

Guía de Laboratorio: Implementación y Evaluación de un Entorno Hardware-in-the-Loop (HIL) en un Sistema Dinámico de Posición.

¿Sabes que es el Hardware-in-the-Loop (HIL)?

El Hardware-in-the-Loop (HIL) es una técnica que permite llevar la simulación a un nivel más realista: en lugar de ejecutar el modelo únicamente en el computador, este se conecta con un hardware que corre en **tiempo real**, reproduciendo el comportamiento de la planta. De esta manera, se pueden observar fenómenos como retardos, ruido y limitaciones que en una simulación ideal no aparecen. El valor del HIL está en que acerca la teoría a la práctica, ofreciendo un entorno seguro, económico y muy cercano a lo que sucede en sistemas físicos reales.

En nuestro caso, utilizaremos la tarjeta LaunchPad C2000 para implementar el HIL de un motor de posición DC. Lo interesante es que la propia tarjeta se encarga de cerrar el lazo por medio de sus pines, de modo que no solo veremos los resultados en la pantalla del computador, sino también una salida en voltaje que representa la dinámica del sistema y que podremos observar en el osciloscopio en tiempo real. Así, cada modelo que los estudiantes desarrollen dejará de ser únicamente una simulación abstracta y se convertirá en una respuesta tangible, clara y medible.

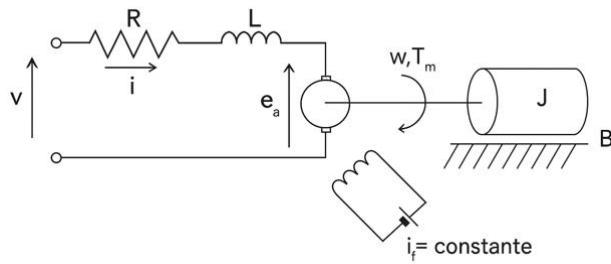
Objetivos

- Comprender el concepto de Hardware-in-the-Loop y su importancia en la simulación de sistemas dinámicos.
- Modelar el motor de posición DC a partir de sus parámetros y obtener su función de transferencia.
- Comparar la respuesta del modelo obtenido en Simulink con la respuesta observada en el entorno HIL.
- Observar y analizar en el osciloscopio la señal de salida generada por la tarjeta, identificando su relación con la dinámica del sistema modelado.

Requisitos previos

- Matlab
- Simulink
- Simscape
- Control System Toolbox.
- LaunchPad C2000 F28379D

Modelamiento de posición de un motor DC



Sección eléctrica:

se realiza la malla en el componente eléctrico

$$L \frac{di(t)}{dt} = v(t) - R \cdot i(t) - Ea(t) \quad (1)$$

$Ea(t)$ es una tensión generada que resulta cuando los conductores de la armadura se mueven a través del flujo de campo establecido por la corriente del campo i_f

Sección mecánica:

El modelo mecánico está dado por :

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} = Tm(t) - B \cdot \frac{d\theta}{dt} \quad (2)$$

- $Tm(t)$ es el torque del motor
- B es el coeficiente de fricción equivalente al motor a la carga sobre el eje del motor
- J es el momento de Inercia total de rotos y de la carga con relación al eje del motor
- $w(t)$ es la velocidad angular del motor.

Para realizar la interacción entre la sección eléctrica y mecánica, se describen las siguientes ecuaciones:

$$Ea(t) = Ka \cdot w(t) = Ka \frac{d\theta}{dt} \quad (3)$$

$$Tm(t) = Km \cdot i(t) \quad (4)$$

Se aplica la transformada de Laplace a las 4 ecuaciones que describen el funcionamiento del motor dc

$$L \frac{di(t)}{dt} = v(t) - R \cdot i(t) - Ea(t) \quad (1) \rightarrow Ls i(s) = v(s) - Ri(s) - Ea(s) \quad (5)$$

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} = Tm(t) - B \cdot \frac{d\theta}{dt} \quad (2) \rightarrow Js^2\theta(s) = Tm(s) - Bs\theta(s) \quad (6)$$

$$Ea(t) = Ka \frac{d\theta}{dt} \quad (3) \rightarrow Ea(s) = Kas\theta(s) \quad (7)$$

$$Tm(t) = Km \cdot i(t) \quad (4) \rightarrow Tm(s) = Kmi(s) \quad (8)$$

Se sustituye ec 7 y 8 en ec 5:

$$Ls \frac{Tm(s)}{Km} = v(t) - R \frac{Tm(s)}{Km} - Ka\theta(s)$$

$$v(s) = \frac{(R+Ls)Tm(s)}{Km} + Ka\theta(s) \quad (9)$$

De la ec 6 se obtiene $Tm(s)$:

