



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA EN
INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS AVANZADAS

CONTROL DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS

Práctica: Control de par en lazo cerrado para un motor de CD

Alumno:

Cerda Parra Luis Oscar

Díaz Bello Diego

Vázquez Galán José Emmanuel

Profesor:

Gastón Salazar Silva

5MM2

10 de mayo de 2024

Índice

1. Introducción	4
2. Método	5
2.1. Configuración Inicial	5
2.2. Aplicación de la Señal de Referencia	5
2.3. Medición de las Señales	5
2.4. Modificación del Sistema	6
2.5. Análisis de Datos	6
3. Resultados	6
4. Discusión	21
Bibliografía	22

Índice de figuras

1.	Descripción simplificada de un sistema de control. Tomada de [1]	4
2.	Diagrama de bloques para el control de par motor CD	4
3.	Diagrama de control de par con amplificador lineal implementado.	6
4.	Detalle del subsistema 1.	7
5.	Parámetros de función escalón y de control PI.	8
6.	Referencia.	9
7.	Error.	10
8.	Controlador.	10
9.	Voltaje de armadura.	11
10.	Corriente de armadura.	11
11.	Torque.	12
12.	Velocidad.	12
13.	Diagrama de control de par con amplificador en puente H.	13
14.	Detalle de subsistema de control.	13
15.	Detalle de subsistema de puente H.	14
16.	Detalle de subsistema de motor.	14
17.	Parámetros de función escalón y de control PI.	15
18.	Referencia (Step/Escalón).	16
19.	Error.	17
20.	Controlador (PID).	17
21.	Corriente de armadura (I_a).	18
22.	Voltaje de armadura (V_a).	18
23.	Torque (T).	19
24.	Velocidad Angular (ω).	19
25.	Gráfico completo Sistema en Lazo Cerrado PID-Puente H	20

color listings courier

1. Introducción

CONTROL

Se define como el arte y la ciencia de operar dispositivos de tal manera que satisfagan necesidades en específico, principalmente de precisión y velocidad.

Un sistema de control consiste en subsistemas y procesos (o plantas) ensamblados con el propósito de obtener una salida deseada con un rendimiento deseado, dado un ingreso específico.

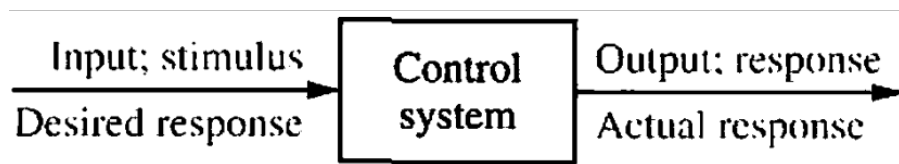


Figura 1: Descripción simplificada de un sistema de control. Tomada de [1]

CATEGORÍAS

CONTROL EN LAZO ABIERTO

Consiste en seleccionar componentes inherentemente precisos y lo suficientemente rápidos para el problema que se presente y pueda operar de manera eficiente.

Este sistema opera sin verificar si la salida ha alcanzado el estado deseado, lo que implica una menor complejidad y costos reducidos, pero con una menor adaptabilidad ante disturbios o cambios en las condiciones de operación [1].

CONTROL EN LAZO CERRADO

Basados en el principio de retroalimentación, en donde el cual, la magnitud por controlar se mide y se retroalimenta a una estación de entrada, en donde se compara con una magnitud de referencia para determinar si es del valor deseado (la magnitud controlada). Cualquier desviación del valor deseado es un error, el que generalmente se determina como resultado de esta comparación y el error se alimenta directamente al sistema, de tal manera que se tienda a reducir este error. Tal disposición es conceptualmente muy simple y tiene grandes posibilidades de precisión y rapidez de comportamiento. Se puede hacer que la señal de error produzca una señal correctora, la que, a su vez, haga el error tan pequeño como se desee, aún igual a cero [2].

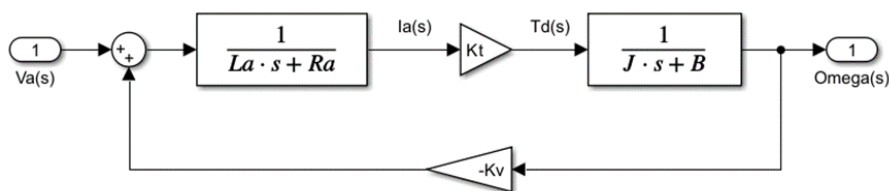


Figura 2: Diagrama de bloques para el control de par motor CD

- Las variables estan definidas en el dominio de la frecuencia (Laplace)
- $V_a(s)$ =Voltaje de la armadura
- $I_a(s)$ =Corriente de la armadura
- $T_d(s)$ =Par desarrollado por el motor
- $\Omega(s)$ =Velocidad angular del rotor

Parámetros del motor

- L_a =Inductancia de la armadura
- R_a =Resistencia de la armadura
- J =Momento de inercia del rotor
- B =Fricción viscosa de los rodamientos del motor
- K_t =Constante de par del motor
- K_v =Constante de voltaje del motor
- $T_d(s) = K_t I_a(s)$

2. Método

2.1. Configuración Inicial

Se inició implementando la actividad guiada mostrada en clase utilizando el software de simulación Simulink. Se configuró un sistema de control de par motor en un puente H como se muestra en la Figura 13 del reporte.

2.2. Aplicación de la Señal de Referencia

Se aplicó una señal de referencia de escalón con un tiempo de escalón de 0.05 s, valor inicial de 0 y valor final de 1, para evaluar la respuesta del sistema. Los parámetros de control PI utilizados fueron $K_p = \frac{1}{12}$ y $K_i = 0$, como se detalla en la Figura 17.

2.3. Medición de las Señales

Durante el experimento, se midieron las siguientes señales:

- **Referencia:** La señal de entrada al sistema.
- **Error:** La diferencia entre la señal de referencia y la salida medida.
- **Señal de Control:** La salida del controlador que ajusta la actuación del sistema.

- **Voltaje de Armadura:** El voltaje aplicado al motor.
- **Salida:** Respuesta del sistema ante la entrada aplicada.

Se utilizaron herramientas de captura de datos en Simulink para registrar estas señales.

2.4. Modificación del Sistema

Posteriormente, se modificó el diagrama en Simulink para reemplazar el amplificador por un puente H, como se documenta en la Figura 13. Se repitió la aplicación de la señal de referencia de escalón y se midieron las mismas señales bajo esta nueva configuración.

2.5. Análisis de Datos

Todas las señales medidas fueron graficadas para su análisis visual. Las gráficas permiten comparar el comportamiento del sistema bajo las configuraciones de amplificador y puente H. Las figuras desde la 18 hasta la 24 en el reporte muestran las gráficas de referencia, error, señal de control, voltaje de armadura, corriente de armadura, torque y velocidad angular, proporcionando una comprensión clara de la dinámica del sistema bajo estudio.

3. Resultados

1.-Implementar la actividad guiada mostrada en clase.

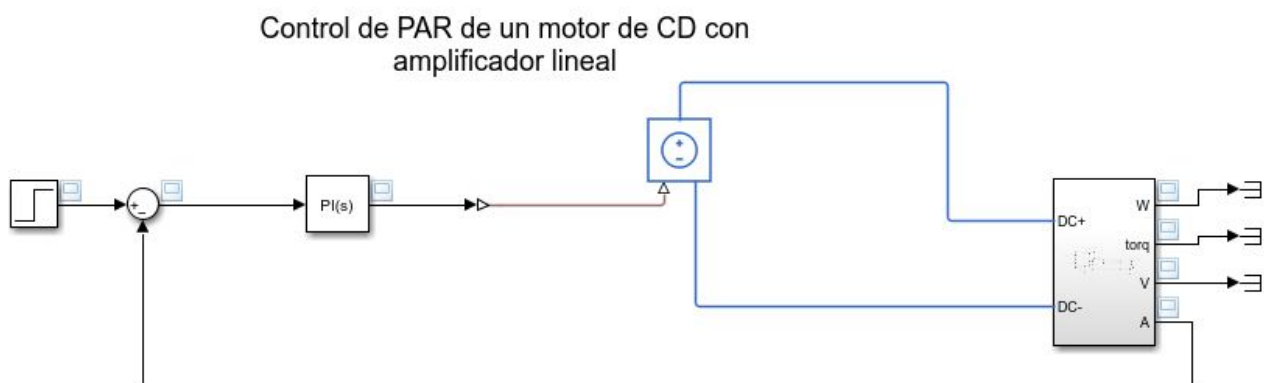


Figura 3: Diagrama de control de par con amplificador lineal implementado.

2.-Aplicar una señal de referencia de escalón.

