

## Robot para supervisión de zonas de difícil acceso

### *Robot for monitoring hard-to-reach areas*

- Recibido: 2024/03/11 - Aprobado: 2024/05/20 - Publicado: 2024/07/15

Chulde Stefania  
Instituto Superior Tecnológico de Tecnologías Apropriadas, Quito, Ecuador  
stefania.chulde@insta.edu.ec

Paredes Marcos  
Instituto Superior Tecnológico de Tecnologías Apropriadas, Quito, Ecuador  
marcos.paredes@insta.edu.ec

Castellanos Anet  
Instituto Superior Tecnológico de Tecnologías Apropriadas, Quito, Ecuador  
anet.castellanos@insta.edu.ec

Salazar Nelson  
Instituto Superior Tecnológico de Tecnologías Apropriadas, Quito, Ecuador  
nelson.salazar@insta.edu.ec

### **Resumen**

El presente documento presentó el diseño y construcción de un robot balancín capaz de ingresar a zonas de difícil acceso o de alto peligro para las personas. El objetivo fue fabricar un robot de dos ruedas que consiga mantener el equilibrio por sí mismo con la ayuda de un acelerómetro y un giroscopio, además de un control PID y que pueda ser controlado mediante el microcontrolador Arduino. Para el desarrollo de este proyecto se tuvo en cuenta conceptos sobre la teoría de control y de programación, además de considerar que los materiales de construcción fueran asequibles para la construcción del robot. El estudio concluyó que los robots balancines pueden ser programados y configurados para adaptarse a diferentes entornos y tareas lo cual los hace altamente flexibles y adaptables.

**Palabras clave:** Robot, balancín, Arduino, péndulo invertido, programación

## Abstract

This document presented the design and construction of a rocking robot capable of entering areas of difficult access or high danger for people. The objective was to manufacture a two-wheeled robot that manages to maintain balance on its own with the help of an accelerometer and a gyroscope, as well as PID control and that can be controlled using the Arduino microcontroller. For the development of this project, concepts about control and programming theory were considered, in addition to considering that the construction materials were affordable for the construction of the robot. The study concluded that rocker robots can be programmed and configured to adapt to different environments and tasks which makes them highly flexible and adaptable.

**Keywords:** Robot, seesaw, Arduino, inverted pendulum, programming

## Introducción

La tecnología evoluciona a pasos gigantescos y con el desarrollo de dispositivos más sofisticados, la creación de nuevos equipos que contribuyan a la sociedad y diversos eventos es una necesidad. Así surgió la propuesta del presente estudio que buscó diseñar y construir un robot balancín capaz de desplazarse e ingresar a zonas de difícil acceso.

Dentro del mundo de la robótica, existen diferentes propuestas de robots funcionales para trasladarse o recoger información. Sin embargo, el robot balancín posee características únicas como su capacidad de equilibrio, dinamismo, sistemas de identificación, entre otros.

En este estudio, se propuso el diseño, creación y programación de un robot balancín focalizado en su capacidad de movilizarse en zonas de difícil acceso. Se proyectó diseñar un robot de dos ruedas capaz de alcanzar el equilibrio tomando como referencia el principio del péndulo invertido. Este mecanismo trabajó con sistemas como un acelerómetro y un giroscopio, además de un control PID que pueda ser controlado mediante el microcontrolador Arduino.

Los robots estabilizadores son muy versátiles siendo aplicables en la industria, el hogar o situaciones de alto riesgo.

Algunas aplicaciones útiles de este tipo de robots en zonas de difícil acceso podrían ser:

- La inspección y mantenimiento de lugares peligrosos para humanos como plantas químicas, tuberías subterráneas, entre otras.
- Entrega de suministros en emergencias a áreas aisladas.
- Logística en almacenes.
- Monitoreo de infraestructura, tales como puentes, plantas de energía, refinerías, plataformas marítimas.
- Transporte de herramientas y materiales