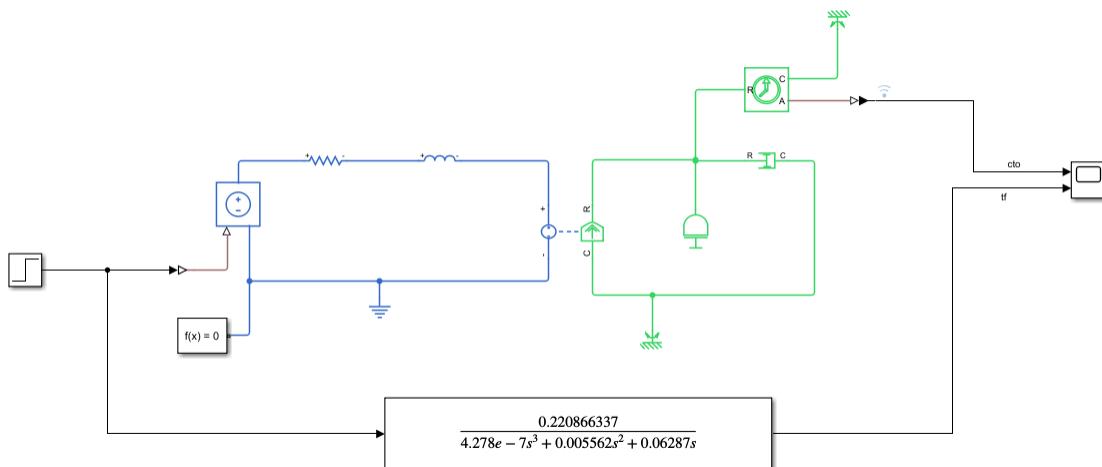
$$Tm(s) = \theta(s)(Js^2 + Bs) \quad (10)$$

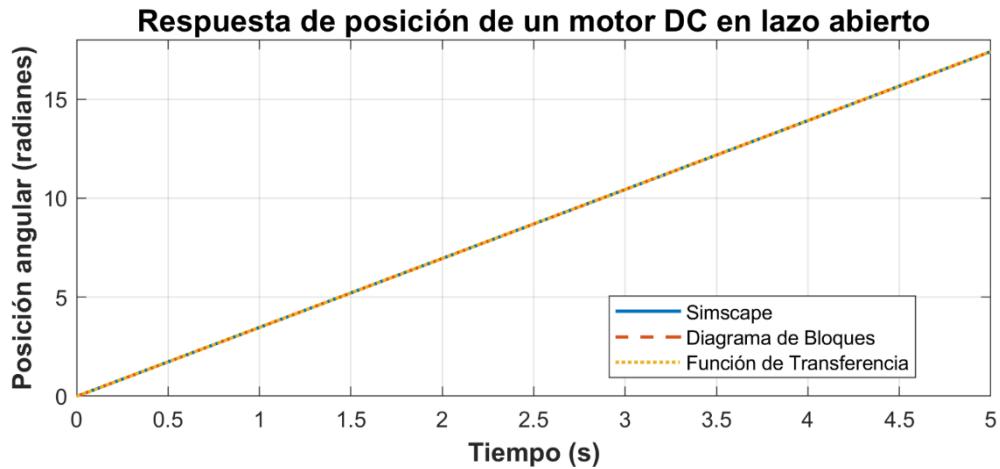
Reorganizando obtenemos la función de transferencia que relaciona posición y voltaje

