

Laboratorio 1: Consolidación de Competencias de Sistemas de Control 1

Objetivos

- Consolidar competencias desarrolladas en el curso de Sistemas de Control 1.
- Diseñar y simular controladores PID digitales.
- Comparar datos de simulación con mediciones físicas de un circuito eléctrico.

Duración: 2 sesiones

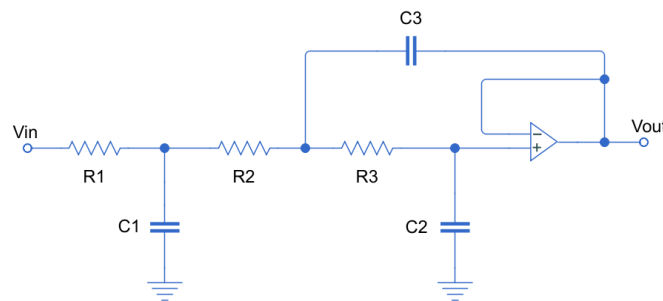


Figura 1. Circuito a trabajar en el laboratorio 1.

Primera Parte: Lazo abierto (Simulación)

1. Consideren los siguientes valores de resistencias y capacitancias para el circuito mostrado en la Figura 1: $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = R_3 = 10 \text{ k}\Omega$.
 $C_1 = 1 \text{ }\mu\text{F}$, $C_2 = 0.1 \text{ }\mu\text{F}$, $C_3 = 10 \text{ }\mu\text{F}$.
2. En Simulink, **obtengan la respuesta del circuito a un escalón de 5 V**. Usen el circuito con componentes de Simscape, no un bloque de función de transferencia. Ajusten el bloque *Step* para que el escalón se dé en el tiempo $t = 0$. Ajusten el tiempo de simulación y la escala temporal del bloque *Scope* para mostrar 0.8 s. **Para este y todos los resultados a continuación, muestren tanto la entrada como la salida en las imágenes.**
3. Usando ahora un bloque de función de transferencia en Simulink, **obtengan la respuesta del sistema a un escalón de 5 V**. Usen las mismas configuraciones de los bloques *Step* y *Scope* del inciso anterior.
4. Dada la función de transferencia encontrada en el pre-laboratorio, sus análisis y sus observaciones, **¿creen que un sistema canónico de orden 2 es buena aproximación a nuestro sistema? Justifiquen su respuesta.**
5. **Determinen las siguientes cantidades:** tiempo de subida (t_r), tiempo de pico (t_p), tiempo de asentamiento (t_s), coeficiente de amortiguamiento (ζ), porcentaje de sobre oscilación (M_p), error en estado estable (e_{ss}). **Ayuda:** Pueden usar la función `linearSystemAnalyzer`.

Segunda Parte: Lazo abierto (Armado del Circuito Físico)

1. Busquen un Opamp TL081 y los resistores y capacitores adecuados según los valores en el inciso 1 de la Primera Parte.
2. Armen el circuito en un protoboard.
3. Usen el generador de funciones para obtener una señal que se asemeje a un escalón de 5 V (usen una señal cuadrada de frecuencia baja). Conecten la señal al circuito. **Observen en el osciloscopio tanto la entrada como la salida del circuito. Ajusten las escalas tal que sean lo más parecidas a las del Scope usado en los incisos 2 y 3 de la Primera Parte.**
4. **Determinen las siguientes cantidades:** tiempo de subida (t_r), tiempo de pico (t_p), tiempo de asentamiento (t_s), coeficiente de amortiguamiento (ζ), porcentaje de sobre oscilación (M_p), error en estado estable (e_{ss}).

Tercera Parte: Controlador PID (Simulación)

1. Diseñen un controlador PID que cumpla con las siguientes especificaciones (se asume una referencia de escalón):

$$e_{ss} = 0$$

$$5 \text{ ms} < t_r < 10 \text{ ms}$$

$$t_s < 100 \text{ ms}$$

$$10\% < M_p < 20\%$$

En su reporte deberán incluir los parámetros de su controlador.

Nota: Consideren un componente derivativo ajustado (“Filter coefficient” $T_f \neq 0 \rightarrow$ PIDF en el *PID Tuner*).

2. Implementen el controlador diseñado en Simulink. Usen bloques PID (no tienen que usar los componentes eléctricos).
3. **Obtengan la respuesta del sistema controlado a un escalón de 5 V. En la imagen que reporten muestren tanto la entrada como la salida.** Ajusten el tiempo de simulación y la escala temporal para mostrar 0.25 s de las señales (a partir del cambio del escalón). Verifiquen que se cumplan las especificaciones dadas en el inciso 1. **Reporten los valores logrados.**

Cuarta Parte: Controladores Digitales (Diseño y Simulación)

En esta parte obtendrán controladores digitales a partir del controlador continuo encontrado en la Tercera Parte. Para ello, usarán varios métodos de discretización, indicados a continuación (para la planta y el controlador). En cada caso, deberán simular el sistema completo en Matlab/Simulink (**lazo cerrado, entrada de escalón de 5 V**). Es posible que los períodos de muestreo que funcionen mejor para cada caso sean distintos. También es posible que algunos períodos de muestreo no funcionen bien para ciertos casos.