Los robots balancín poseen diversas características ventajosas como su tamaño compacto que en combinación con un mecanismo de estabilización inteligente le permite un acceso singular a todo tipo de espacios estrechos y confinados, a los cuales una persona o un robot convencional no podrían ingresar. Dichos entornos van desde rincones difíciles de alcanzar dentro de un hogar; para inspeccionar el interior de maquinarias en entornos industriales o para acceder de forma segura a todo tipo de entornos peligrosos, estrechos o irregulares donde resulta complejo o riesgoso el desplazamiento humano (casas destruidas, estructuras irregulares, etc.). Su configuración con dos grandes ruedas a los costados, dotadas de motores eléctricos independientes, en conjunto con sofisticados sistemas de giroscopios, le permiten mantener el equilibrio y una tracción superior para transitar sin dificultades sobre todo tipo de pisos.

Estos robots representan soluciones ideales gracias a su tamaño compacto pero destaca su capacidad todo terreno, de carga y acceso para los más diversos propósitos en la vida diaria y laboral.

En este proyecto se aplicaron conceptos y teorías de diseño, fabricación, control y programación, además de conceptos. A continuación, se presentaron algunas revisiones bibliográficas y explicaciones para comprender mejor el proceso de construcción del robot balancín.

### **1.1. Marco Teórico**

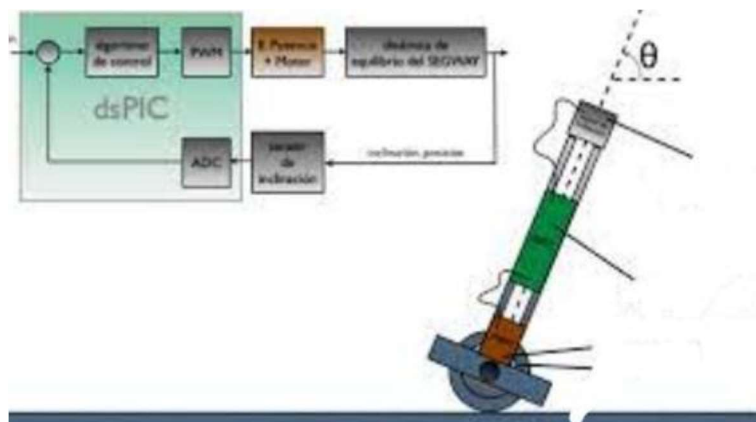
Un robot balancín es parte de la serie de robots móviles que tienen la capacidad de desplazarse por diferentes entornos de forma estable y recolectar información (Servín et al. 2022) Su uso es extendido, desde aplicaciones diarias como en rincones de difícil acceso en una casa hasta

exploraciones espaciales. El punto más importante es su funcionalidad en lugares de difícil acceso para humanos o robots más grandes.

Al ser utilizado en superficies irregulares, el mayor principio de un robot balancín es mantener el equilibrio de forma autónoma, es decir, mantenerse en vertical evitando caerse. El sistema que se aplica para cumplir este principio es el sensor de variación de ángulo de giro que cuando el sensor detecta variación en el ángulo ideal, el cual es el ángulo exacto para que el vehículo se mantenga equilibrado, reaccionan los motores moviéndose hacia la dirección indicada para evitar la caída.

### Figura 1

*Estabilidad del sistema y diagrama de bloques del funcionamiento del robot.*



Como se puede apreciar en la Figura 1, este sistema estará compuesto por tres etapas: control, sensado y potencia.

- **Control.** El microcontrolador es el encargado de recibir y gestionar correctamente la información recibida. También se encarga de generar la señal de control PID.
- **Sensado.** Ayudan a obtener la información de la posición y orientación del robot.
- **Potencia.** Con la ayuda de driver controlador de los motores se transmite a los mismos la potencia para mantener el equilibrio (Mazzone, 2022).

Dentro del sistema de desarrollo del robot balancín, se han necesitado varios componentes que permiten su construcción. En el presente estudio se explicaron de forma detallada cada uno de estos y su función dentro del dispositivo.

