

GUÍAS DE PRÁCTICAS



**INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS DE
LA RESPUESTA TRANSITORIA
DE SISTEMAS DE CONTROL
ANÁLOGOS MEDIANTE
MATLAB Y SIMULINK**

Carlos Eduardo Guevara Nichoy
Universidad Cooperativa de Colombia
Sede Bogotá

Documentos de docencia | Course Work
coursework.ucc.edu.co
N.º 23, noviembre de 2016
doi: <http://dx.doi.org/10.16925/greylit.1906>

NOTA LEGAL

El presente documento de trabajo ha sido incluido dentro de nuestro repositorio de literatura gris por solicitud del autor, con fines informativos, educativos o académicos. Asimismo, los argumentos, datos y análisis incluidos en el texto son responsabilidad absoluta del autor y no representan la opinión del Fondo Editorial o de la Universidad.

DISCLAIMER

This coursework paper has been uploaded to our grey literature repository due to the request of the author. This document should be used for informational, educational or academic purposes only. Arguments, data and analysis included in this document represent authors' opinion not the Press or the University.



ACERCA DEL AUTOR

Carlos Eduardo Guevara Nichoy Magíster en Ingeniería Electrónica de la Pontificia Universidad Javeriana. Profesor de tiempo completo del programa de Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Cooperativa de Colombia, sede Bogotá, Colombia.

Correo electrónico: carlos.guevarab@campusucc.edu.co

CÓMO CITAR ESTE DOCUMENTO

C. E. Guevara Nichoy. *Introducción al análisis de la respuesta transitoria de sistemas de control análogos mediante matlab y Simulink*. (Documento de docencia N° 23). Bogotá: Ediciones Universidad Cooperativa de Colombia, 2016. Doi: <http://dx.doi.org/10.16925/greylit.1906>

Este documento puede ser consultado, descargado o reproducido desde nuestro repositorio de documentos de trabajo (<http://coursework.ucc.edu.co>) para uso de sus contenidos, bajo la licencia de Creative Commons Reconocimiento-No Comercial-Sin Obra Derivada 4.0 Internacional. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



TABLA DE CONTENIDO

REGLAMENTO	5
INTRODUCCIÓN	5
MARCO TEÓRICO	5
Respuesta transitoria para sistemas de primer orden	5
Respuesta transitoria para sistemas de segundo orden	6
OBJETIVOS	7
General	7
Específicos	7
DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES Y PROCEDIMIENTOS DE LA PRÁCTICA	7
Análisis de sistemas de control mediante MATLAB	7
Análisis de sistemas de control mediante Simulink	10
Descripción de actividades	13
Referencias	13
PARÁMETROS PARA LA ELABORACIÓN Y PRESENTACIÓN DEL INFORME	14

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1. Características de sistemas de control de primer orden ante diferentes señales de entrada	6
Figura 1. Respuesta o señal de salida del sistema $G(s)$ sometido a una entrada escalón unitario.	8
Figura 2. Respuesta o señal de salida del sistema $G(s)$ sometido a una entrada rampa unitaria.	9
Figura 3. Respuesta o señal de salida del sistema $G(s)$ sometido a una entrada impulso unitario.	10
Figura 4. Comando Simulink la ventana de comandos de MATLAB.	10
Figura 5. Ventana de navegación de librerías de Simulink.	10
Figura 6. Espacio de construcción de modelos de Simulink.	11
Figura 7. Modelo del sistema de control construido en el espacio de trabajo de Simulink.	11
Figura 8. Modelo definitivo del sistema de control construido en el espacio de trabajo de Simulink.	12
Figura 9. Señal de salida o respuesta del sistema de primer orden sometido a una entrada escalón unitario.	12

23 INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS DE LA RESPUESTA TRANSITORIA DE SISTEMAS DE CONTROL ANÁLOGOS MEDIANTE MATLAB Y SIMULINK

Carlos Eduardo Guevara Nichoy

RESUMEN

En la siguiente guía se pretende analizar la respuesta transitoria de sistemas de control análogos utilizando herramientas computacionales. Para ello, primero se desarrolla un marco teórico que actúe como base para la comprensión de este tipo de sistemas, esto es, parámetros que describen los sistemas de control, señales de prueba utilizadas y las características y propiedades de la respuesta del sistema. Asimismo, se presentan ejemplos de análisis de sistemas utilizando el software MATLAB Simulink que permite poner en contexto la utilidad del mismo. Por último, se hace una descripción de las actividades de la guía, así como de las condiciones o requisitos que debe cumplir el informe de la práctica realizada.

Palabras clave: MATLAB, respuesta en estado estable, respuesta transitoria, Simulink, sistema de control.