$$\frac{\theta(s)}{v(s)} = \frac{km}{s(LJs^2 + (RJ + LB)s + RB + KmKa)}$$

Implementación y Comparación de Modelos de Motor DC

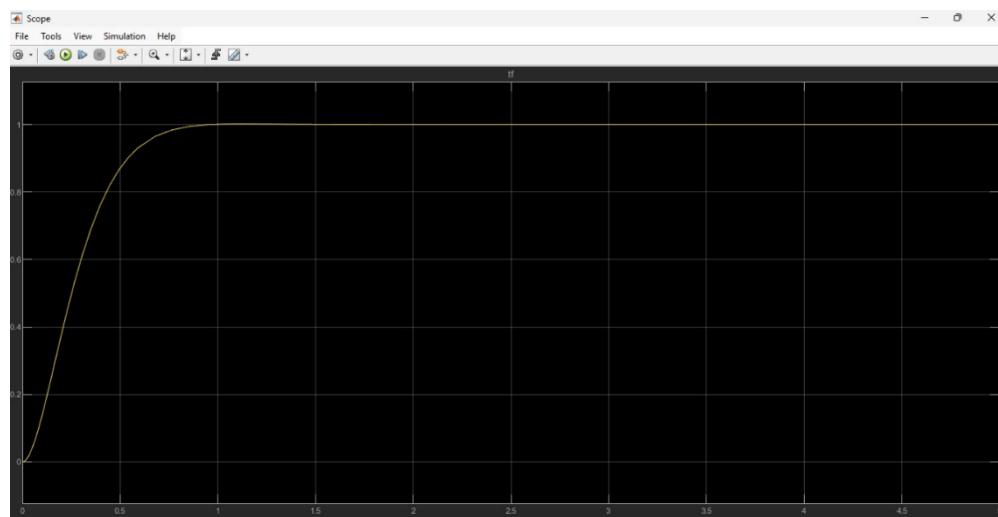
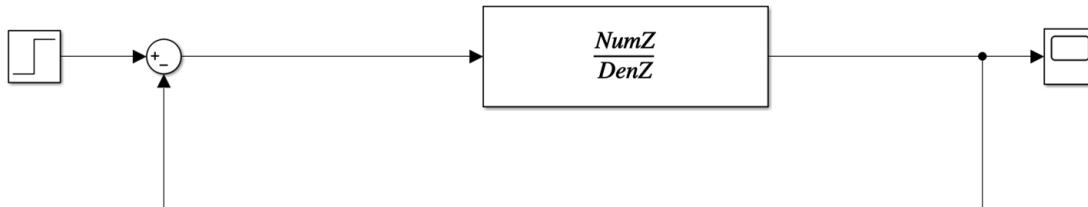
1. Implementar la Función de Transferencia: Reemplace los parámetros dados en la función de transferencia e impleméntela en un modelo de Simulink. Observe la respuesta dinámica del sistema en un Scope.
2. Construir el Modelo en Simscape: En un modelo separado de Simulink, cree la representación de un motor DC utilizando bloques de Simscape como se muestra en la figura. Reemplace los parámetros del motor con sus propios valores y observe la dinámica de esta planta en un Scope.
3. Comparar las Respuestas: Compare las respuestas dinámicas obtenidas en los dos modelos anteriores. Ambas simulaciones deben mostrar una respuesta idéntica para validar que la función de transferencia describe de manera precisa el comportamiento del modelo físico.



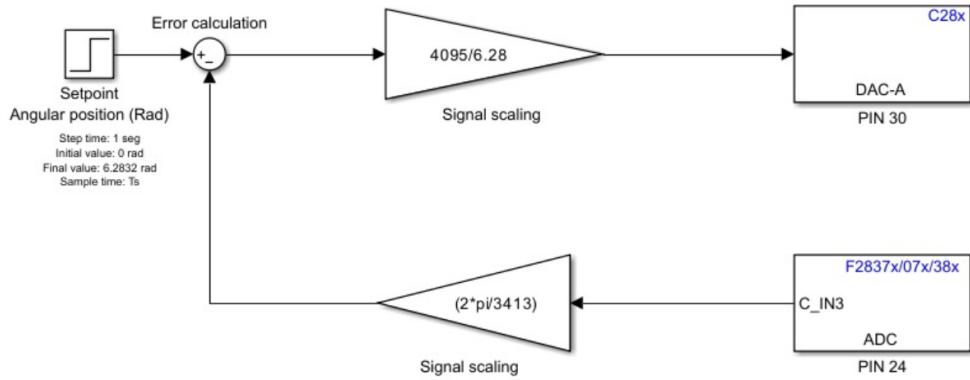


En el siguiente enlace encontrarán un video de referencia para desarrollar el modelo en Simscape: <https://www.youtube.com/watch?v=SqVTwnu941g>