## 1.2. Puente H

Es un circuito electrónico que se utiliza para controlar el movimiento de motores, en particular, motores de corriente continua (DC). Su nombre se debe a la forma típica del circuito, que se asemeja a la letra «H». El principal objetivo del puente es permitir que un motor gire en ambas direcciones: hacia adelante y hacia atrás. Este circuito es ampliamente utilizado en robótica, vehículos eléctricos y otras aplicaciones que requieren el control bidireccional de motores. Está compuesto por transistores y diodos que permiten el control de la dirección y la velocidad del motor (Guamán y Villalba, 2013)

## 1.3. Giroscopio MPU6050

El MPU6050 es un sensor de movimiento que combina un acelerómetro de tres ejes y un giroscopio de tres ejes en el mismo chip. El acelerómetro mide la aceleración lineal, mientras que el giroscopio mide la velocidad angular. Se utiliza en aplicaciones de navegación, goniometría, estabilización, entre otras. El MPU6050 posee una librería muy difundida para su uso inmediato, por esta razón para su programación en Arduino, se pueden utilizar las librerías correspondientes y configurar los rangos de medición para el acelerómetro y el giroscopio (Naylamp,sf)

También gracias a su interfaz permite controlar sensores externos adicionales como magnetómetros o barómetros. El sensor proporciona lecturas de velocidad de rotación y aceleración en los tres ejes de movimiento. Su uso se ha popularizado en el ámbito de la electrónica y la robótica (Rojas, 2019)

## 1.4. Batería LiPo 11,1V

Las baterías LiPo (iones de litio polímero) de 11.1V son comúnmente utilizadas en aplicaciones de airsoft y otros dispositivos electrónicos. Estas baterías son ampliamente usadas en proyectos de RC y Robótica pues ofrecen un destacable equilibrio entre volumen, potencia, tensión y rendimiento (Turbo Hoby, sf).

Las baterías LiPo vienen en diferentes capacidades, como 1200mAh, 1500mAh y 2300mAh, y con diferentes tasas de descarga. La designación 11.1V se refiere a su voltaje nominal, que es adecuado para dispositivos que requieren una fuente de alimentación de 11.1 voltios. Estas baterías vienen

en varios formatos, como tipo stick, tipo lápiz, tipo nunchaku y tipo PEQ, lo que las hace aptas para diferentes espacios de alojamiento en distintos dispositivos.

Una de las características más destacables de las baterías es su capacidad y duración. Se presentan como baterías más ligeras con menos volumen y con mayor capacidad.

En el caso de este proyecto, se utilizó dicha batería con 1800mAh ya que esta puede proporcionar una estimación de tiempo de duración de 1,30 horas (Paguay y Quinatoa, 2018)

### **1.5. Control PID**

El Control PID es una de las piezas clave que se está usando ampliamente en el mundo de los controladores. Su sistema de predicción automática ofrece la posibilidad de dominar el tiempo de respuesta y aumentar la precisión en la respuesta (Rethinking, 2022)

El control PID tiene un algoritmo de control que consta de tres parámetros: proporcional, integral y derivativo. Se utiliza para controlar procesos y sistemas, y su respuesta puede describirse en términos de la reacción del controlador ante un error, el sobrepaso del punto de ajuste y la oscilación del sistema.

Entre sus principales ventajas está la disminución del tiempo para una respuesta, además de obtener respuestas más precisas. Además, reduce fallos como vibraciones o falta de equilibrio y también alcanza un ajuste preciso de forma automática.

Estas características son fundamentales para su aplicación en el diseño del robot balancín propuesto en esta investigación.

No obstante, cabe señalar que aunque el control PID es ampliamente aplicable, puede tener limitaciones en ciertas situaciones y su desempeño puede mejorarse combinándolo con otros sistemas de control (Bencomo, 2008)

### **1.6. Arduino UNO**

El Arduino UNO es una placa de microcontrolador de código abierto basada en el microchip ATmega328P. Arduino está basada en hardware y software libre, flexible y fácil de utilizar para los creadores y desarrolladores (Arduino, 2022)

Esta placa es la más usada y documentada del mundo, cuenta con 14 pines de entradas/salidas digitales, 6 entradas analógicas, un cristal de cuarzo, conexión USB y botón de reinicio.