- Step time: 0.02
- Initial Value: 0
- Final Value: 1

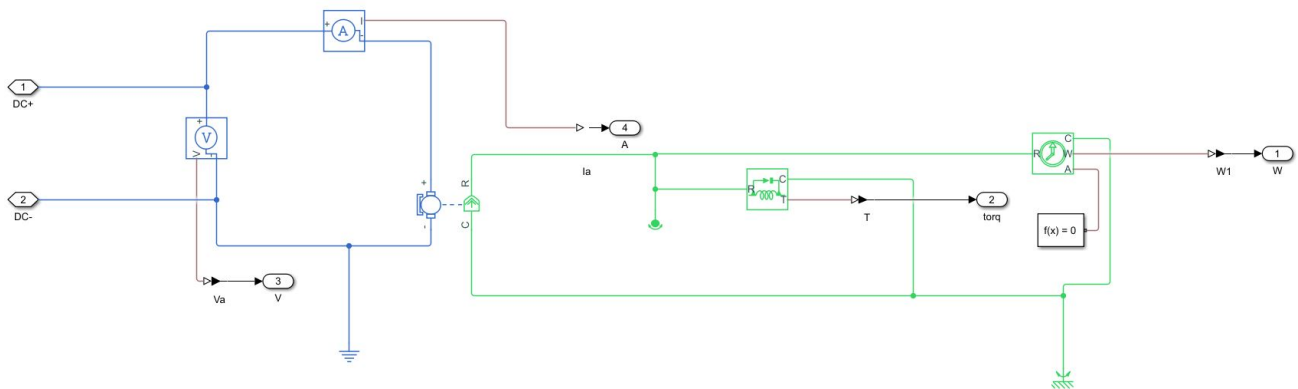


Figura 4: Detalle del subsistema 1.

- K_p : 60
- K_i : 0

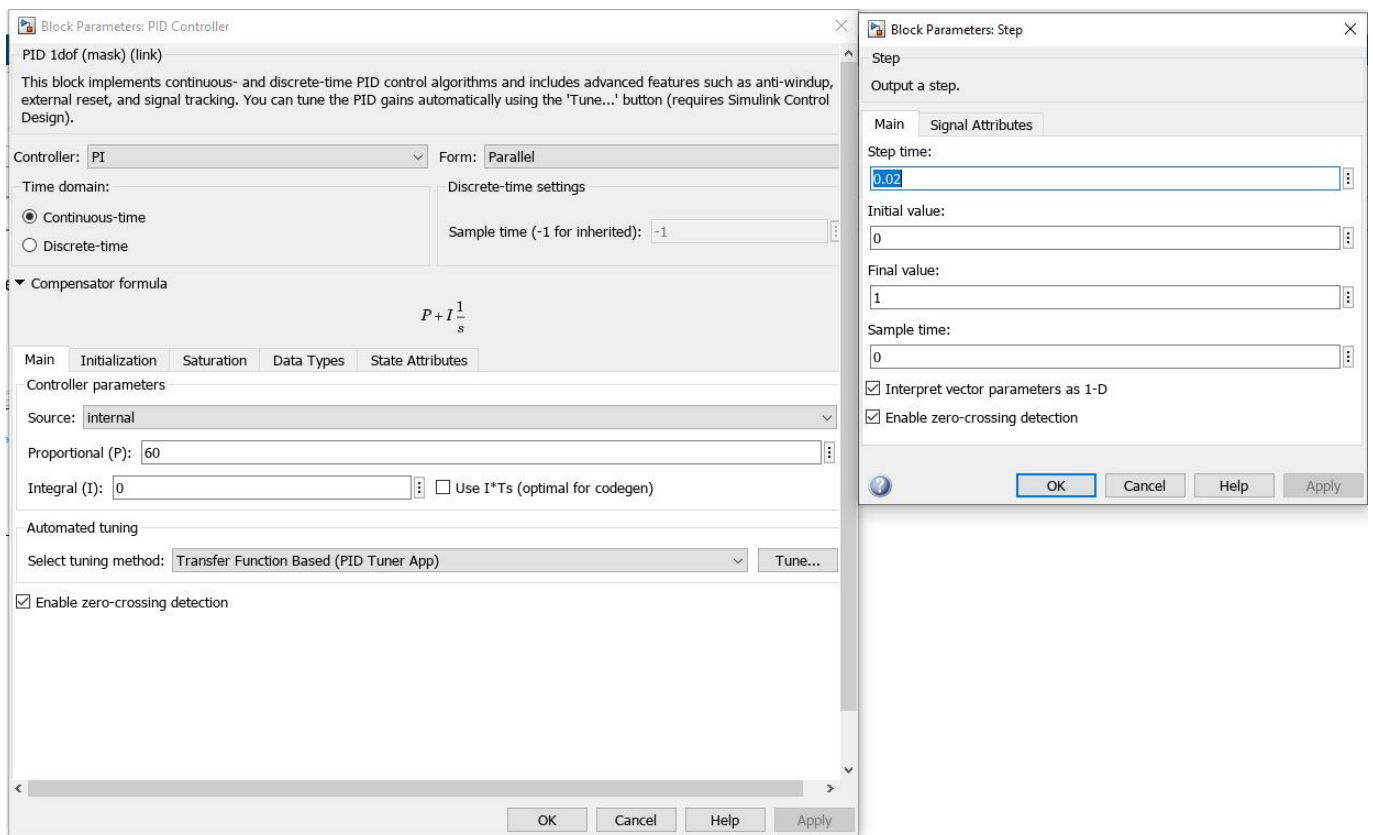


Figura 5: Parámetros de función escalón y de control PI.

3.- Medir y graficar las señales de:

- Referencia
- Error
- Control
- Voltaje de armadura
- Corriente de armadura
- Torque
- Velocidad Angular

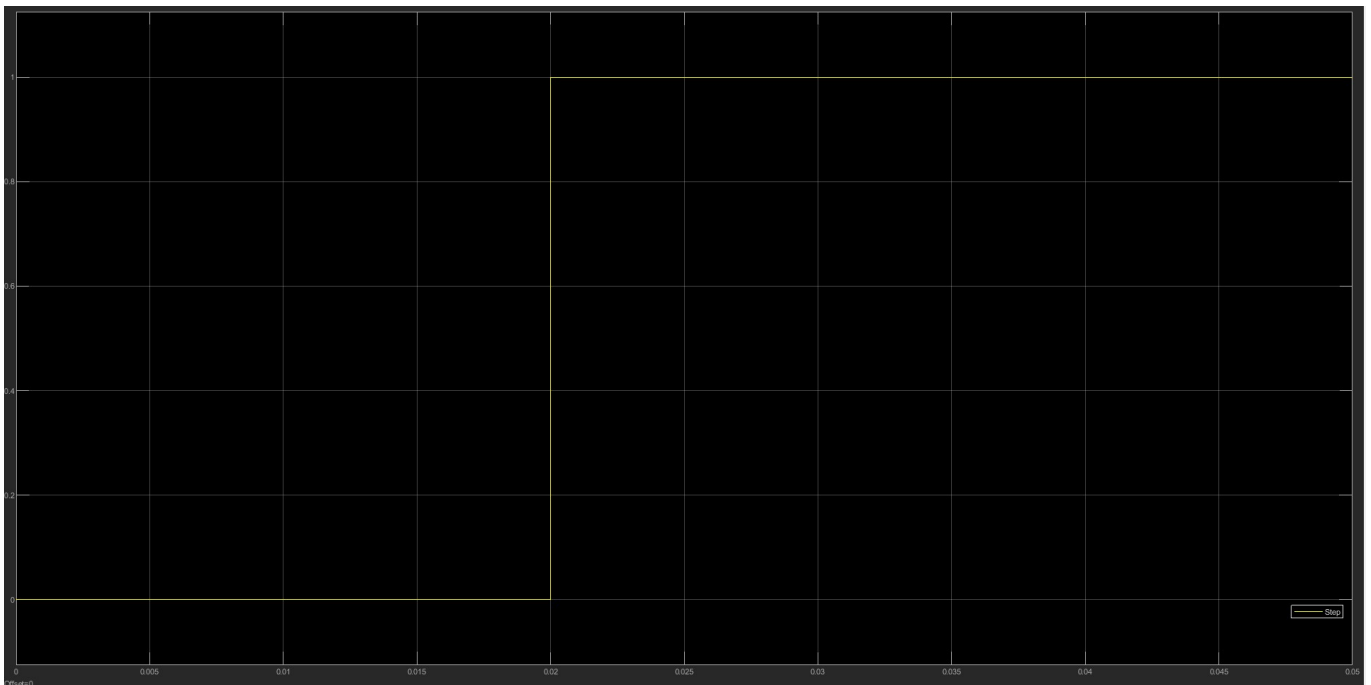


Figura 6: Referencia.