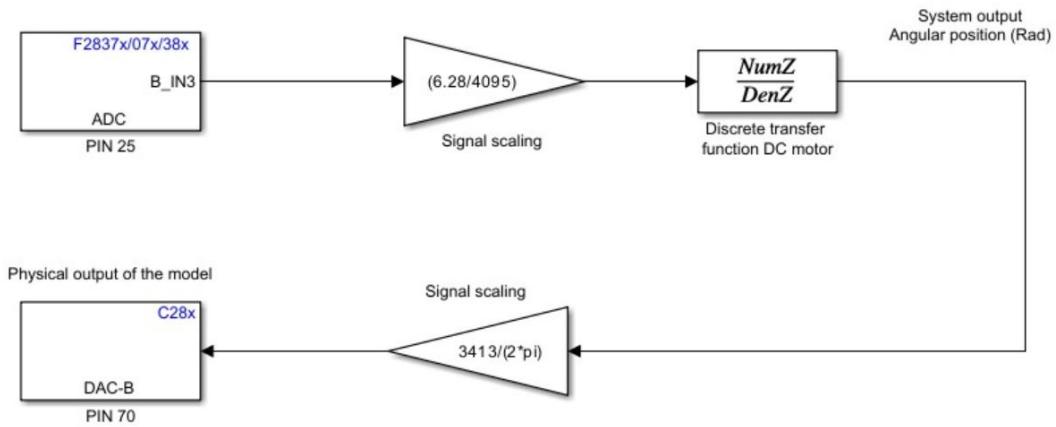
4. Cierre el lazo empleando únicamente el bloque *Transfer Function* y observe la salida del sistema en lazo cerrado. La respuesta obtenida debe corresponder al comportamiento típico de un sistema de primer orden.



5. Abre el modelo “Setpoint_open” el cual contiene el setpoint del sistema junto con el sumador que cerraría el lazo.

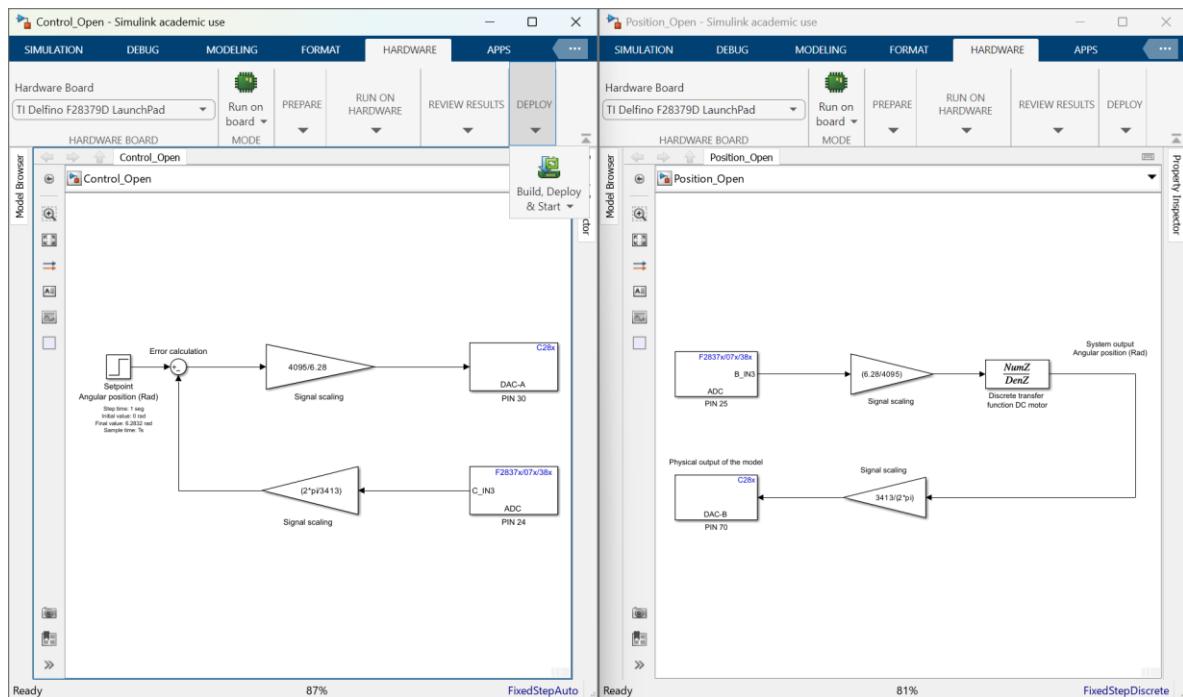


6. Abre el modelo “Position_open” el cual contiene la función de transferencia del modelo de posición del motor con los parámetros asignados.