Los microcontroladores de Arduino consisten en una serie de circuitos integrados en los que se pueden grabar instrucciones. Las instrucciones se escriben en lenguaje de programación y permiten crear programas que interactúan con los circuitos de la placa. La información ingresada se llevará a un interfaz de salida como pantallas o altavoces para ejecutar las instrucciones (Fernández, 2022)

Arduino UNO es ampliamente utilizado para el desarrollo de objetos autónomos e interactivos, prototipos y proyectos de electrónica y robótica debido a su facilidad de aplicación. El dispositivo tiene toda la electrónica necesaria para que el microcontrolador opere, simplemente hay que conectarlo a la energía por el puerto USB o con un transformador AC-DC (Gutierrez, 2007)

## Metodología

Esta investigación se realizó a partir de la revisión bibliográfica que apoyó la construcción del marco teórico y una investigación de tipo experimental donde se realizó la aplicación técnica de los conceptos en el desarrollo del robot balancín. El marco teórico consistió en recopilación de antecedentes, investigaciones previas y consideraciones teóricas en las que se sustenta un proyecto de investigación. Así, también se definió a qué disciplina pertenece el objeto de estudio, los conceptos relevantes y el fenómeno que se desea investigar (Fernandes, 2023)

La investigación hizo una descripción detallada de los componentes que integran el robot balancín a construirse. En el marco teórico, se recopilaron las funcionalidades de cada elemento para comprender su rol dentro del funcionamiento del dispositivo.

Para el desarrollo del robot para supervisión de zonas de difícil acceso, se hizo un trabajo práctico que puso en práctica las principales áreas de la robótica como los principios de péndulo invertido, teoría de control y programación, para construir el sistema y someterlo a pruebas. A continuación, se presenta la lista de materiales utilizados en el proyecto.

**Tabla 1**

*Presupuesto de Materiales*

Materiales	Can.	Precio	Total
Arduino	1	\$12.00	\$12.00
Motores DC	2	\$4.00	\$8.00
Ruedas de tracción	2	\$3.00	\$6.00
Bateria 9V	1	\$6	\$6.00
Puente H	1	\$5.00	\$5.00
Protoboard	1	\$2.50	\$2.50
Giroscopio	1	\$10.00	\$10.00
Bateria Lipo	1	\$15.00	\$15.00
Tabla 10x10cm	1	\$3,00	\$3.00
<b>TOTAL</b>		\$67.50	

## Resultados

### 3.1. Desarrollo del Robot

Previo al desarrollo y construcción del robot balancín, se deben considerar varios aspectos como los diámetros de las ruedas, el material del dispositivo, su correcto peso, entre otros.

Para la construcción de las ruedas, se tomó en cuenta que las dimensiones de las mismas no podían ser demasiad altas y bajas pues esto afectaría la movilidad del robot en los espacios de difícil acceso y, siendo este el objetivo principal del proyecto, fue un aspecto muy importante a considerar.

Asimismo, para facilitar la traslación del sistema robótico se debió planificar la disposición de los diferentes componentes. En el caso de las baterías, estas no podía quedar en la parte inferior del robot, pues al deslizarse en superficies irregulares podrían caerse, golpearse y dejar de funcionar. En esta lógica, también se evaluó la calidad y peso del material. El robot balancín es un dispositivo cuya mayor característica consiste en su capacidad de equilibrarse de forma autónoma para lo cual se requiere construir un dispositivo ligero que facilite el cambio de rotación y reprogramación del eje cuando sea necesario. Materiales pesados podrían dificultar el balance del sistema.

Durante la fase de diseño se realizó un prototipo gráfico del robot balancín tomando en cuenta la estructura del sistema y asegurando que los pesos estén bien repartidos para que no afecte el centro de gravedad. El diseño se puede apreciar en la Figura 2.