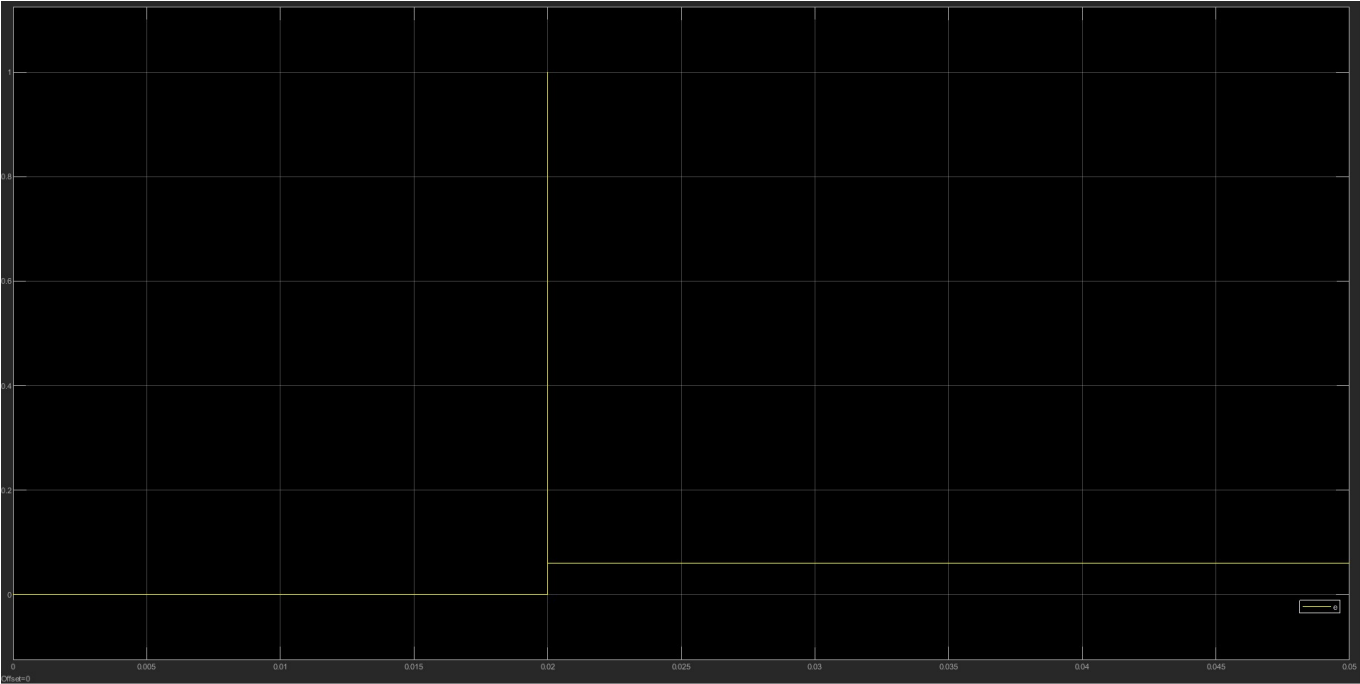


Figura 7: Error.

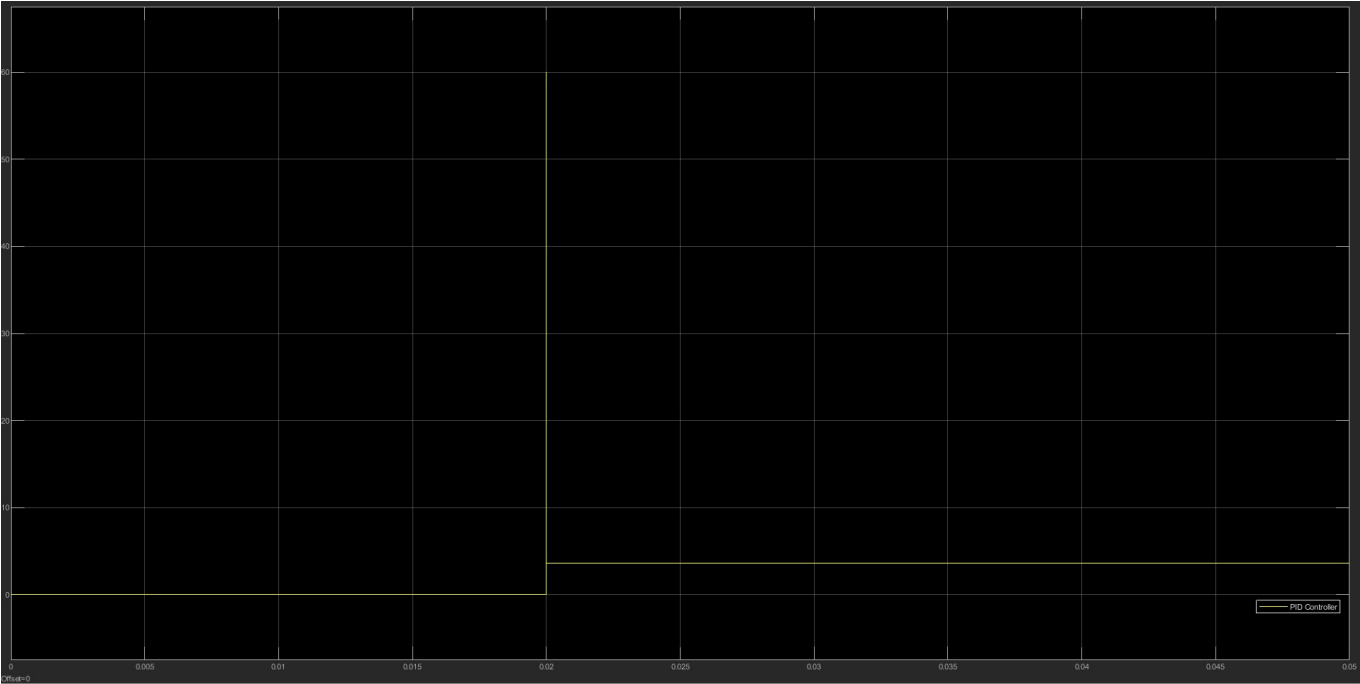


Figura 8: Controlador.

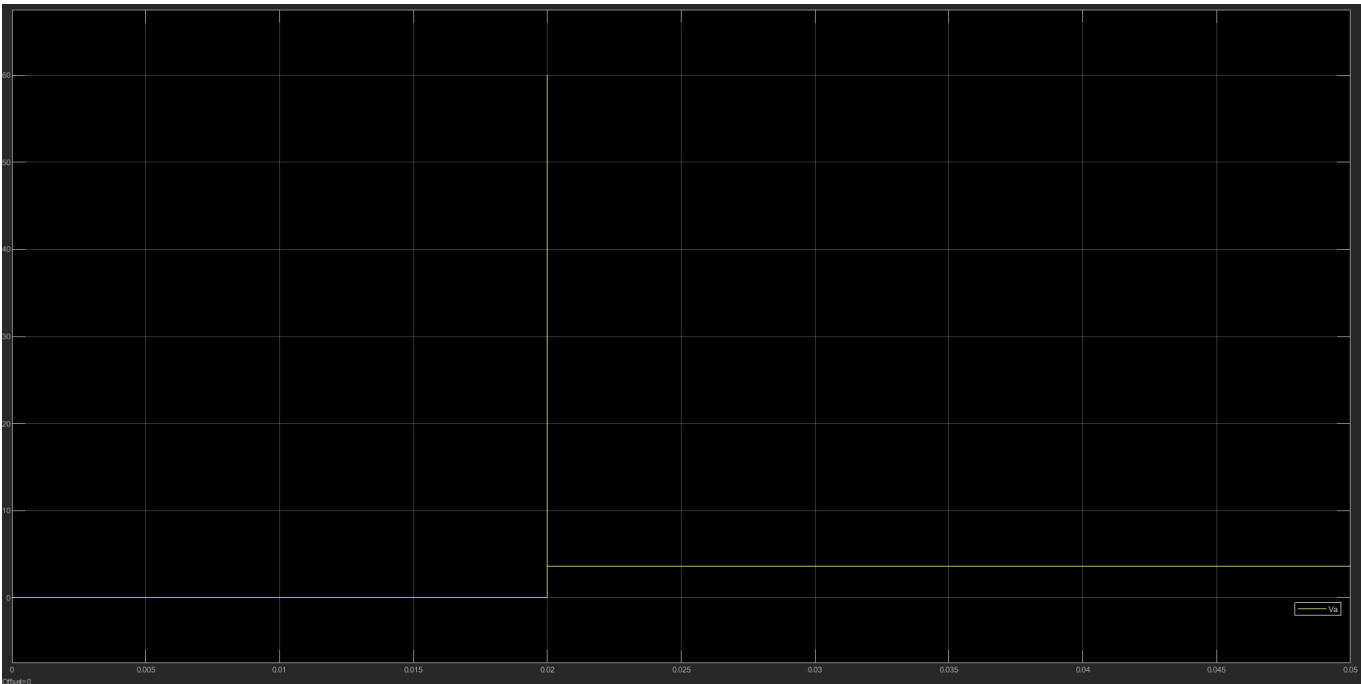


Figura 9: Voltaje de armadura.

