



Tecnológico de Monterrey

Escuela de Ingeniería y Ciencias

Campus Monterrey

Evidencia 2. Methodology for Designing a Discrete Controller Applied in an Embedded System

Carlos Antonio Valadez Cisneros A01568993

Raúl Alan Mayagoitia A01563069

Adolfo Cisneros Verduzco A01563159

Santiago Torres Illescas A01369792

23 oct 2024

Diseño de sistemas de control (Gpo 401)

Docente: Dr. Juan Carlos Tudón, PhD.

Controlador Implementado

El controlador PID implementado se desarrolló a través de un proceso que incluyó investigaciones, pruebas de respuesta escalón (step), secuencias pseudoaleatorias (PRBS) y el uso de herramientas como MATLAB y Arduino IDE. Primero se realizó el modelado del sistema, considerando características clave como la relación entre el voltaje y la velocidad de los motores, así como la modelación matemática del comportamiento del carrito.

Posteriormente, el código fue adaptado al carrito a partir de un ejemplo proporcionado por el profesor, modificándolo para ajustarse a las necesidades y especificaciones particulares del sistema. Los parámetros del PID se ajustaron mediante un proceso de sintonización basado tanto en los requerimientos como en las pruebas experimentales realizadas, logrando optimizar la respuesta del sistema. Nuestros parámetros fueron $K_p = 3.6$, $K_i = 0.8$, $K_d = 0.9$

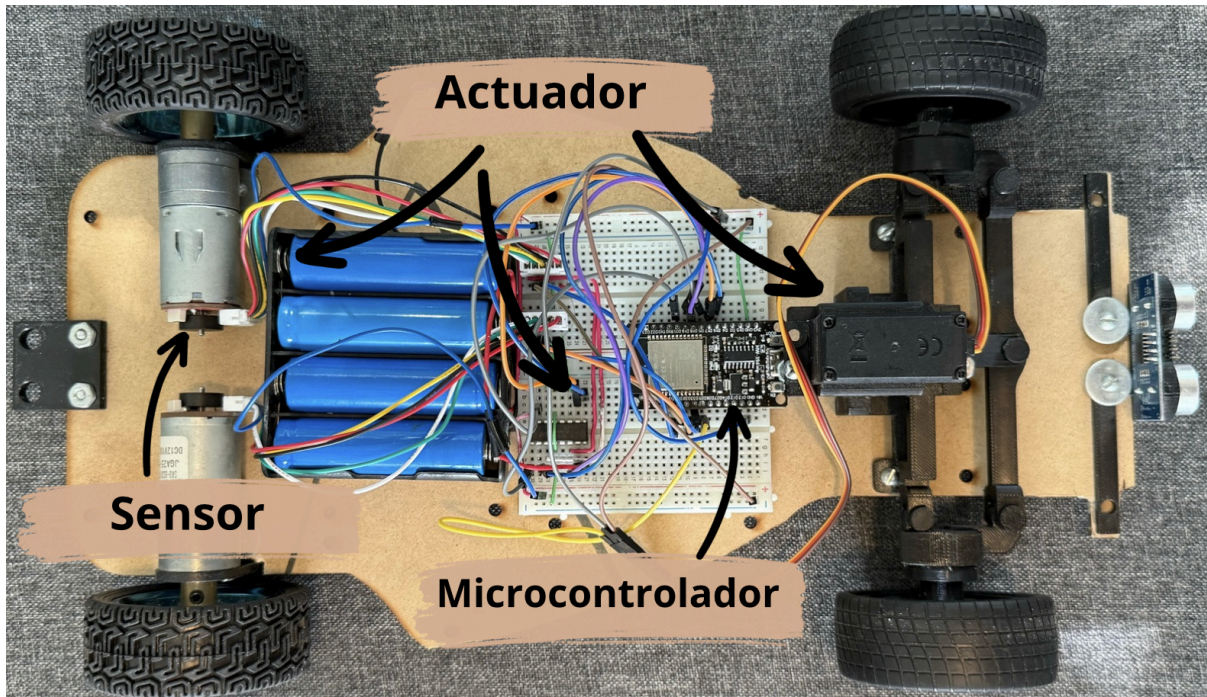
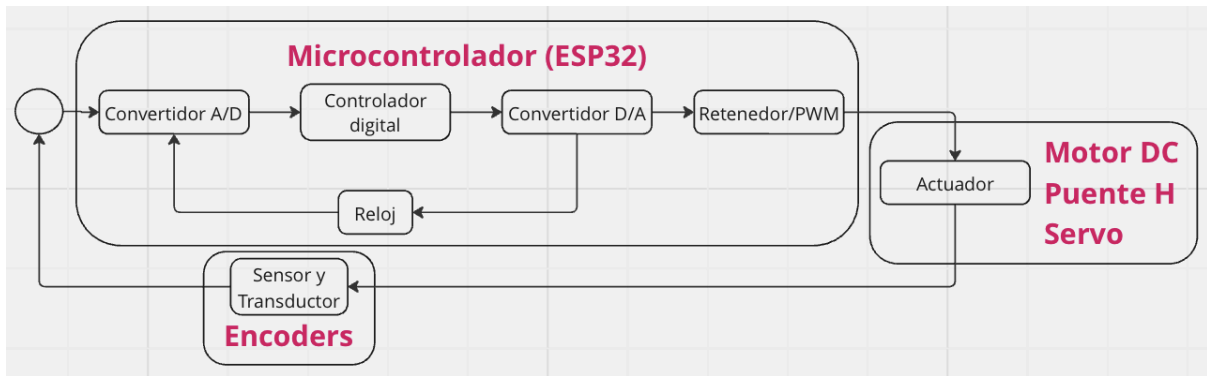
Optamos por este modelo PID porque satisface la necesidad de reducir las RPM al detectar curvas, mejorando el control y la estabilidad del carrito. La sintonización basada en pruebas experimentales demostró ser una opción eficaz, especialmente en sistemas donde la variabilidad o la complejidad hacen innecesario el uso de métodos más formales y rígidos.