**Figura 2**

*Esquema de centro de gravedad estable.*

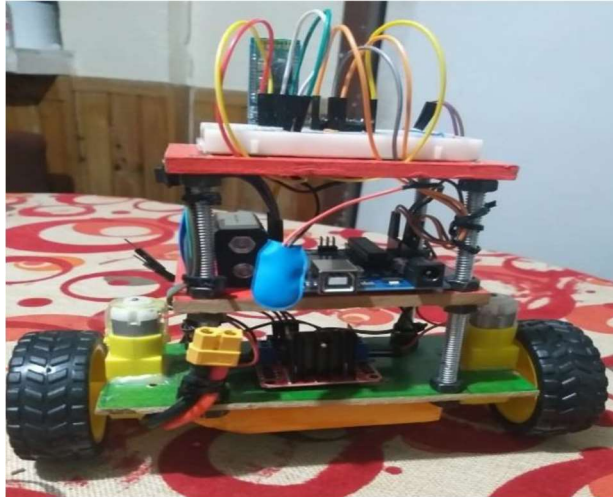


Para diseñar el control adecuado, se requiere contar con un modelo preciso del mismo, ya que debido al peso o la mala posición de los elementos puede ser relevante para el funcionamiento del robot. Por eso, se deben considerar los aciertos y errores al momento del armado del proyecto.

Una vez que el diseño estuvo se listo, se procedió a la construcción material del robot balancín tomando como componentes todos los materiales descritos anteriormente. En la Figura 3, se presenta el robot visto desde su perspectiva frontal.

**Figura 3.**

*Robot balancín parte frontal.*



Aquí se puede apreciar que las ruedas y la batería cumplen las disposiciones descritas al inicio de este apartado.

También se cuenta con la vista lateral del prototipo en la Figura 4.

**Figura 4.**

*Robot balancín parte lateral.*



Finalmente, en la Figura 5 se muestra la parte trasera del dispositivo construido.

**Figura 5.**

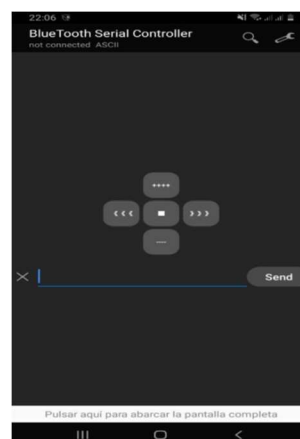
*Robot balancín Parte trasera.*



Por otra parte, se realizaron los procesos de control y programación del dispositivo para su funcionamiento vía bluetooth. Vemos parte del proceso en las figuras 6 y 7.

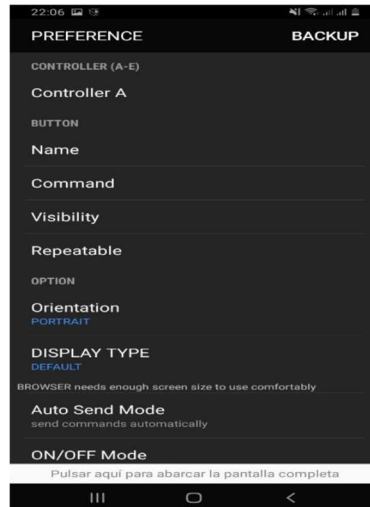
**Figura 6.**

*Control Bluetooth.*



**Figura 7.**

*Configuración del control Bluetooth.*



## Conclusiones

La implementación de un robot balancín para realizar tareas peligrosas puede ayudar a proteger la seguridad de los trabajadores al evitar que se expongan a situaciones de riesgo. El robot puede realizar tareas en entornos peligrosos o difíciles de alcanzar, lo que reduce la posibilidad de accidentes o lesiones. La investigación comprobó que el centro de gravedad de la estructura del robot balancín es fundamental ya que de eso depende la estabilidad del sistema de control. También se estableció que para proyectos de este tipo es importante conocer el concepto de péndulo invertido.

Un robot balancín bien implementado puede realizar tareas de manera más eficiente y rápida que los seres humanos. Esto puede resultar en una mayor productividad y un menor tiempo de ejecución de las tareas peligrosas, lo que a su vez puede llevar a una mayor eficiencia en general. Asimismo, la implementación de un robot balancín puede ayudar a reducir los costos asociados con la realización de tareas peligrosas. Al automatizar estas tareas, se pueden reducir los gastos relacionados con la seguridad y la protección de los trabajadores.