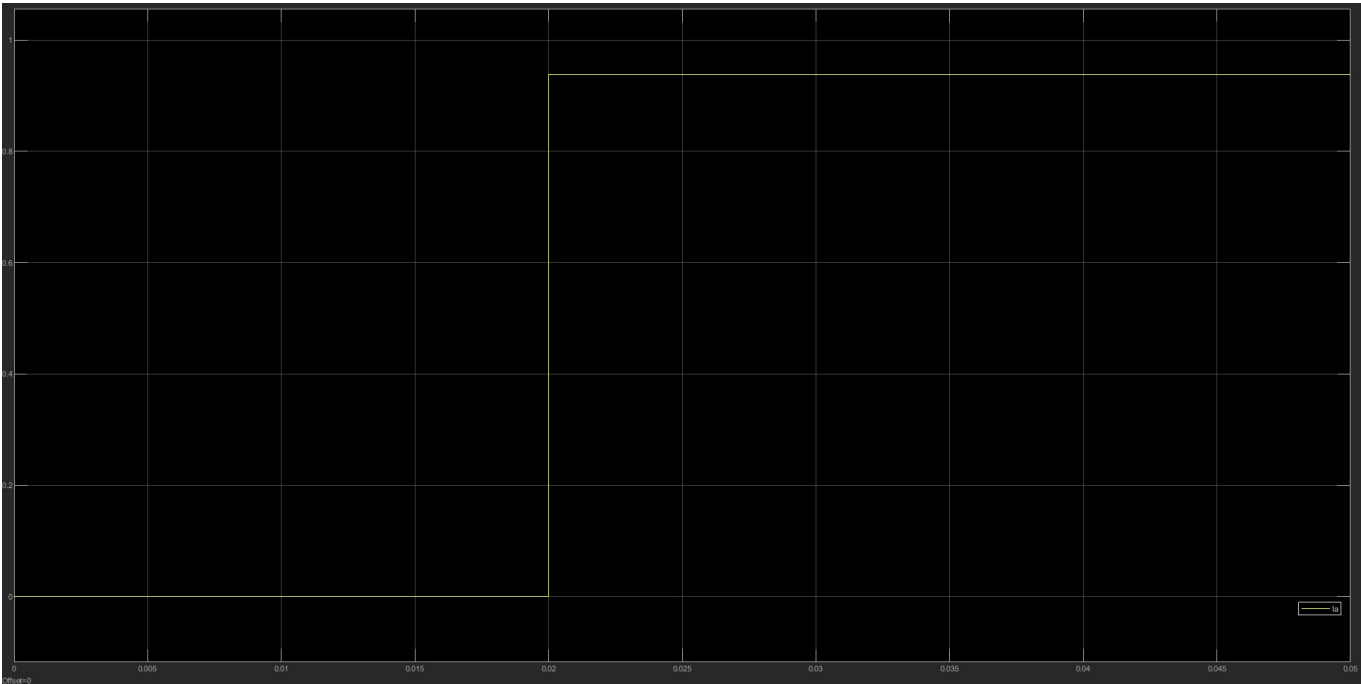


Figura 10: Corriente de armadura.

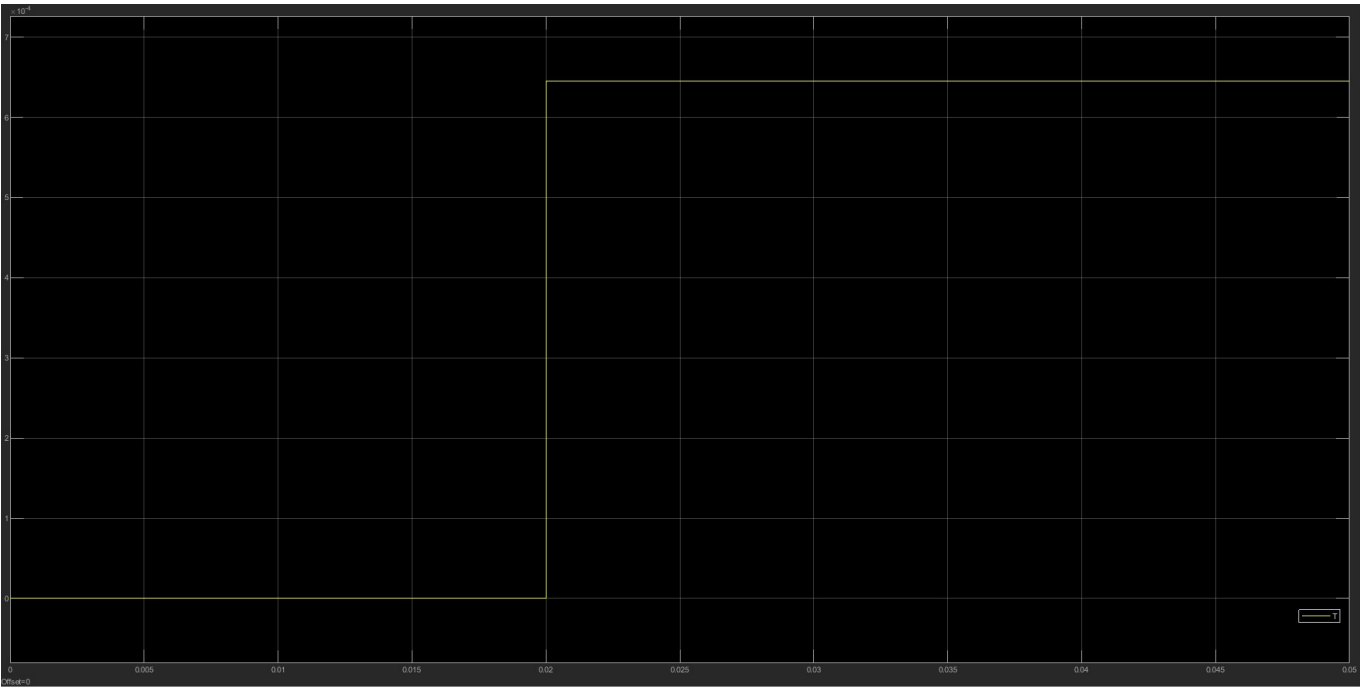


Figura 11: Torque.

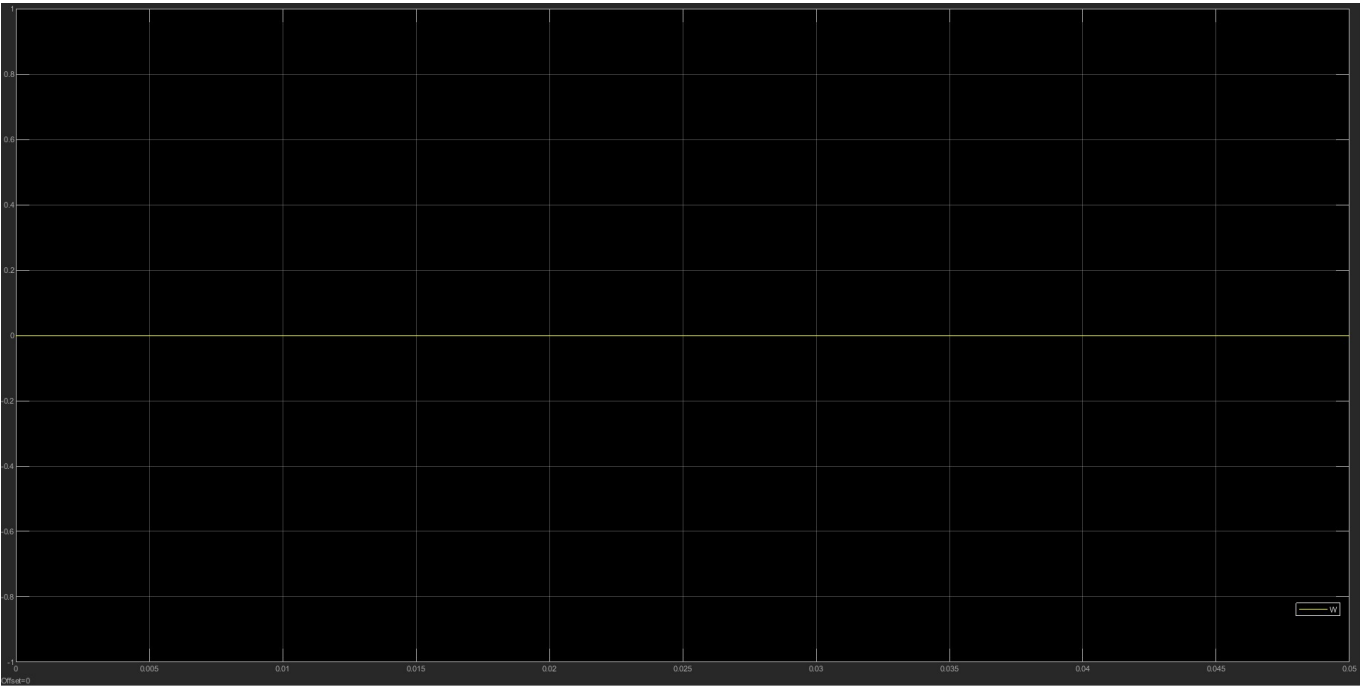


Figura 12: Velocidad.

4.-Modifique el diagrama de Simulink para cambiar el amplificador por un puente H.

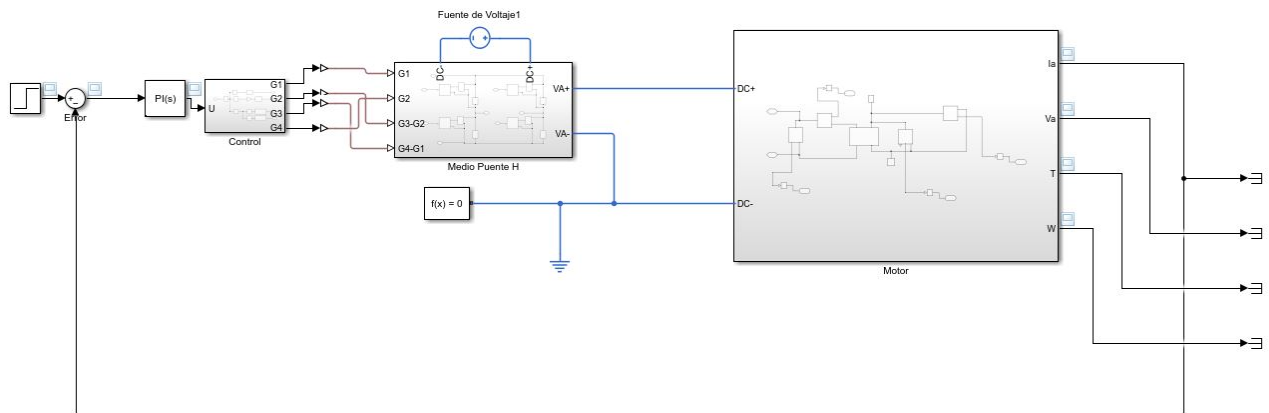


Figura 13: Diagrama de control de par con amplificador en puente H.