Diagrama de bloques

El sistema experimental consiste en un carro automatizado controlado por un ESP32, el cual ajusta la velocidad y la dirección de dos motores DC utilizando un puente H L293D. Los motores están equipados con encoders que miden la velocidad en RPM. La entrada al sistema es la señal PWM generada por el ESP32, que controla la potencia suministrada a los motores, mientras que la salida son las RPM de los motores calculadas a partir de los pulsos del encoder.

Componentes Principales

- **Motores DC con encoders:** Miden la velocidad del motor en pulsos por revolución (PPR = 231) y convierten esos pulsos en datos de RPM.
- **Puente H L293D:** Controla la dirección y velocidad de los motores utilizando señales PWM generadas por el ESP32.
- **ESP32:** Controla el sistema, genera la señal PRBS o de escalón, recibe los datos de los encoders, y convierte los pulsos en RPM.
- **Servo motor:** Controla la dirección del carro.



Lazos cerrados, implementados y comportamientos

- Descripción del lazo cerrado implementado

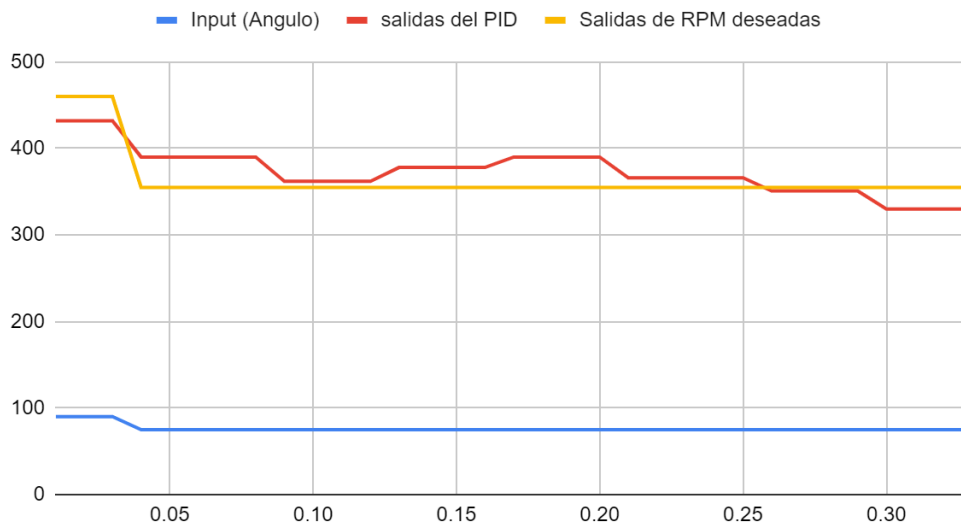
En el sistema que controla un carrito seguidor de línea, se ha implementado un lazo de control PID en configuración de lazo cerrado. El objetivo principal de este sistema es regular la velocidad de los motores en función de la información proporcionada por los encoders, ajustando de manera precisa las RPM de los motores para seguir una trayectoria predeterminada y mantenerse estable en línea recta o cuando se detectan curvas.

