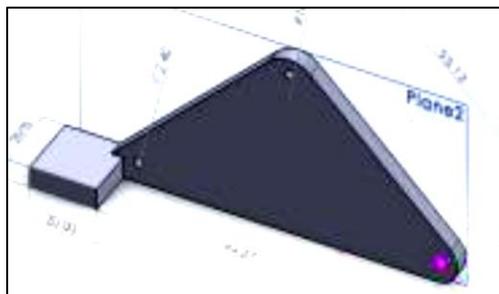


Figura 4. Patas de movimiento.
Fuente: Sitio web nexoscientificos.vidanueva.edu.

Resultados y discusión

Tabla 1. Características técnicas.

Característica	Descripción	Dimensiones
Largo	Longitud total	200mm
Ancho	Anchura	29mm
Peso	Peso total	0.5kg

Ecuaciones diferenciales

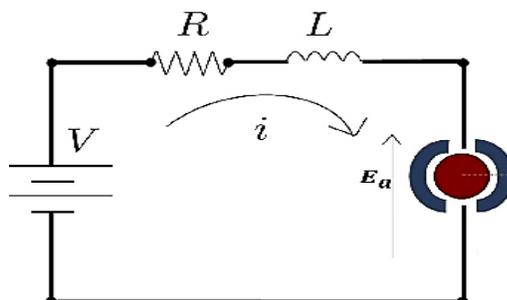
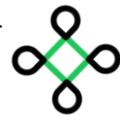


Figura 5. Circuito eléctrico





Modelado matemático del motor

Las siguientes ecuaciones describen la relación entre el voltaje aplicado al motor “ $v(t)$ ” y la corriente que fluye a través de él “ $i(t)$ ”. La primera ecuación muestra cómo el voltaje se divide en la resistencia “ $Ri(t)$ ”, la variación de corriente inductiva “ $L \frac{di(t)}{dt}$ ” y la fuerza contraelectromotriz “ $E_a(t)$ ”. La segunda ecuación reorganiza estos términos para encontrar la variación de corriente inductiva.

$$v(t) = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} + E_a(t) \tag{2}$$

$$L \frac{di(t)}{dt} = v(t) - Ri(t) - E_a(t) \tag{3}$$

Tabla 2. Variables matemáticas.

$V(t)$	Voltaje [volts]
$i(t)$	Corriente [Amperios]
$L \frac{di(t)}{dt}$	Inductancia [Henry]
$E_a(t)$	Fuerza contraelectromotriz [volts]

Desde aquí las pérdidas por fricción y parte de la energía desarrollada es almacenada como energía cinética en la masa girante del rotor. Estas ecuaciones modelan el comportamiento mecánico del sistema, relacionando el torque del motor “ $T_m(t)$ ” con la aceleración angular “ $\frac{dw(t)}{dt}$ ” y la velocidad angular “ $w(t)$ ”. La primera ecuación expresa cómo el torque afecta la aceleración angular y la velocidad angular del rotor, mientras que la segunda ecuación muestra cómo la aceleración angular está relacionada con el torque y la fricción.

$$T_m(t) = J \frac{dw(t)}{dt} + Bw(t) \tag{4}$$

$$J \frac{dw(t)}{dt} = T_m(t) - Bw(t) \tag{5}$$





Tabla 3. Variables matemáticas.

$T_m(t)$	Torque del motor de corriente continua
B	Coefficiente de fricción equivalente
J	Momento de inercia total del rotor y de la carga con relación al eje del motor
$w(t)$	Velocidad angular
$\frac{dw(t)}{dt}$	Aceleración angular.

Se proponen relaciones que permite la interacción de las ecuaciones:

Esta ecuación representa una propuesta clave para relacionar el voltaje inducido en la armadura “ $E_a(t)$ ” con la velocidad angular de giro del motor “ $w(t)$ ” mediante una constante de proporcionalidad “ K_a ”.

$$v(t) = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} + E_a(t) \text{ y } T_m(t) = J \frac{dw(t)}{dt} + Bw(t). \quad (6)$$

Una de dichas relaciones propuestas es asumir que existe una relación proporcional entre el voltaje inducido en la armadura y la velocidad angular de giro del motor, esto se expresa en la ecuación:

$$E_a(t) = K_a w(t) \quad (7)$$

La siguiente relación mecánica-eléctrica establece que el torque mecánico “ $T_m(t)$ ” generado por el motor es directamente proporcional a la corriente eléctrica “ $i(t)$ ” que fluye a través de él, con un coeficiente de proporcionalidad “ K_m ”.