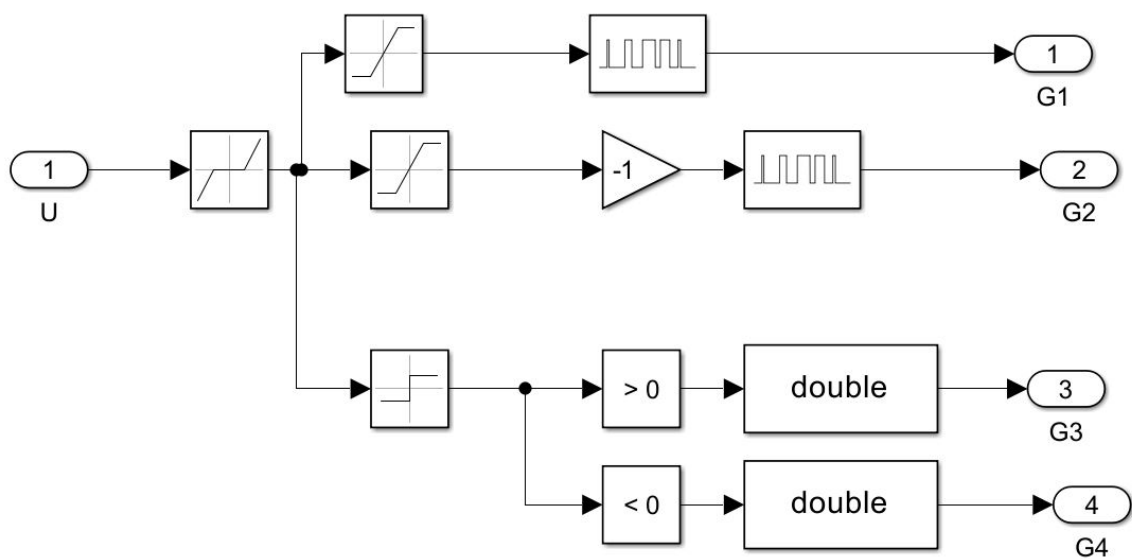


Figura 14: Detalle de subsistema de control.

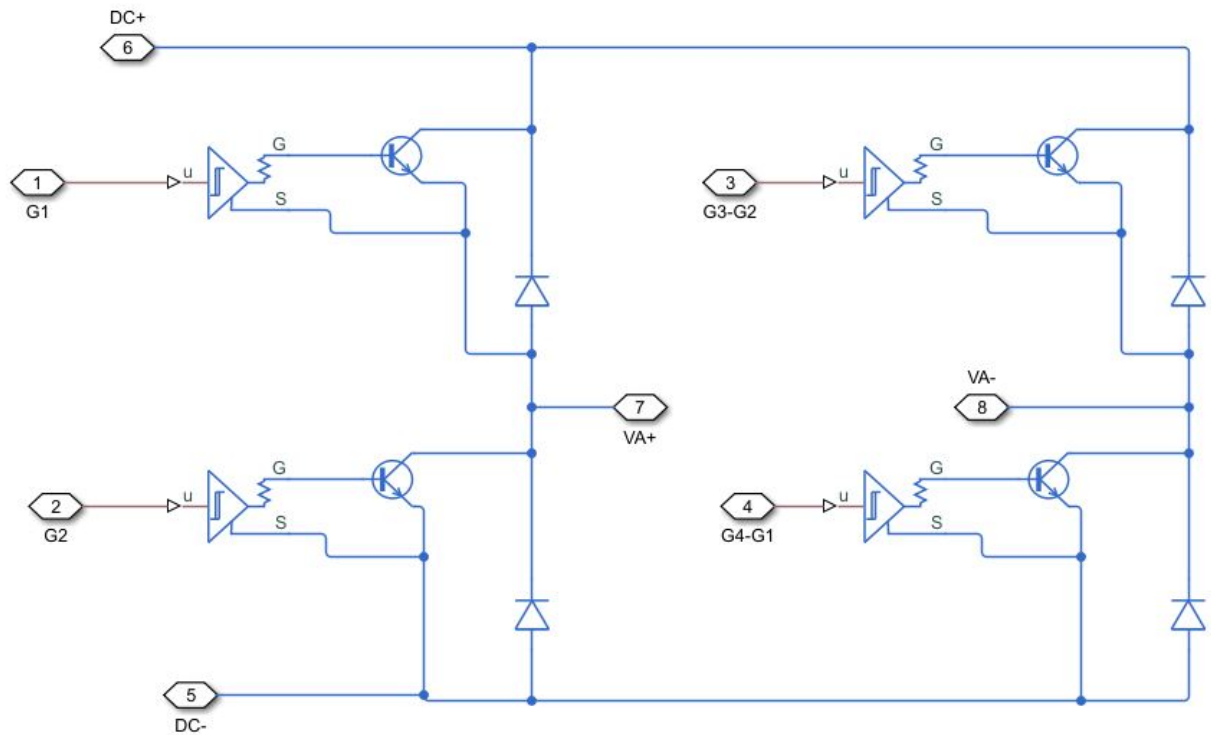


Figura 15: Detalle de subsistema de puente H.

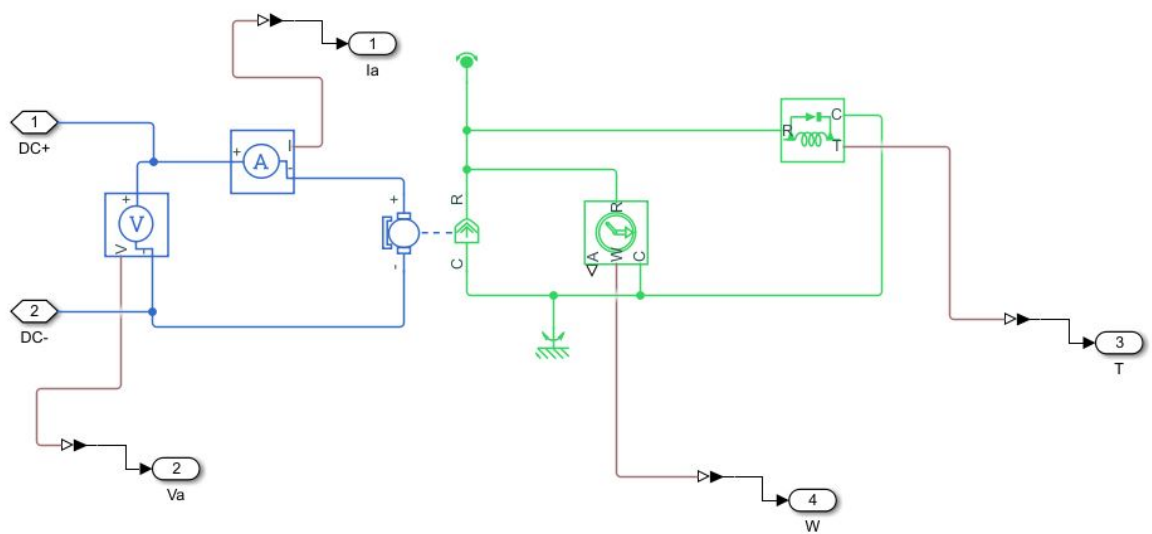


Figura 16: Detalle de subsistema de motor.

5.-Aplicar una señal de referencia de escalón.