Haciendo referencia al proceso de construcción del robot, se concluyó que los materiales para su desarrollo deben ser ligeros para que su control sea fácil. Además, el centro de gravedad de la estructura del robot es necesario ya que de eso depende el equilibrio del robot. Finalmente, se debe considerar que durante la programación se debe tener cargadas las librerías en el sistema de software Arduino.

Los robots balancines pueden ser programados y configurados para adaptarse a diferentes entornos y tareas. Esto los hace altamente flexibles y adaptables. Además, pueden ser equipados con sensores y sistemas de detección para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente.

## Referencias

Arduino. Arduino UNO [Online]. Available: <https://arduino.cl/arduino-uno/>

Bencomo, S. D. , Controladores PID, España: Departamento de informática y automática, UNED, 2008.

Fernández, Y. (23 septiembre de 2022). Qué es Arduino, cómo funciona y qué puedes hacer con uno [Online]. Available: <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>

Fernandes A. (16 de noviembre de 2023). Marco Teórico [Online]. Available: <https://www.significados.com/marco-teorico/>

Gutiérrez, J. M., “Arduino:Manual de Programación”, California: Creative Commons , 2007.

Guamán, R. y Villalba A, “Diseño y construcción de un controlador inalámbrico a través de microprocesadores para el funcionamiento de un automóvil eléctrico”, tesis de grado, Universidad Politécnica Nacional, Quito, 2013.

Mazzone V, Controladores PID. Argentina: Universidad de Quilmes, 2002.

Naylamp Mechatronics. Tutorial MPU6050, Acelerómetro y Giroscopio [Online]. Available: [https://naylampmechatronics.com/blog/45\\_tutorial-mpu6050-acelerometro-y-giroscopio.html](https://naylampmechatronics.com/blog/45_tutorial-mpu6050-acelerometro-y-giroscopio.html)

- Núñez, L., & Toasa, R. M. (2020, June). Performance evaluation of RTMP, RTSP and HLS protocols for IPTV in mobile networks. In *2020 15th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)* (pp. 1-5). IEEE.
- Paguay C. y Quinatoa, K., “Diseño e implementación de un sistema de potencia portátil basado en sistemas microprocesados para la administración del suministro de energía para equipos existentes en el laboratorio de uavs y aplicaciones ópticas”, tesis de grado, Universidad Politécnica Nacional, Quito, 2018.
- Rojas, A., “Implementación de un sistema sensorico para capturar el movimiento de un brazo, con el fin de controlar un sistema dinámico, tesis de grado”, Visión Electrónica, 2019.
- Rethinking the future (18 de agosto de 2022). ¿Qué es el control PID? Sus aplicaciones en la Industria 4.0 [Online]. Available: [https://mintforpeople.com/noticias/que-es-control-pid/#%C2%BFQue\\_es\\_un\\_control\\_PID\\_y\\_como\\_funciona](https://mintforpeople.com/noticias/que-es-control-pid/#%C2%BFQue_es_un_control_PID_y_como_funciona)
- Servín G., Ahisamac J., Echeverría A, (9 de diciembre de 2022). Robot balancín (péndulo invertido) prototipo escolar [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/374868425\\_ROBOT\\_BALANCIN\\_PENDULO\\_INVERTIDO](https://www.researchgate.net/publication/374868425_ROBOT_BALANCIN_PENDULO_INVERTIDO)
- Turbo Hobby. Baterías LIPO: qué son y cómo usarlas [Online]. Available: [https://turbohobby.com/blog/6\\_manual-baterias-lipo.html](https://turbohobby.com/blog/6_manual-baterias-lipo.html)

Copyright (2024) © Chulde Stefania, Paredes Marcos, Castellanos Anet, Salazar Nelson

Este texto está protegido bajo una licencia internacional Creative Commons 4.0.



Usted tiene libertad de Compartir—copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento — remezclar, transformar y crear a partir del material—para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla las condiciones de Atribución. Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) – [Texto completo de la licencia](#)