



Tecnológico de Monterrey

Estudiantes:

Axel Javier Rosas Rodríguez | A01738607

Elian Cantalapiedra Sabugal | A01738462

Edwin Emmanuel Salazar Meza | A01738380

Profesor:

Rigoberto Cerino Jiménez

Nombre de la Institución:

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de
Tecnológico de Monterrey

Materia:

Fundamentación de la Robótica

Fecha:

24 de Febrero de 2026

Título del trabajo:

Actividad 2.1. Sintonización de un controlador PID

Resumen

En esta sección de mini reto se analizó el comportamiento dinámico de un motor modelado como un sistema lineal e invariante en el tiempo de primer orden. A partir de su función de transferencia:

$$G(s) = \frac{1.75}{0.05s + 1}$$

Se evaluó su respuesta ante entradas escalón, determinando parámetros como valor final, tiempo de subida y tiempo de establecimiento.

También se estudió el comportamiento ante un escalón de mayor amplitud para verificar la proporcionalidad del sistema y confirmar su naturaleza lineal. Finalmente, se implementó un controlador PID para mejorar el desempeño del sistema, reducir errores y permitir un buen seguimiento de referencias variables.

Objetivos

Objetivo General:

- Analizar el comportamiento dinámico del sistema de primer orden que modela el motor y ver la necesidad de implementar un controlador PID para mejorar su desempeño.

Objetivos específicos:

- Determinar el valor final teórico ante una entrada escalón.
- Analizar la proporcionalidad del sistema ante un escalón de mayor amplitud.
- Entender el funcionamiento del controlador PID en este motor

Introducción

En el área de control de un sistema, mantener una variable en un punto deseado es fundamental para tener un sistema estable y eficiente en automatización

Un controlador PID se compone de distintas partes que actúan para la estabilidad deseada del sistema:

Acción Proporcional (P): Ajusta la salida en proporción directa al error actual. Si el error es grande, la acción de control es fuerte.

Acción Integral (I): (Si aplica) Elimina el error en estado estacionario acumulando el error pasado a lo largo del tiempo.

Acción Derivativa (D): (Si aplica) Predice el comportamiento futuro del error basándose en su tasa de cambio, lo que ayuda a suavizar la respuesta y reducir sobre pulsos.

La sintonización consiste en ajustar los parámetros (K_p , K_i , K_d) para obtener la respuesta deseada del sistema (rapidez, estabilidad y bajo error), el objetivo fundamental de este ajuste es encontrar un equilibrio óptimo que proporcione:

- Rapidez: Reduciendo el tiempo de subida y de establecimiento.
- Estabilidad: Asegurando que el sistema no presente oscilaciones descontroladas.
- Precisión: Minimizando o eliminando el error respecto a la referencia establecida.

En este proyecto, se parte del análisis de la respuesta natural del sistema ante entradas escalón para determinar la necesidad de estos términos y lograr que el motor opere de manera eficiente bajo condiciones variables.

Metodología

La metodología general seguida para este proyecto se divide en distintas fases principales, orientadas a entender el comportamiento del motor de Manchester Robotics y mejorar su desempeño mediante el control e implementación de un PID

- Definir modelo de motor en base a función de transferencia dada y obtener parámetros base de la planta
- Simulación en lazo abierto con entradas escalón de distintas amplitudes para observar comportamiento natural del motor sin control en comportamiento de curvas, tiempo de subida y establecimiento
- Analizar en un escalón de mayor amplitud para identificar proporcionalidad, rapidez y comportamiento dinámico del motor
- Probar con parámetros teóricos, como tiempo de establecimiento y respuesta teórica
- Analizar la necesidad de implementar un control basado en los problemas a identificar en la reacción a escalones unitarios
- Identificar posibles parámetros de PID para futuras implementaciones en el reto principal

Solución del problema

El modelo a analizar se trata de un sistema lineal e invariante en el tiempo de primer orden. De donde se identifican los parámetros: Ganancia $K = 1.75$ y Constante de tiempo: $\tau = 0.05$ s

$$G(s) = \frac{1.75}{0.05s+1}$$

Experimento 1 — Respuesta al escalón unitario

Teóricamente la respuesta al escalón unitario es la siguiente.

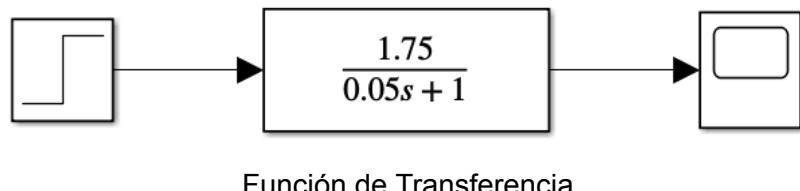
$$y_{ss} = K \cdot u$$

$$y_{ss} = 1.75 (1) = 1.75$$

Donde τ al ser igual a 0.05 s, significa que el sistema alcanzará su valor máximo en 4τ

$$4\tau = 4 * (0.05 \text{ s}) = 0.2 \text{ s}$$

La simulación es realizada en simulink con la siguiente estructura.