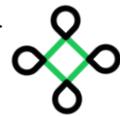
$$T_m(t) = K_m i(t) \quad (8)$$

Función de transferencia del motor de corriente continua DC

Aplicamos la transformada de Laplace a las ecuaciones $E_a(t)$, $T_m(t)$, $L \frac{di(t)}{dt}$, $J \frac{dw(t)}{dt}$.

$$Lsi(s) = v(s) - Ri(s) - E_a(s) \quad (9)$$





$$Js\omega(s) = T_m(s) - B\omega(s) \quad (10)$$

$$E_a(s) = K_a\omega(s) \quad (11)$$

$$T_m(s) = K_m i(s) \quad (12)$$

Sustituimos las ecuaciones que tengan relación

$$Ls \frac{T_m(s)}{K_m} = v(s) - R \frac{T_m(s)}{K_m} - K_a\omega(s) \quad (13)$$

$$v(s) = \frac{(R + Ls)T_m(s)}{K_m} + K_a\omega(s) \quad (14)$$

Obtenemos la velocidad angular con esta ecuación: $Js\omega(s) = T_m(s) - B\omega(s)$

$$\omega(s) = \frac{T_m(s)}{Js + B} \quad (15)$$

Sustituyendo la ecuación $\omega(s)$ en la $v(s)$

$$v(s) = \frac{(R + Ls)T_m(s)}{K_m} + K_a \frac{T_m(s)}{Js + B} \quad (16)$$

$$v(s) = \left(\frac{R + Ls}{K_m} + \frac{K_a}{Js + B} \right) T_m(s) \quad (17)$$

$$v(s) = \frac{(R + Ls)(Js + B) + K_a K_m}{K_m (Js + B)} T_m(s) \quad (18)$$

Obteniendo así la función de transferencia con respecto a la salida del motor (torque):
La ecuación presenta la función de transferencia que relaciona el torque del motor “ $T_m(s)$ ” con el voltaje aplicado al motor “ $v(s)$ ” en el dominio de la transformada de Laplace.





$$\frac{T_m(s)}{v(s)} = \frac{K_m(Js + B)}{LJs^2 + (RJ + LB)s + RB + K_mK_a} \quad (19)$$

De la manera como se ha desarrollado la ecuación (19). Es posible obtener funciones de transferencia como:

Función de transferencia de la fuerza contraelectromotriz con relación al voltaje:

$$\frac{E_a(s)}{v(s)} = \frac{K_mK_a}{LJs^2 + (RJ + LB)s + RB + K_mK_a} \quad (20)$$

Función de transferencia de la corriente de armadura con relación al voltaje:

$$\frac{i(s)}{v(s)} = \frac{Js + B}{LJs^2 + (RJ + LB)s + RB + K_mK_a} \quad (21)$$

Función de transferencia de la velocidad angular con relación al voltaje:

Se muestra la función de transferencia que vincula la velocidad angular “ $\omega(s)$ ” del motor con el voltaje aplicado “ $v(s)$ ”.

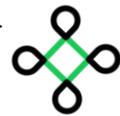
$$\frac{\omega(s)}{v(s)} = \frac{K_m}{LJs^2 + (RJ + LB)s + RB + K_mK_a} \quad (22)$$

La posición del motor de corriente directa DC:

Esta ecuación describe la función de transferencia que relaciona la posición angular del motor “ $\theta(s)$ ” con el voltaje aplicado “ $v(s)$ ”.

$$\frac{\theta(s)}{v(s)} = \frac{K_m}{s(LJs^2 + (RJ + LB)s + RB + K_mK_a)} \quad (23)$$





Modelo dinámico del sistema

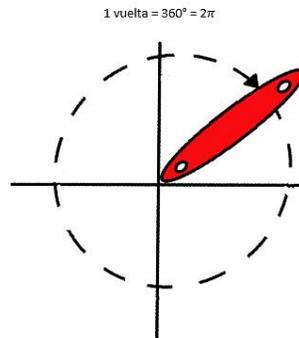


Figura 6. Modelo mecánico

Modelo matemático

$$P = T * \omega \quad (24)$$

$$P = \left(J \frac{dw(t)}{dt} + Bw(t) \right) * \left(\frac{E_a(t)}{K_a} \right) \quad (25)$$

$$P = T * \frac{n}{2\pi} \quad (26)$$

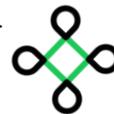
$$n = \frac{P(60)}{T2\pi} \quad (27)$$

$$n = \frac{\left(J \frac{dw(t)}{dt} + Bw(t) \right) \left(\frac{E_a(t)}{K_a} \right) (60)}{\left(J \frac{dw(t)}{dt} + Bw(t) \right) (2\pi)} \quad (28)$$