- Step time: 0.05
- Initial Value: 0
- Final Value: 1
- Kp: 1/12
- Ki: 0

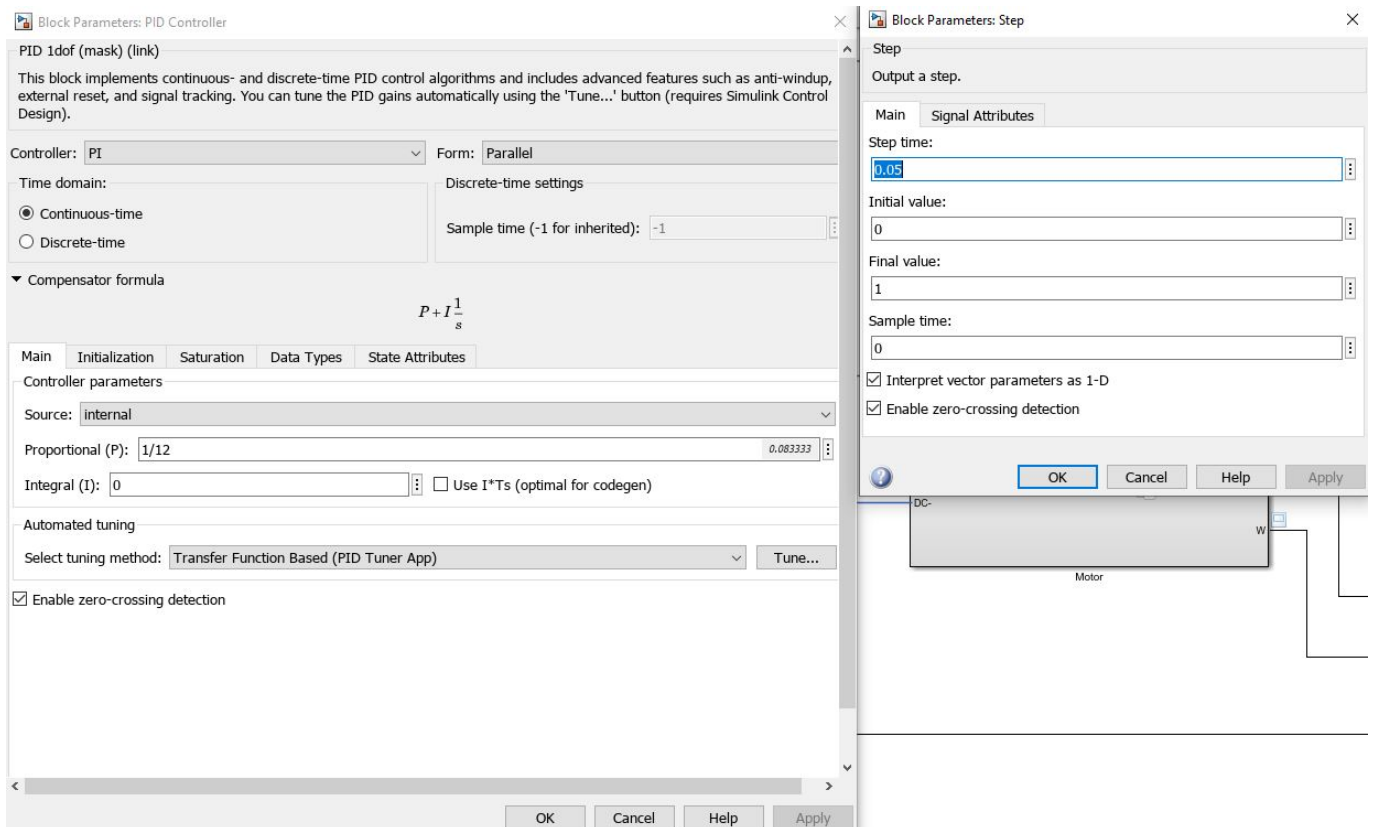


Figura 17: Parámetros de función escalón y de control PI.

6.- Medir y graficar las señales de:

- Referencia
- Error
- Control
- Voltaje de armadura
- Corriente de armadura
- Torque
- Velocidad Angular



Figura 18: Referencia (Step/Escalón).

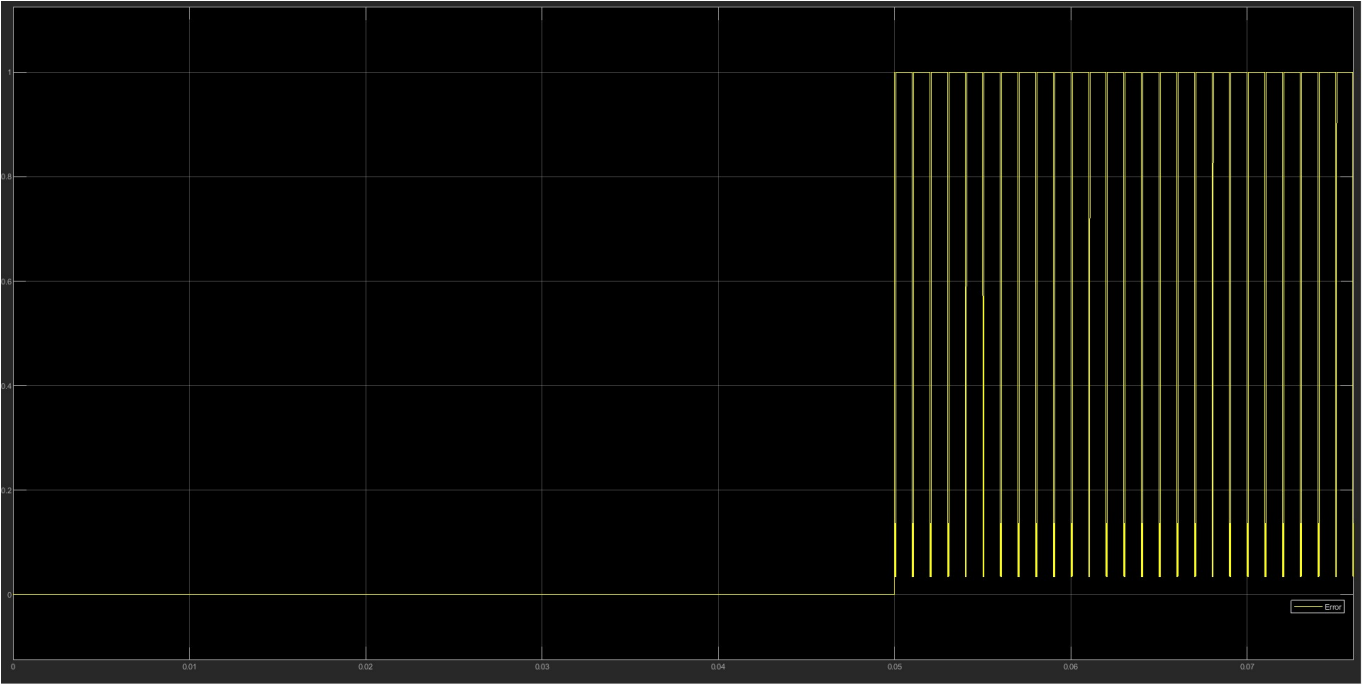


Figura 19: Error.

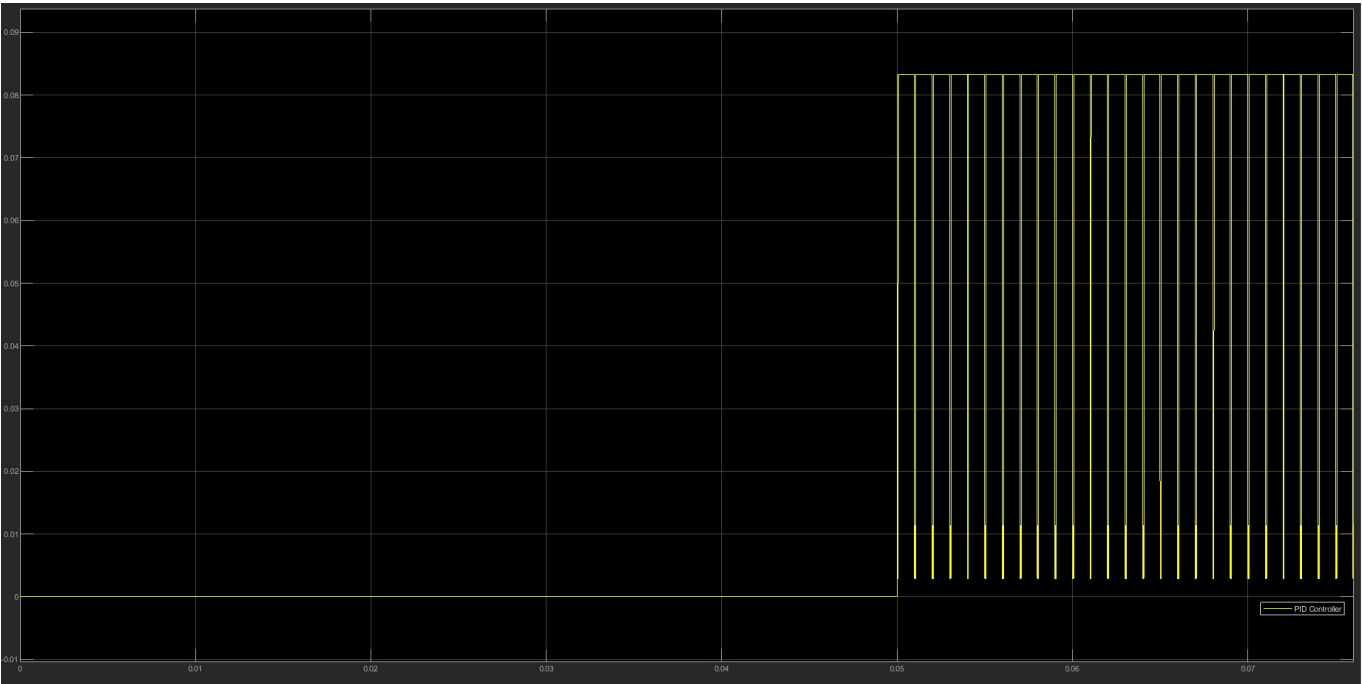


Figura 20: Controlador (PID).