REGLAMENTO

- Leer atenta y cuidadosamente la guía de trabajo.
- Es recomendable realizar los ejemplos mostrados en la sección de “Descripción de actividades y procedimientos de la práctica” con el objetivo de familiarizarse con el software a trabajar.
- Por cada simulación o resultado obtenido debe existir un análisis o interpretación correspondiente, de lo contrario el desarrollo de dicho punto pierde total sentido.
- Las preguntas planteadas por el profesor deben ser resueltas en el informe de la práctica.
- Si tiene alguna pregunta no dude en consultar, no deje todo para último momento.
- El informe debe entregarse impreso en la fecha establecida por el profesor.

INTRODUCCIÓN

En esta guía práctica se pretende analizar y verificar con la ayuda de herramientas computacionales, el comportamiento de la respuesta transitoria de los sistemas de control trabajados en el aula de clase ante diferentes condiciones de operación y señales de entrada.

Se realizarán pruebas sobre sistemas de primer y segundo orden. En cada uno de estos se pretende contrastar los resultados prácticos con los resultados teóricos y evidenciar si estos son congruentes o si por el contrario, existen diferencias. Para esto se utilizará el software MATLAB, que a través de sus múltiples herramientas, permite realizar una comprobación rápida y robusta de los resultados y al mismo tiempo analizar el comportamiento del sistema.

Antes de desarrollar la guía se sugiere revisar los ejemplos propuestos en la misma, ya que servirán de orientación y pueden ayudar a solucionar cualquier inconveniente o inquietud que se pueda presentar en el desarrollo de la misma.

Al finalizar la guía se estará en la capacidad de analizar el comportamiento de la respuesta transitoria de cualquier sistema de control utilizando MATLAB Simulink. Esta competencia adquirida será sumamente útil para el normal desarrollo del curso en temas posteriores.

MARCO TEÓRICO

RESPUESTA TRANSITORIA PARA SISTEMAS DE PRIMER ORDEN

Los sistemas de control de primer orden [1] se caracterizan por tener un único polo en su función de transferencia, es por esto que se dice que su denominador es de primer orden. Este tipo de sistemas están caracterizados por un parámetro conocido como la *constante de tiempo del sistema*, denotado como τ y que se expresa en segundos. De la misma manera, tienen asociado un parámetro variable que se conoce como la *ganancia del sistema*, denotado como K .

La función de transferencia que describe este tipo de sistemas es la siguiente:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{K}{\tau s + 1}$$

$G(s)$ corresponde a la función de transferencia que describe el comportamiento del sistema, $Y(s)$ corresponde a la transformación de Laplace de la función que describe la *salida* en el dominio del tiempo del sistema $y(t)$; y $X(s)$ corresponde a la transformación de Laplace de la función que describe la *entrada* en el dominio del tiempo del sistema $x(t)$.



Para el análisis de la respuesta transitoria de los sistemas de control de primer orden se utilizarán diferentes señales de prueba (entrada al sistema de control descrito por la función de transferencia $G(s)$) que permitan representar o modelar señales reales comúnmente utilizadas. Estas señales de prueba son:

- Escalón unitario
- Rampa unitaria
- Impulso unitario

La presente guía no tiene como objetivo el desarrollo y análisis matemático del comportamiento de este tipo de sistemas ante cada una de las entradas mencionadas anteriormente. Para poner en contexto al lector, en la tabla 1 se resumen las principales características de este sistema, por simplicidad se asume que la ganancia $K=1$.

TABLA 1. Características de sistemas de control de primer orden ante diferentes señales de entrada

Sistemas de control de primer orden		
Entrada	Salida	Características
Escalón unitario: $x(t) = 1, t \geq 0$ $X(s) = \frac{1}{s}$	$y(t) = 1 - e^{-\frac{t}{\tau}}$	Alcanza el 63 % de su valor final cuando ha transcurrido un tiempo igual a la constante de tiempo del sistema τ Se asume que la respuesta transitoria del sistema termina cuando ha transcurrido un tiempo igual a cuatro veces la constante de tiempo del sistema τ La velocidad de respuesta del sistema está directamente relacionada con la constante de tiempo del sistema τ , entre menor sea, el sistema llega a su valor final más rápido y viceversa.

Rampa unitaria: $x(t) = t, t \geq 0$ $X(s) = \frac{1}{s^2}$	$y(t) = t - \tau + \tau e^{-\frac{t}{\tau}}$	Cuando la ganancia del sistema es $K=1$, el error entre la señal de entrada o referencia y la señal de salida cuando la respuesta transitoria ha desaparecido es igual a la constante de tiempo del sistema τ , razón por la cual entre menor sea, menor será el error entrada-salida del sistema.
Impulso unitario: $x(t) = \delta(t)$ $X(s) = 1$	$y(t) = \frac{1}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}}$	El efecto de la entrada tiende a desaparecer a medida que el tiempo crece, ya que el comportamiento de la señal de salida está determinado por una exponencial decreciente.