Función de transferencia

$$P(s) = (Js\omega(s) + B\omega(s)) * \left(\frac{E_a(s)}{K_a} \right) \quad (29)$$





$$n(s) = \frac{(Js\omega(s) + B\omega(s)) * \left(\frac{E_a(s)}{K_a}\right) (60)}{(Js\omega(s) + B\omega(s))(2\pi)} \quad (30)$$

$$n(s) = \frac{(Js\omega(s) + B\omega(s)) * \left(\frac{K_a\omega(s)}{K_a}\right) (60)}{T(2\pi)} \quad (31)$$

$$n(s) = \frac{(Js\omega(s) + B\omega(s)) * 60\omega(s)}{T(2\pi)} \quad (32)$$

$$n(s) = \frac{\omega(s) * (J + B) * 60}{T(2\pi)} \quad (33)$$

$$n(s) = \frac{\frac{T_m(s)}{Js + B} * (J + B) * 60}{T(2\pi)} \quad (34)$$

$$n(s) = \frac{T_m(s) * 60}{T(2\pi)} \quad (35)$$

$$\frac{n(s)}{T_m(s)} = \frac{60}{T(2\pi)} \quad (36)$$

Función de transferencia de la RPM con respecto al torque

Esta ecuación establece la función de transferencia que conecta las revoluciones por minuto “RPM” del motor “ $n(s)$ ” con el torque aplicado “ $T_m(s)$ ”.

$$\frac{n(s)}{T_m(s)} = \frac{60}{(Js\omega(s) + B\omega(s))(2\pi)} \quad (37)$$

Espacio de estado

A partir de las funciones de transferencia, podemos nombrar a nuestros estados como:

$$x_1 = \omega \quad (38)$$





$$\dot{x}_1 = \dot{\omega} \quad (39)$$

$$x_2 = i \quad (40)$$

$$\dot{x}_2 = \dot{i} \quad (41)$$

Usando las definiciones del espacio de estado, se tiene las siguientes ecuaciones que representan el modelo en espacio de estado del sistema, donde se relacionan las derivadas temporales de la velocidad angular (ω) y la corriente (i) con sus respectivas variables y el voltaje aplicado (v).

$$\dot{x}_1 = -\frac{B}{J}x_1 + \frac{K_m}{J}x_2 \quad (42)$$

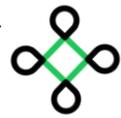
$$\dot{x}_2 = -\frac{R}{L}x_2 - \frac{K_a}{L}x_1 + \frac{1}{L}v \quad (43)$$

La representación de este modelo de un motor DC en espacio de estado es:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{B}{J} & \frac{K_m}{J} \\ -\frac{K_a}{L} & -\frac{R}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{L} \end{bmatrix} v \quad (44)$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (45)$$





Simulink

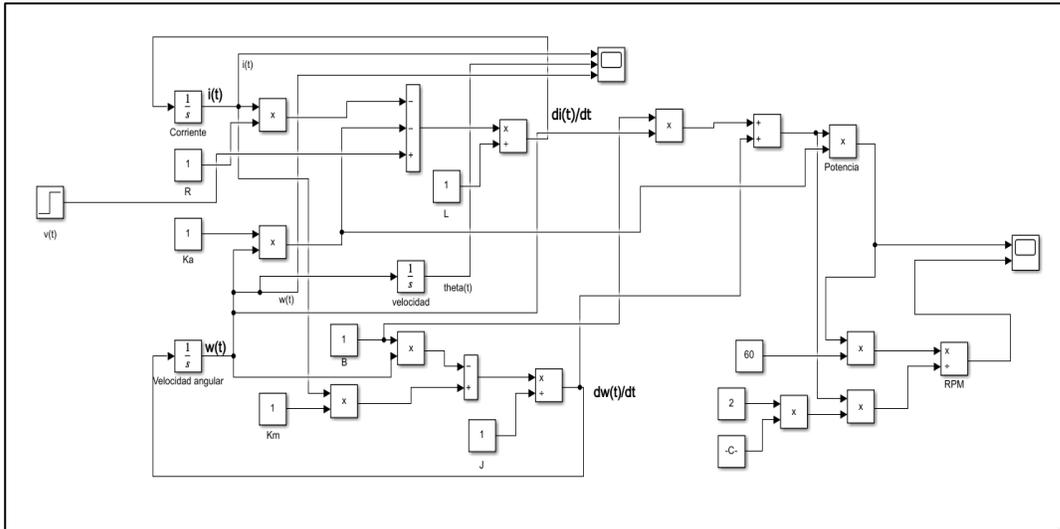


Figura 7. Diagrama en Simulink.