El lazo cerrado consiste en:

1. **Entrada (Ángulo)**
2. **Controlador PID**
3. **Actuadores (Motores DC con encoders)**

- Comportamiento del sistema

Input (Angulo), salidas del PID y salidas de RPM deseadas



- **Estabilidad:** En la mayor parte del tiempo, el sistema PID logra mantener las **salidas de RPM deseadas** (línea amarilla) muy cerca de los valores esperados.
- **Regulación en curvas:** Dado que el carrito debe ajustar su velocidad en función de los ángulos de la trayectoria, el sistema responde al STEP eficientemente, disminuyendo las RPM cuando detecta una curva (cambia el ángulo de las llantas).

- Resultados y conclusiones del comportamiento en lazo cerrado

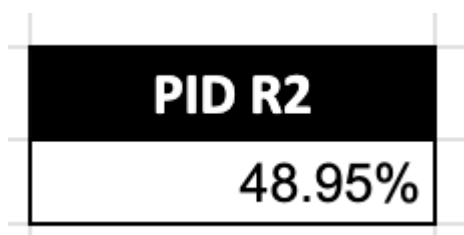
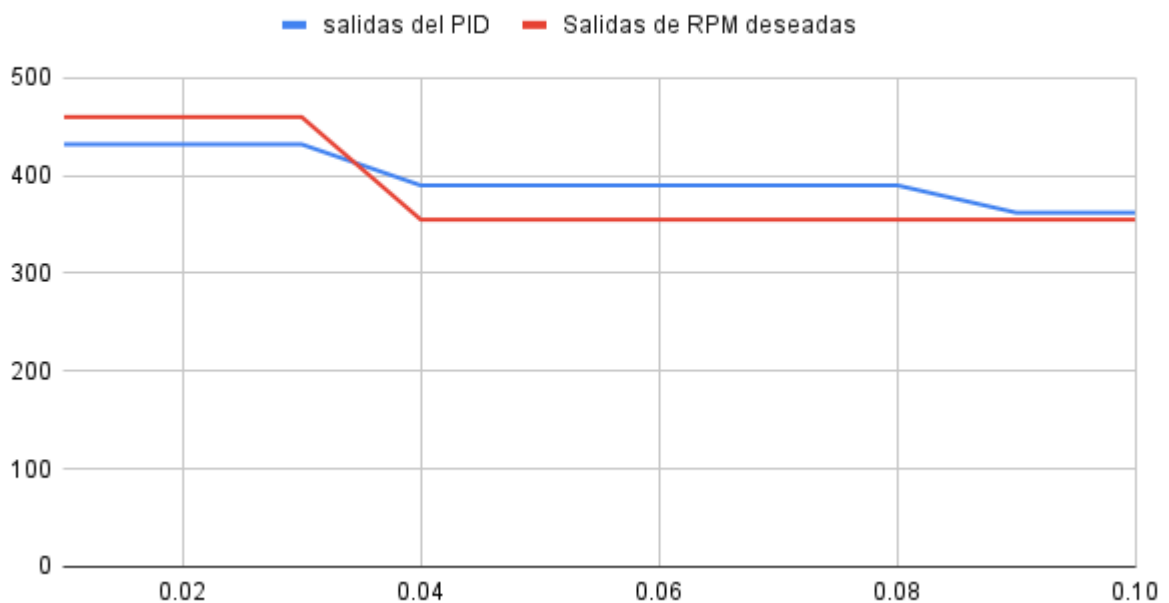
1. El sistema muestra un buen comportamiento en la regulación de la velocidad, manteniendo las RPM cercanas a los valores deseados. La implementación del PID ha sido efectiva para corregir las variaciones introducidas por cambios en el ángulo.
2. Aunque existen oscilaciones menores en la salida del PID, el sistema se mantiene estable dentro de un rango aceptable, lo cual es esencial para la operación fluida del carrito en su recorrido.
3. Sería muy bueno realizar más pruebas en otros terrenos y con otros cambios de ángulos, lo que nos permitiría tener un mejor PID que se adapte mejor a los datos.

Índices de desempeño

Tenemos una R^2 de 48.95%, lo cual explica que el modelo hace todo lo posible por ajustarse al comportamiento, para el poco tiempo en el que se corrió la prueba es una R^2 un poco mala pero aceptable.

El modelo también sugiere que a mayor tiempo de prueba tenemos mucha área de mejora.

Tiempo, salidas del PID y Salidas de RPM deseadas



Conclusiones

- Las pruebas realizadas confirmaron que el controlador PID implementado logra mantener la velocidad establecida con alta precisión, tanto en trayectorias rectas como al tomar curvas. Al detectar un giro en las ruedas delanteras, el sistema ajusta eficazmente las RPM, mejorando la maniobrabilidad y minimizando el riesgo de desviaciones o pérdida de control. Para fortalecer la robustez del controlador, será necesario someterlo a escenarios más desafiantes, con trayectorias complejas y variaciones en las condiciones del entorno, asegurando así un rendimiento óptimo en situaciones más exigentes.