

# Desarrollo mecatrónico de un robot seguidor de línea

## Mechatronic development of a line follower robot

William Alexander Cuevas Carrero<sup>1</sup>

*Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia*

Juan David Cuevas Carrero<sup>2</sup>

*Escuela de Comunicaciones Militares, Colombia*

### Resumen

En este documento se presenta el desarrollo electrónico y mecánico de un robot seguidor de línea, el cual está integrado por un sistema de adquisición de información con un arreglo de dieciséis sensores reflectivos QRE1113, un sistema de procesamiento a partir de un microcontrolador ATMEGA 328, un sistema de locomoción por medio de motorreductores con escobillas, un sistema de potencia mediante un driver TB6612FNG y un sistema de alimentación autónomo por medio de baterías LiPo. Finalmente, se presenta la integración de componentes, el desarrollo de algoritmos y las pruebas efectuadas, presentando como parámetros óptimos del sistema de control, velocidad de 1.860 RPM, constante proporcional 0.2, constante integral 0.001 y constante derivativa 5 logrando un tiempo de 10.1 segundos sobre el recorrido de prueba.

**Palabras clave:** control de robots, robots educativos, programación de robots, sistemas autónomos, sistema de montaje de robots, seguimiento de trayectoria.

### Abstract

This paper presents the electronic and mechanical development of a line follower robot, which is integrated by an information acquisition system with an array of sixteen QRE1113 reflective sensors, a processing system based on ATMEGA 328 microcontroller, a locomotion system by means of brushed motors, a power system by means of TB6612FNG driver and an autonomous power system by means of LiPo batteries. Finally, the integration of components, the development of algorithms and the tests carried out are presented, presenting as optimal parameters of the control system, speed of 1860 RPM, proportional constant 0.2, integral constant 0.001 and derivative constant 5, achieving a time of 10.1 seconds over the test ride.

---

<sup>1</sup> Ingeniero electrónico, magíster en Ingeniería, <https://orcid.org/0000-0002-2852-5525/>  
william.cuevas@unad.edu.co

<sup>2</sup> Ingeniero mecatrónico, Comando de Educación y Doctrina.  
<https://orcid.org/0009-0005-3224-8988/> juancuevascarrero@cedoc.edu.co

**Keywords:** Assembly system robots, educational robots, robot control, robot programming, autonomous systems, trajectory tracking.

## 1. Introducción

La robótica ha evolucionado rápidamente en los últimos años, y hoy en día es una disciplina clave en la automatización de procesos en diversos campos, como la industria manufacturera, la agricultura, la medicina y la exploración espacial (Guarnizo Marin *et al.*, 2021). Uno de los tipos de robots más populares son los robots seguidores de línea, los cuales pueden seguir una ruta predefinida en una superficie utilizando sensores y algoritmos de control. Estos robots son utilizados en una gran variedad de aplicaciones, desde la automatización de procesos industriales por su precisión, eficiencia y seguridad, así como en educación e investigación, permitiendo a los docentes enseñar y aplicar de forma práctica conceptos básicos de electrónica, robótica y programación (Madrigal Moreno & Muñoz Ceballos, 2019).

## 2. Metodología

El desarrollo mecatrónico del robot seguidor de línea realizado por los semilleros de investigación Electron-Volt y WTE pertenecientes a los grupos de investigación Davinci-UNAD y GICMIL-ESCOM respectivamente, fue orientado bajo la metodología cuantitativa ya que se hizo la recolección y análisis de información disponible en fuentes académicas y en hojas de datos de los fabricantes de los dispositivos electrónicos como mecánicos; así mismo, se empleó un enfoque experimental para la evaluación y análisis del desempeño del robot en cada una de las pruebas realizadas, donde se mantuvo de forma controlada variables como la velocidad máxima de los motores e iluminación de la superficie de la pista; de esta manera se logró verificar la eficiencia del algoritmo de captura y procesamiento de información, así como la respuesta de control sobre los actuadores. Para lograr este desarrollo siguieron los siguientes pasos:

**Análisis de requisitos:** antes de comenzar el proceso de desarrollo, fue importante analizar y definir los requisitos electrónicos como mecánicos del robot, cuyo objetivo consiste en que el mismo, siga una trayectoria demarcada por una línea negra de dos centímetros sobre un fondo blanco de madera, de tal forma que este lograra completar el recorrido sin desviarse de la trayectoria en el menor tiempo posible, por medio de un control sobre la velocidad y estabilidad de los motores, censando continuamente la posición de la regleta de sensores para determinar el error de desvío frente al origen.