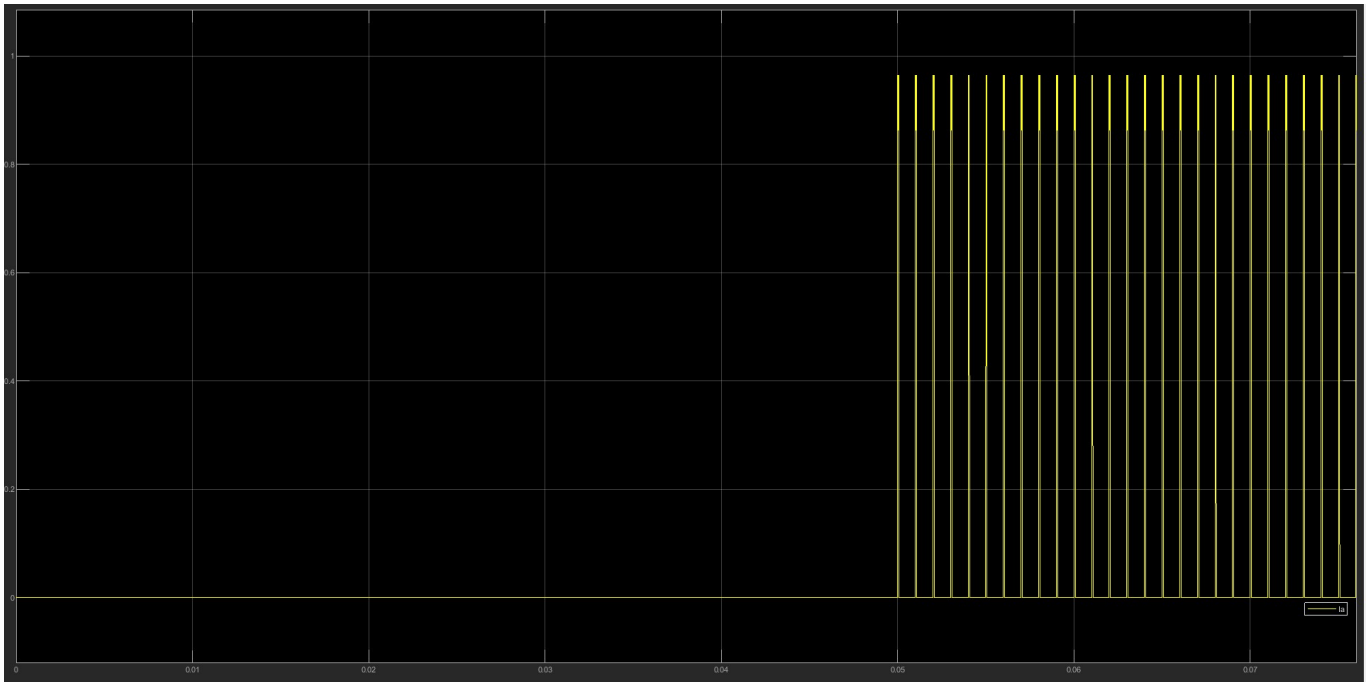


Figura 21: Corriente de armadura (I_a).

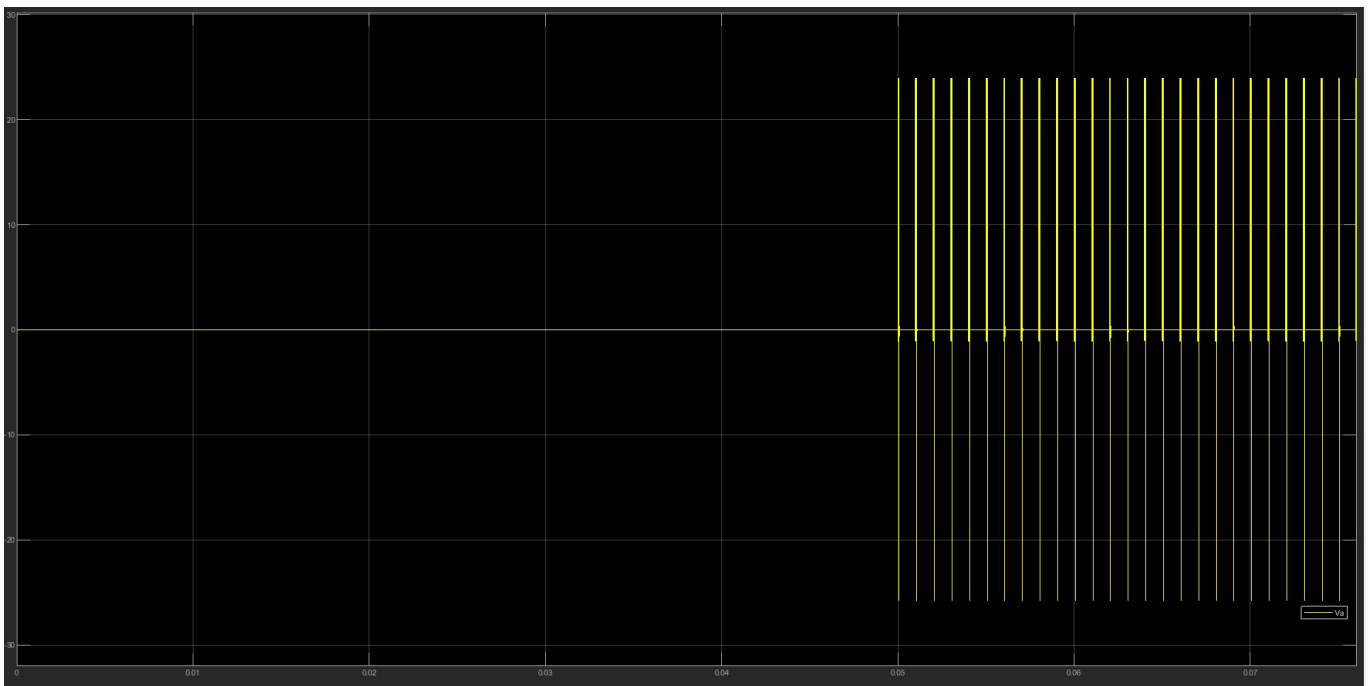


Figura 22: Voltaje de armadura (V_a).

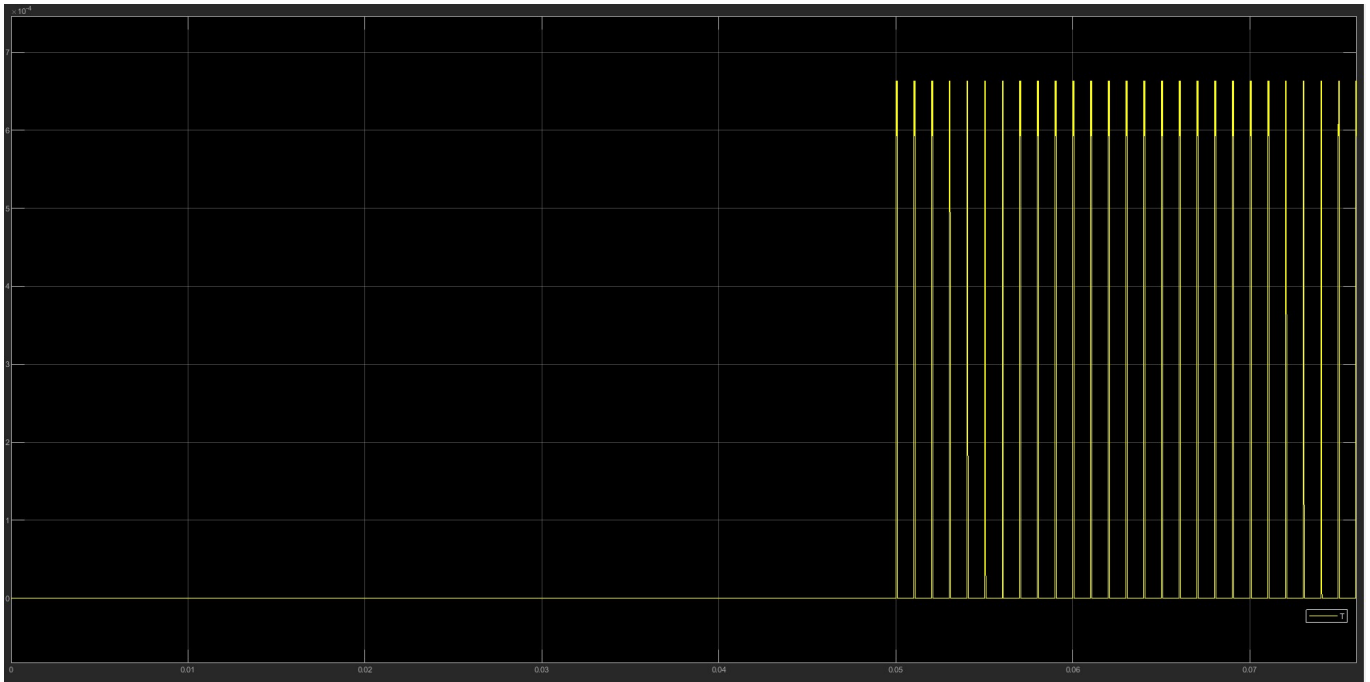


Figura 23: Torque (T).