7. Para implementar el esquema Hardware-in-the-Loop, el modelo se ejecutará en dos núcleos. Esto requiere una conexión física entre ambos mediante los periféricos DAC y ADC de la tarjeta. Conecte un jumper entre los pines 30 y 25, y otro entre los pines 24 y 70. La salida del sistema podrá observarse en el pin 70, correspondiente al DAC-B de la tarjeta.

8. Para facilitar la visualización del modelo, se recomienda dividir la pantalla y mantener abiertas ambas pestanas. A continuación, diríjase a la pestaña *Hardware* y seleccione *Build, Deploy & Start* en cada archivo. De este modo, el modelo se ejecutará directamente en la tarjeta sin requerir comunicación con el PC. El archivo que contiene el setpoint y el sumador de retroalimentación se cargará en el núcleo 1, mientras que el archivo con la función de transferencia de la planta se cargará en el núcleo 2 de la tarjeta.



9. Una vez cargado el modelo en ambos núcleos, utilice un osciloscopio para visualizar la señal de salida en el DAC-B de la tarjeta. Compare esta señal con la obtenida de manera *offline* en la simulación; ambas deben mostrar la misma respuesta.



PARAMETROS

Grupo 1 Ra = 16.3830; La = 9.1500e-04; J = 0.000013684; B = 7.53119e-04; Km = 0.233401184; Ka = 0.233401184; Set point = 2π	Grupo 2 Ra = 17.8025; La = 9.5220e-04; J = 0.000032566; B = 6.48316e-04; Km = 0.209591921; Ka = 0.209591921; Set point= π	Grupo 3 Ra = 12.9410; La = 1.3844e-03; J = 0.000028741; B = 8.43060e-04; Km = 0.247091646; Ka = 0.247091646; Set point = $\pi/2$	Grupo 4 Ra = 14.9456; La = 1.0538e-03; J = 0.000039477; B = 1.05270e-03; Km = 0.204695726; Ka = 0.204695726; Set point = $\pi/3$
Grupo 5 Ra = 15.5254; La = 8.6160e-04; J = 0.000038599; B = 1.02940e-03; Km = 0.241712255; Ka = 0.241712255; Set point = $\pi/4$	Grupo 6 Ra = 13.2749; La = 1.0072e-03; J = 0.000025461; B = 9.03280e-04; Km = 0.194472885; Ka = 0.194472885; Set point = $\pi/2$	Grupo 7 Ra = 14.8567; La = 1.3203e-03; J = 0.000038173; B = 6.02313e-04; Km = 0.239020487; Ka = 0.239020487; Set point= $\pi/3$	Grupo 8 Ra = 18.2129; La = 1.1516e-03; J = 0.000029211; B = 1.04497e-03; Km = 0.198463807; Ka = 0.198463807; Set point = 2π
Grupo 9 Ra = 13.3754; La = 1.4519e-03; J = 0.000029326; B = 7.90919e-04; Km = 0.225290807; Ka = 0.225290807; Set point = 2π	Grupo 10 Ra = 16.0588; La = 1.2922e-03; J = 0.000043129; B = 6.19266e-04; Km = 0.224256786; Ka = 0.224256786; Set point = $\pi/3$	Grupo 11 Ra = 14.8152; La = 9.7611e-04; J = 0.000037911; B = 8.53446e-04; Km = 0.239024004; Ka = 0.239024004; Set point = $\pi/4$	Grupo 12 Ra = 14.7078; La = 9.5390e-04; J = 0.000032589; B = 7.77428e-04; Km = 0.205546138; Ka = 0.205546138; Set point = $\pi/2$
Grupo 13 Ra = 17.7137; La = 1.0888e-03; J = 0.000038189; B = 8.46547e-04; Km = 0.242864036; Ka = 0.242864036; Set point = π			