**Diseño del sistema:** para cumplir con el objetivo el robot requiere como mínimo los siguientes elementos: un sistema de adquisición de información con al menos dos sensores ópticos reflectivos para determinar el color de la superficie, teniendo en cuenta que el fondo blanco refleja la luz, mientras que la cinta negra la absorbe; un sistema de procesamiento lógico, el cual puede partir desde componentes electrónicos discretos básicos como diodos, transistores y resistencias hasta dispositivos programables como microcontroladores o microprocesadores; un sistema de locomoción que le permita desplazarse sobre la superficie de manera eficiente, por lo que usualmente se emplean motores de corriente

continua de bajo tamaño y alta velocidad; un driver de potencia, el cual permite controlar el sistema de locomoción desde el sistema de procesamiento lógico, dado que sus señales son por lo general de no más de 5 voltios y máximo 500 miliamperios y los motores requieren mayores niveles de voltaje y corriente debido a su consumo de potencia; una fuente de alimentación interna que puede estar dada por baterías desechables o baterías recargables y finalmente, una estructura que permita integrar los diferentes sistemas del robot.

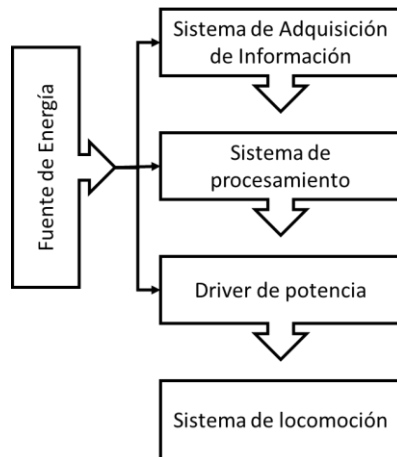


Figura 1. Diseño del sistema.

### 3. Discusión

Partiendo de la metodología anterior, se procedió a realizar las siguientes etapas para el desarrollo del robot seguidor de línea.

#### Selección de componentes:

- Sistema de adquisición de información: se eligió un arreglo de dieciséis sensores reflectivos QRE1113 para tener mayor resolución sobre la lectura de la posición del robot frente a la trayectoria. Con este arreglo se pasa de tener solo cuatro estados posibles cuando se utilizan dos sensores a sesenta y cinco mil quinientos treinta y seis (65536) estados posibles con los dieciséis sensores, aplicando el arreglo de  $2^n$ , siendo  $n$  el número de sensores (Barrera.ino, 2022).
- Sistema de procesamiento: de acuerdo a los requerimientos del hardware se necesitaban cuatro salidas digitales para controlar el multiplexor 74hc4067 de la barra de sensores, una entrada análoga para la lectura de los mismos, dos salidas digitales para el control de giro de los motores, dos salidas digitales PWM (modulación por ancho de pulso) para el control de velocidad de los motores, dos salidas digitales para verificación de estados del algoritmo mediante led y una entrada digital para poner en marcha o parar el robot. Bajo esas especificaciones se determinó que, por tamaño, capacidad de procesamiento y optimización de código, el microcontrolador ATMEGA 328 cumplía a cabalidad con las características necesarias para este, por lo que se seleccionó un Arduino nano, el cual tiene como procesador al ATMEGA328 de

montaje superficial e incluye periféricos para programación y alimentación en el hardware reduciendo los costos de fabricación (Ja-Bots, 2022).

- Motores DC: para el sistema de locomoción del robot se escogieron dos motorreductores con escobillas de 0.22Kg/cm en torque y 3100 RPM de velocidad, los cuales requieren una fuente de alimentación de 6 voltios y 1.5 amperios en corriente nominal para su óptimo funcionamiento (Pololu, s. f.).
- Driver de potencia: de acuerdo a los requerimientos de potencia de los motores anteriores, fue elegido el módulo TB6612FNG ya que este cuenta con modalidad de operación dual, permitiendo el control independiente de cada motor y su área no excede los 4 Cm<sup>2</sup>. (Vistrónica, s. f.)
- Sistema de alimentación: con el fin de brindar autonomía energética al robot, se empleó una batería LiPo de 7 Voltios y 300 mili Amperios con capacidad de descarga de 70C, permitiendo operar al robot por un tiempo aproximado de seis minutos.

### Integración de componentes:

Una vez seleccionados los componentes anteriores, se realizó el diseño del esquemático y el layout correspondiente y se procedió a la fabricación de la tarjeta de circuito impreso, la cual fue empleada como chasis para el robot y sobre esta, se integraron cada uno de los elementos logrando la correcta interacción del sistema.