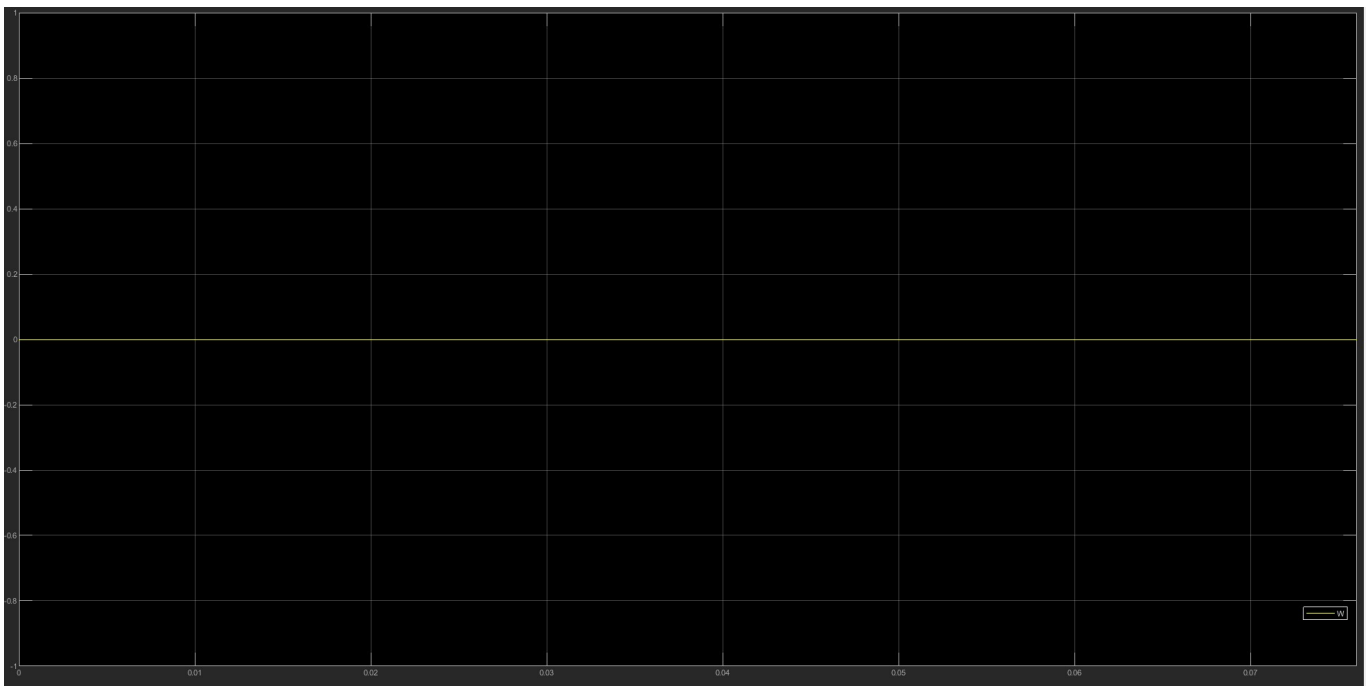


Figura 24: Velocidad Angular (W).

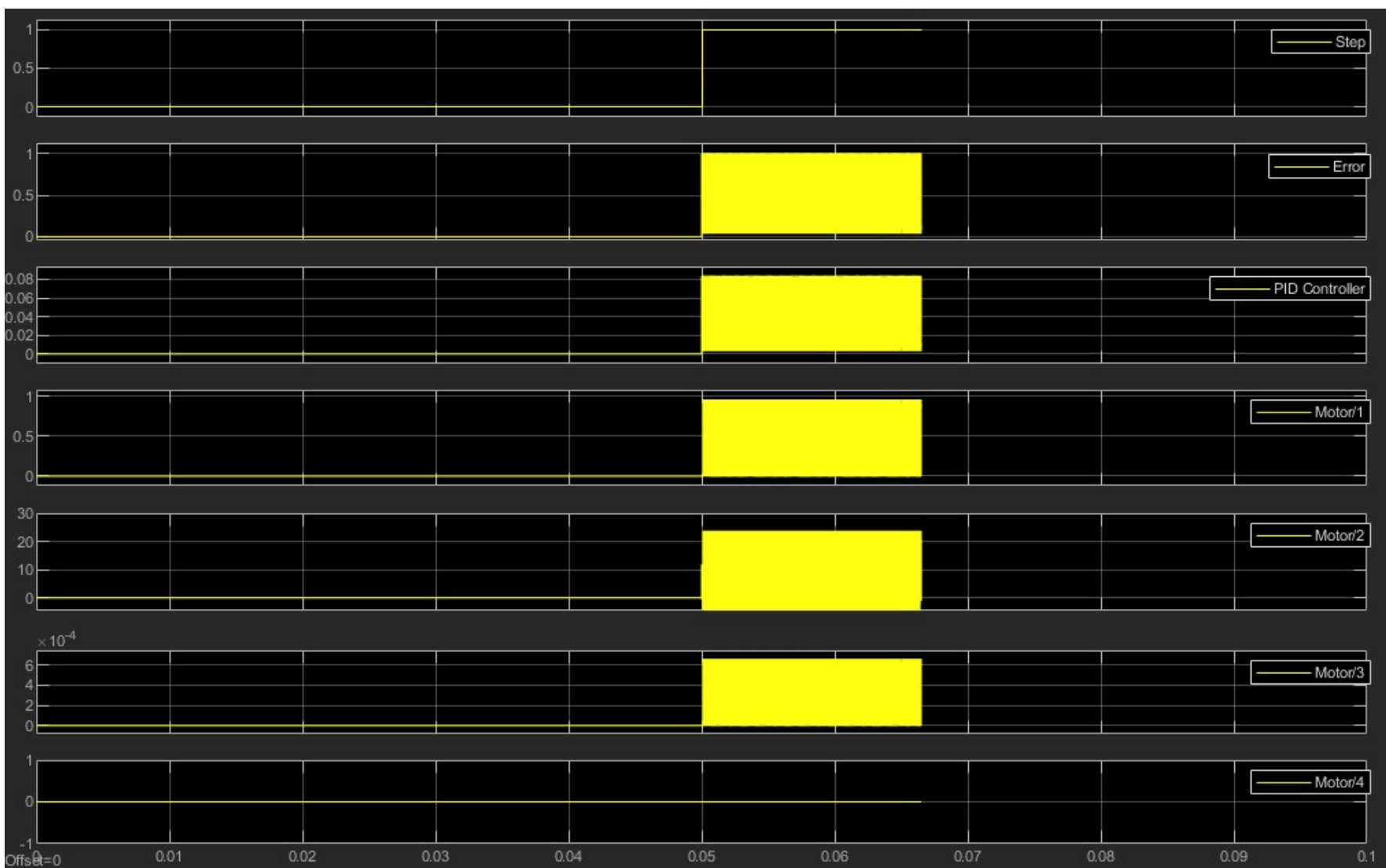


Figura 25: Gráfico completo Sistema en Lazo Cerrado PID-Puente H.

Nota: La primera gráfica representa la entrada escalón, la segunda el error, la tercera el controlador PID, la cuarta la intensidad I_a , la quinta el voltaje del motor V_a , la sexta el torque T del motor, y la séptima la velocidad angular ω .

4. Discusión

Los resultados obtenidos revelan la capacidad del sistema de control en lazo cerrado para ajustar dinámicamente el par y la velocidad del motor de CD en respuesta a las variaciones de la señal de entrada. La implementación del puente H demostró ser una mejora significativa en comparación con el sistema de amplificador lineal inicial, como se evidencia por la reducción del error y el aumento de la precisión en el seguimiento de la referencia.

La comparación de las señales de error antes y después de la modificación del sistema subraya la efectividad de la retroalimentación en la minimización de errores, lo que es crucial en aplicaciones donde la precisión y la respuesta rápida son fundamentales. Además, la adaptabilidad del sistema ante cambios en las condiciones de operación fue claramente mejorada, lo que sugiere que la configuración con puente H podría ser más adecuada para entornos industriales complejos.

Estos hallazgos tienen importantes implicaciones prácticas y teóricas dentro del campo de la Ingeniería Mecatrónica. Sugerimos que futuros trabajos podrían explorar la optimización de los parámetros del controlador PID para diferentes tipos de carga y condiciones operativas, para extender aún más la aplicabilidad de este enfoque.

Conclusiones

- Cerda Parra Luis Oscar: A lo largo de la práctica se ejecutó, analizó e implementó un control de par con dos tipos de amplificadores, obteniendo distintos resultados. Nos brinda un panorama mas amplio de las implementaciones existentes en cuanto a amplificadores se refiere. Siendo el puente H la aproximación mas util a lo necesitado debido a que en la realidad se presentan diferentes retos como la sintonización de las ganancias y ancho de banda.

En resumen, la práctica de control de par proporciona una oportunidad para explorar y comparar diferentes técnicas de control de motores y comprender las ventajas y desventajas de cada enfoque en función de las necesidades específicas del sistema.

- Diaz Bello Diego: Se ha evidenciado la eficacia del control de par en motores de CD mediante la implementación de un puente H, reflejando una mejora notable sobre las configuraciones previas con amplificadores lineales. La transición a la tecnología de puente H no solo ha permitido una gestión más precisa del par y la velocidad, sino que también ha destacado por su capacidad para adaptarse a variaciones significativas sin sacrificar el rendimiento. Cabe mencionar que la implementación de un controlador PI en este sistema, refleja una mejor eficiencia para el factor de estabilidad

- Vázquez Galán Josá Emmanuel: Este reporte ha detallado el diseño, implementación y evaluación de un sistema de control de par para un motor de corriente continua utilizando un puente H. A través de este estudio, hemos demostrado cómo la aplicación de los principios de control en lazo cerrado no solo mejora la precisión en el seguimiento de la referencia sino que también aumenta la eficiencia del sistema en su conjunto.

La implementación del puente H, en particular, ha mostrado ser una mejora sustancial sobre el sistema original con amplificador lineal. Este cambio ha permitido una regulación más fina y precisa del par y la velocidad, lo que se traduce en una capacidad mejorada del sistema para adaptarse a variaciones y perturbaciones externas sin comprometer el desempeño.

Bibliografía

- [1] N. S. Nise, Control Systems Engineering, 6th ed. Pomona, CA: California State Polytechnic University, John Wiley Sons, Inc., 2011.
- [2] G. H. Salazar Silva, Control de par en lazo cerrado para un motor de CD,"Trabajo en clase, ciclo escolar 2024/2.