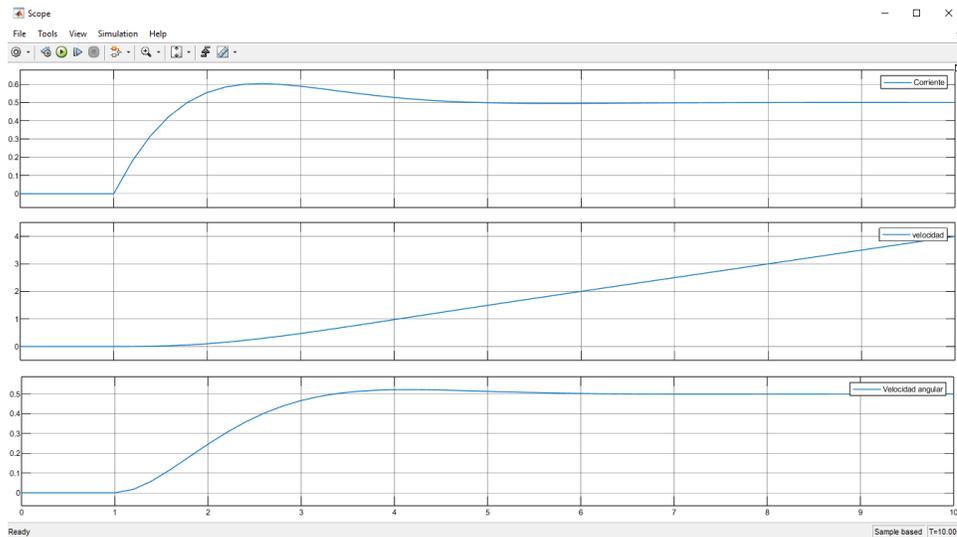
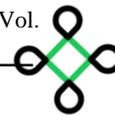
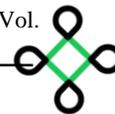


Figura 8. Gráfica de corriente, velocidad y velocidad angular.

Conclusiones

El diseño y desarrollo de un robot trepador para competencias educativas representa un desafío apasionante y altamente educativo. Nuestro enfoque en la selección de materiales, la electrónica y el diseño mecánico ha culminado en un robot trepador sea altamente competitivo y capaz. La combinación de componentes eficientes y algoritmos de navegación ha demostrado ser esencial para la implementación de este proyecto. A través de este proceso, hemos no solo logrado un robot trepador funcional, sino también un valioso recurso didáctico que inspira la curiosidad y el aprendizaje en el ámbito educativo. El éxito en su implementación valida la importancia de la investigación y la innovación en la formación de nuevas generaciones de ingenieros, subrayando la relevancia de abordar desafíos tecnológicos en contextos educativos. Este proyecto representa un paso significativo hacia la promoción del interés por la tecnología abriendo nuevas posibilidades para futuras investigaciones y desarrollos en el campo de la robótica educativa.





Referencias

- [1] A. O. Baturone, *Robotica Manipuladores y robots moviles*, España: Marcombo, 2001.
- [2] P. M. Almeida, «Uso de la robótica educativa como medio para favorecer la creatividad en la educación no formal,» *RiiTE Revista Interuniversitaria de Investigación en Tecnología Educativa*, 2021.
- [3] «arduino.cl,» MCI ELECTRONICS, [En línea]. Available: <https://arduino.cl/arduino-nano/>.
- [4] M. Á. Uvillus Chancusig, «Robot móvil para las competencias de insecto con obstáculos, sin obstáculos y trepador con corrección de trayectoria,» 2023. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24494>. [Último acceso: 6 10 2023].
- [5] T. Luis y M. Néstor, «Diseño y construcción de dos robots escaladores con normativas técnicas del Concurso Ecuatoriano de Robótica,» 2018. [En línea]. Available: <https://nexoscientificos.vidanueva.edu.ec/index.php/ojs/article/view/6/157>. [Último acceso: 6 10 2023].
- [6] S. H. B. y. M. A. T. Saif K. Mahmood, «Magnetic-type Climbing Wheeled Mobile Robot for Engineering Education,» [En línea]. Available: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/928/2/022145>.
- [7] A. H. A. G. A. M. J. M. Ú. D. R. Ó. Peidró, «Modelado dinámico y simulación de un robot trepador tipo serie con 4 grados de libertad,» 2016. [En línea]. Available: <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/29233>.
- [8] S. K. Saha, *Introducción a la robótica*, McGraw-Hill España.
- [9] T. B. C. H. & T. L. K. Berns, «Developing Climbing Robots for Education,» 2005. [En línea]. Available: <https://www.mendeley.com/catalogue/2d470922-4465-3a66-ba27-8730e4c863a3/>.
- [10] D. G. Andreas Goransson, *Professional Android Open Accessory Programming with Arduino*, Jhon Wiley & Sons, 2013.