Salida de la Fcn de Transferencia

Al realizar la simulación, se confirma que la salida converge aproximadamente a 1.75, confirmando y que llega a su valor final a los 0.2 s.

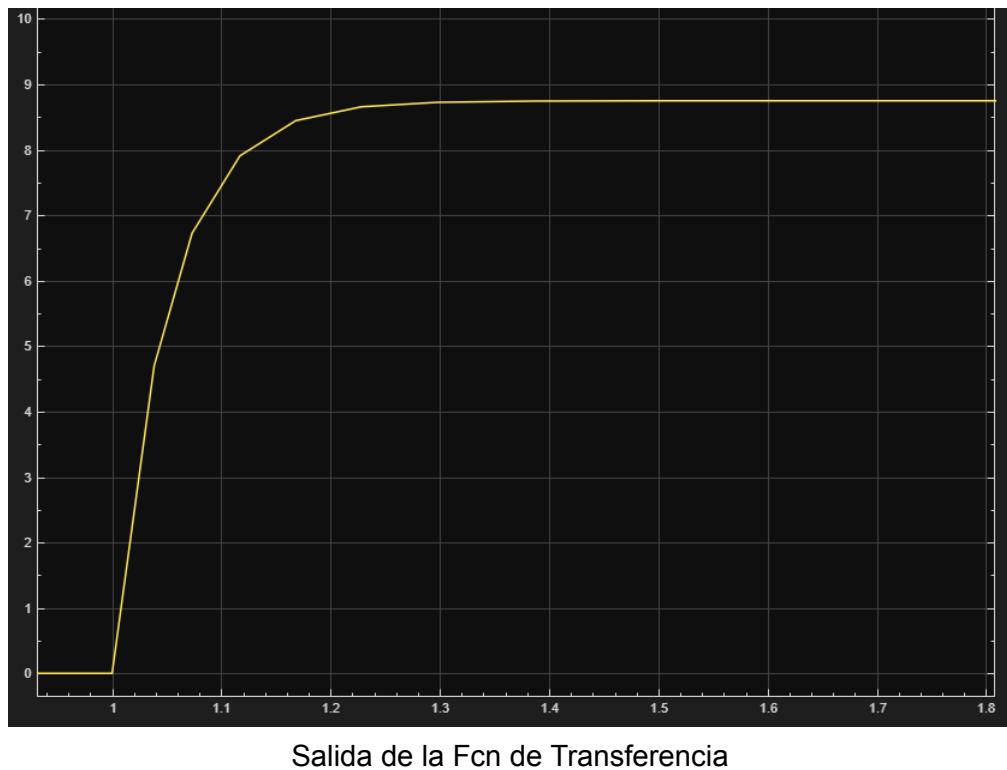
- **Valor final:** Alcanza un valor máximo de 1.75.
- **Tiempo de subida:** Aproximadamente a los 0.05 s alcanza 63.2 % del valor final.
- **Tiempo de establecimiento:** Se estabiliza aproximadamente a los 0.2 segundos.
- **Forma de la curva:** Presenta un crecimiento exponencial típico de un sistema de primer orden estable. La salida aumenta de forma suave sin presentar un sobreimpulso ni oscilaciones.

Experimento 2 — Escalón mayor (5)

De forma teórica, al usar una señal de mayor amplitud, la respuesta del sistema debe ser proporcional al incremento del escalón.

$$y_{ss} = K \cdot u$$
$$y_{ss} = 1.75 (5) = 8.75$$

La simulación muestra que la salida se multiplica proporcionalmente al incremento del escalón, donde igualmente alcanza su valor máximo a los 0.2 s, confirmando la linealidad del sistema.



Análisis

1. ¿Qué problema tiene el motor sin control?

El sistema responde al escalón, pero no corrige errores ni garantiza precisión ante perturbaciones o cambios de referencia.

2. ¿Seguiría bien una referencia variable?

No, presentaría un error de desfase ya que no alcanzaría el estado actual de señal de referencia pues esta había cambiado antes de que el sistema se ajuste.

3. ¿Por qué se necesita PID?

Para mejorar precisión, rapidez y rechazo de perturbaciones, reduciendo el error en estado estacionario y optimizando el comportamiento dinámico.

4. ¿Qué esperas que haga el término P?

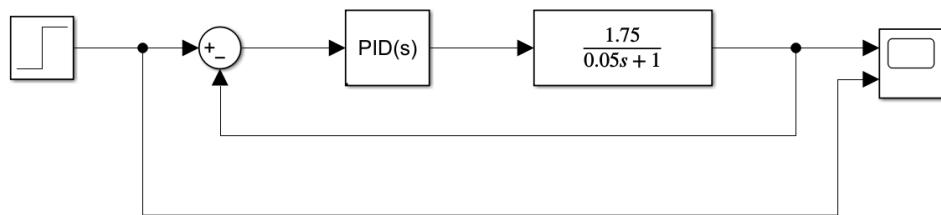
Aumentar la rapidez de respuesta y reducir el error instantáneo.