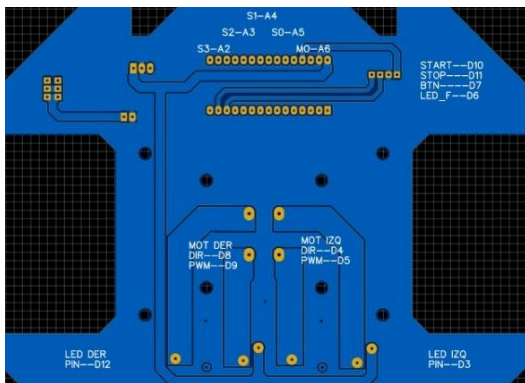


Figura 2. Tarjeta de circuito impreso.

### Programación del robot:

El código empleado para establecer el comportamiento del robot seguidor de línea fue desarrollado en lenguaje C mediante el compilador Arduino, iniciando con la rutina de lectura de la posición del robot sobre la línea, además se estableció un set point con base en el valor leído cuando el robot se encuentra en el centro, posteriormente se realizó una rutina para calcular el error entre la nueva posición y el set point y partiendo del error, se desarrolló la rutina para el control de velocidad y giro de los motores empleando un

algoritmo PID, el cual permite la corrección rápida de posición en el caso de desvío del robot frente a la línea.

### Pruebas y depuración:

Una vez integrado y programado el robot se procedió a las pruebas de funcionamiento del robot, donde por medio de sintonización experimental de las constantes del algoritmo del PID y la velocidad máxima de los motores se llegó a los siguientes resultados.

**Tabla 01. Desempeño del robot seguidor de línea**

Velocidad (%)	KP	KI	KD	Tiempo (s [segundo])	Análisis cualitativo
40	0.18	0.002	4.5	15.3	El robot realiza y finaliza el recorrido de forma lenta.
60	0.18	0.002	4.5	12.7	El robot mejora el tiempo sin embargo oscila durante el recorrido.
60	0.2	0.001	5	10.1	Se disminuyen las oscilaciones por lo que el robot mejora el tiempo.
80	0.2	0.001	5	---	Durante las rectas el robot logra avanzar, pero se sale al llegar a una curva, si se lanza en curvas el robot logra hacer transición de curva a recta, pero en la transición de recta a curva se vuelve a salir.

De la tabla anterior se puede inferir que la velocidad máxima para el robot es de 1.860 RPM, siendo este valor el 60 % de las 3.100 RPM de los motores. Por otra parte, es importante tener una constante integral cercana a cero para evitar el control brusco sobre el robot

### Mejoras y optimización:

Como parte del proceso de optimización para el robot, se sugiere emplear un sistema con mayor tracción sobre la pista, puede ser un sistema de doble rueda por motor o una turbina de succión que adhiera el robot a esta. Así mismo, realizar más pruebas de parámetros de control que permitan mejorar el rendimiento del prototipo.

## 4. Conclusiones

El desarrollo del robot seguidor de línea permitió a los estudiantes de los semilleros Electron-Volt y WTE, apropiarse de forma práctica los conceptos de diseño electrónico como mecánico, sintonización de controladores y desarrollo de algoritmos en lenguaje C.

Se cuenta con un prototipo eficiente y de competencia, para representar a las instituciones en diferentes eventos nacionales como internacionales, generando espacios de intercambio de culturas y conocimientos a los estudiantes de los semilleros.

## Referencias

- Barrera.ino (2022). *Barra de 16 sensores optoreflexivos (QRE1113)* [tienda electrónica].  
<https://barreraino.co/producto/barra-de-16-sensores-optoreflexivos-qre1113/>
- Guarnizo Marin, J. G., Bautista Díaz, D., & Sierra Torres, J. S. (2021). *Una revisión sobre la evolución de la robótica móvil*. Universidad Santo Tomás.  
<https://repository.usta.edu.co/handle/11634/34565>
- Ja-Bots. (2022). *Arduino Nano*. <https://ja-bots.com/producto/arduino-nano-v3-0-cable-de-conexion/>
- Madrigal Moreno, S. A. & Muñoz Ceballos, N. D. (2019). Vehículos de guiado autónomo (AGV) en aplicaciones industriales: Una revisión. *Revista Politécnica*, 15(28), 117-137.
- Pololu. (s. f.). *10:1 Micro Metal Gearmotor HP 6V* [tienda electrónica].  
<https://www.pololu.com/product/999>
- Vistrónica. (s. f.). *Módulo TB6612FNG para control de motores* [tienda electrónica].  
<https://www.vistronica.com/robotica/motores/drivers-de-motores/modulo-tb6612fng-para-control-de-motores-detail.html>