Métodos:

- a) Tustin
- b) Zero-Pole Matching
- c) Backward Euler

Ayuda: Pueden usar la función `c2d` de Matlab para la discretización. El método Backward Euler no está disponible en esta función, por lo que tendrán que discretizar la planta “a mano” para dicho método (revisen las notas de teoría de Control 1). La función `pid` sí dispone del método Backward Euler, por lo que pueden usarla para encontrar la discretización del controlador correspondiente. Asegúrense de colocar los parámetros ‘Iformula’ y ‘Dformula’ correctamente al llamar a la función `pid`. En el *help* de la función se explica cómo hacerlo.

1. Discreticen la planta y el controlador usando los siguientes períodos de muestreo (en segundos): 0.001, 0.0001.

Para cada método de discretización y cada período, obtengan la función de transferencia equivalente en lazo cerrado (**ayuda:** pueden usar la función `feedback`). Con dichas funciones de transferencia, **obten gan las respuestas a un escalón de 5 V (con funciones de Matlab)**.

2. Armen ahora los sistemas en lazo cerrado en Simulink, usando bloques de función de transferencia y PID discretos. Para cada método y cada período, obtengan las respuestas a un escalón de 5 V. **Las imágenes que reporten deben mostrar tanto la señal de entrada como la salida**. Usen las mismas configuraciones de los bloques *Step* y *Scope* usadas en la Tercera Parte.

Ayuda: en los parámetros de los bloques PID discretos, deben seleccionar los métodos adecuados de *Integrator* y *Filter*, según la discretización.

3. En la próxima práctica deberán implementar físicamente los controladores digitales. Como parte de este laboratorio, **encuentren las ecuaciones de diferencias correspondientes a los controladores discretos del inciso 1 (para los tres métodos y ambos períodos)**. Estas ecuaciones les servirán para los programas que deberán crear en el laboratorio 2.

Importante: las ecuaciones de diferencias las obtienen a partir de las funciones de transferencia discretas de los controladores. NO usen las funciones de transferencia de la planta ni las funciones equivalentes en lazo cerrado.

Ayuda: Los controladores discretizados obtenidos con la función `pid` son variables de tipo `pid` (discreto). Al observar estas variables en la ventana de comandos, notarán que son expresiones en z que no están en forma de función racional. Para obtener una expresión más conveniente de las funciones de transferencia de los controladores, usen la función `tf`. Por ejemplo, si se tiene una variable llamada `PID_tustin`, de tipo `pid`, al aplicar `tf(PID_tustin)` se obtiene una variable tipo `tf` (discreto). La función de transferencia de las variables tipo `tf` sí tiene la forma de función racional. A partir de dichas funciones es fácil obtener los coeficientes para las ecuaciones de diferencias correspondientes.

Reporte y Evaluación:

A más tardar una semana después de la segunda sesión (el día de inicio del laboratorio 2), deberán subir un reporte (.pdf) a Canvas (uno por pareja de laboratorio).

El reporte deberá incluir:

- 1) **Identificación:** sus nombres, carnés, nombre del curso, sección de laboratorio (11, 12 o 21), número y título del laboratorio, fecha.
- 2) Un **Resumen** de la práctica, incluyendo los objetivos y lo más destacado de sus resultados obtenidos (máximo media página).
- 3) Una sección de **Resultados**, en la que incluyan todas las ecuaciones, funciones, gráficas, imágenes y demás resultados obtenidos (prelaboratorio y guía). También deben incluir las respuestas a las preguntas planteadas en la guía (breves, al punto). Numeren y titulen todas las gráficas, figuras, tablas, etc. **Asegúrense de incluir todo lo requerido en esta guía y en el prelaboratorio. Se verificará que esté todo lo indicado en color azul.**

USEN LA NUMERACIÓN DE LA GUÍA PARA ORGANIZAR SUS RESULTADOS. Por ejemplo, la gráfica del inciso 2 de la Primera Parte de la guía debe estar bajo el numeral 2 de una sección titulada “Primera Parte” en el reporte. Si lo prefieren, pueden numerar las secciones así: 1.1, 1.2, ..., 2.1, etc. Los incisos de la guía que no requieran resultados no necesitan aparecer en el reporte (por ejemplo, el inciso 1 de la Primera Parte o los incisos 1 y 2 de la Segunda Parte).

Usen tablas para organizar parámetros y resultados numéricos. **Asegúrense de numerar y titular todas las figuras/gráficas y tablas** (ej. Figura 1. Respuesta a un escalón de 5 V en lazo abierto, simulación).

En cuanto a los **resultados del prelaboratorio**, no necesitan reescribir el análisis del circuito hecho a mano con un editor de ecuaciones. **Pueden escanearlo o tomarle una fotografía, e incluir la imagen en el reporte.** Sin embargo, **sí deben escribir las funciones de transferencia finales con un editor de ecuaciones** (la simbólica, en términos de R_1 , R_2 , etc., y la numérica). Pueden organizar los resultados bajo una sección “Prelaboratorio”, o una sección número 0.

Asistencia y trabajo en el laboratorio:	30%
Reporte (.pdf):	70%