5. ¿Qué hará el término I?

Eliminar el error en estado estacionario acumulando el error en el tiempo.

Resultados

Una vez analizado completamente el funcionamiento de la función de transferencia, procedimos a elaborar un control en Simulink con el apoyo de tune.



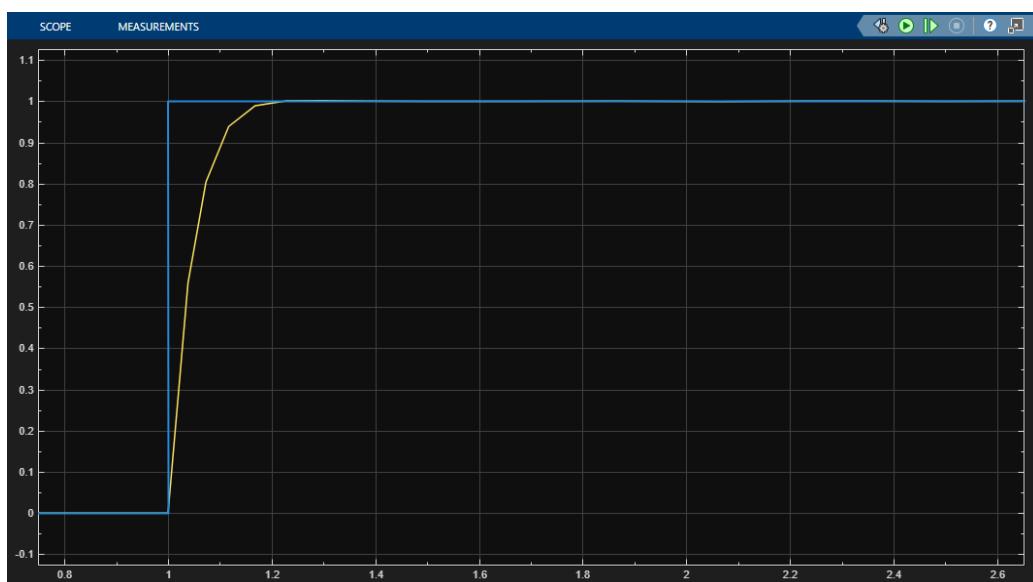
Donde obtuvimos los siguientes parámetros:

Proportional (P): 0.576148461162171

Integral (I): 13.0670343911711

Derivative (D): 0

De modo que la respuesta del motor con el control activo es la siguiente.



A diferencia de la señal obtenida sin el control, donde solo multiplica el valor de referencia, ahora la salida del motor se ajusta a la señal entrante. Este es el comportamiento esperado por parte de MCR2 donde se espera que el motor se comporte en base a una señal de referencia.

Conclusiones

A lo largo de este trabajo se analizó el comportamiento dinámico de un motor modelado como un sistema lineal e invariante en el tiempo de primer orden, a partir de su función de transferencia proporcionada. Mediante el análisis de su respuesta ante entradas escalón, fue posible identificar sus principales características dinámicas, como el valor final, el tiempo de subida y el tiempo de establecimiento, confirmando que el sistema presenta un comportamiento estable y predecible.

Los objetivos planteados al inicio del proyecto se cumplieron satisfactoriamente, ya que se logró comprobar la proporcionalidad del sistema ante cambios en la amplitud de la entrada, validando su naturaleza lineal. Asimismo, el análisis de la respuesta del motor en lazo abierto permitió identificar limitaciones importantes, como la incapacidad de seguir adecuadamente referencias variables y la falta de corrección ante errores persistentes, lo que justificó la necesidad de implementar un controlador PID.

La incorporación del controlador PID permitió mejorar significativamente el desempeño del sistema, logrando que la salida del motor siguiera de manera más precisa la señal de referencia. La acción proporcional contribuyó a aumentar la rapidez de respuesta, mientras que la acción integral permitió reducir el error en estado estacionario, obteniendo un comportamiento más adecuado para aplicaciones de control. La sintonización realizada en Simulink facilitó la obtención de parámetros que equilibran rapidez, estabilidad y precisión.

En conclusión, este trabajo permitió comprender de forma práctica la importancia de la sintonización de controladores PID y su impacto en el comportamiento dinámico de un sistema. Además, sentó las bases para futuras implementaciones más complejas, como el control de sistemas reales, donde intervienen fenómenos adicionales como ruido, saturación y perturbaciones externas.

Referencias

Mazzone, V., & Centrífugo De Watt, R. (n.d.). Controladores PID. <https://www.eng.newcastle.edu.au/~jhb519/teaching/caut1/Apuntes/PID.pdf>