Fuente: elaboración propia

RESPUESTA TRANSITORIA PARA SISTEMAS DE SEGUNDO ORDEN

Los sistemas de control de segundo orden [1] se caracterizan por tener dos polos en su función de transferencia, es por ello que se dice que su denominador es de segundo orden. Este tipo de sistemas está caracterizado por dos parámetros: el *coeficiente de amortiguamiento*, denotado por ζ , y la *frecuencia de oscilación*, denotada por ω_n expresada en radianes por segundo. Al igual que los sistemas de primer orden, tienen asociado un parámetro variable que se conoce como la *ganancia del sistema*, denotada como K .

La función de transferencia que describe este tipo de sistemas es la siguiente:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{K\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

$G(s)$ corresponde a la función de transferencia que describe el comportamiento del sistema. $Y(s)$ corresponde a la transformación de Laplace de la función que describe la salida en el dominio del tiempo del sistema $y(t)$, y $X(s)$ corresponde a la transformación de Laplace



de la función que describe la *entrada* en el dominio del tiempo del sistema $x(t)$.

Para el análisis de la respuesta transitoria de los sistemas de control de segundo orden se utilizará únicamente la señal de entrada *escalón unitario*, ya que a partir de la salida a esta, se definen parámetros de desempeño de la respuesta transitoria, estos son:

- **Tiempo de retardo o *delay*:** tiempo requerido para que la respuesta o señal de salida del sistema alcance el 50 % de su valor final por primera vez desde el inicio de la respuesta.
- **Tiempo de subida:** tiempo requerido para que la respuesta o señal de salida del sistema pase del 10 % al 90 % de su valor final.
- **Tiempo de pico:** tiempo transcurrido hasta que el sistema alcance el máximo pico de amplitud de la respuesta o señal de salida.
- **Tiempo de establecimiento:** tiempo requerido para que el sistema alcance su valor final. Se asume que esto ocurre cuando la respuesta se encuentra en un rango de 2 % o 5 % alrededor de su valor final.
- **Máximo sobre-pico o sobrepaso:** medida en porcentaje de la relación del valor máximo en amplitud respecto al valor final de la respuesta del sistema o señal de salida del mismo.

Los sistemas de segundo orden se pueden clasificar de acuerdo con los valores que toma su *coeficiente de amortiguamiento* ζ en:

- No amortiguados u oscilatorios, cuando $\zeta=0$
- Sub amortiguados, cuando $0 < \zeta < 1$

- Críticamente amortiguados, cuando $\zeta=1$
- Sobre amortiguados, cuando $\zeta < 1$

Dependiendo de esta clasificación, algunos de los parámetros que definen la respuesta transitoria dejan de tener validez alguna.

OBJETIVOS

GENERAL

Analizar mediante MATLAB Simulink la respuesta transitoria de sistemas de control de primer y segundo orden.

ESPECÍFICOS

- Comprender los principales parámetros que definen las características primeras de la respuesta transitoria en sistemas de control de primer y segundo orden.
- Utilizar las funciones disponibles en MATLAB para el análisis de sistemas de control.
- Utilizar los bloques disponibles en Simulink para el análisis de sistemas de control.
- Verificar y contrastar resultados teóricos con los obtenidos con MATLAB Simulink.

DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES Y PROCEDIMIENTOS DE LA PRÁCTICA

ANÁLISIS DE SISTEMAS DE CONTROL MEDIANTE MATLAB

En esta guía se desarrolla el análisis de la respuesta transitoria de sistemas de primer y segundo orden utilizando el software MATLAB. Siendo coherentes con los contenidos trabajados en clase, se analizan respuestas transitorias ante señales de entrada de tipo escalón,



rampa e impulso, para analizar las características de la respuesta.

Representación de sistemas en MATLAB

Considere el siguiente sistema:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{25}{s^2 + 4s + 25}$$

La función de transferencia de un sistema se representa mediante dos arreglos de números, cada uno de los cuales contiene los coeficientes de los polinomios del numerador y denominador ordenados de acuerdo con la potencia más alta en forma descendente, de la siguiente manera:

```
num = [0 0 25]
```

```
den = [1 4 25]
```

Observe que, donde es necesario, se rellena con ceros.

Obtención de la respuesta ante una entrada escalón unitario

La función `Step` permite analizar el comportamiento del sistema descrito por la función de transferencia $G(s)$ ante una entrada escalón unitario. Esta recibe como argumentos los vectores de coeficientes de denominador y genera el gráfico de la respuesta del sistema. A continuación se muestran los comandos básicos:

```
step(num,den)
```

```
step(num,den,t)
```

Adicionalmente, la función permite especificar el tiempo de simulación a través del parámetro t , que corresponde a un vector de tiempo con el cual se especifica el tiempo de inicio y fin de la simulación.

Al considerar el sistema mostrado anteriormente, se encuentra la respuesta a un escalón unitario utilizando los siguientes comandos:

```
num = [0 0 25];
```

```
den = [1 4 25];
```

```
step(num,den)
```

El software arroja la figura 1 que corresponde a la respuesta o señal de salida del sistema que se está analizando al ser sometido a una entrada de tipo escalón unitario.

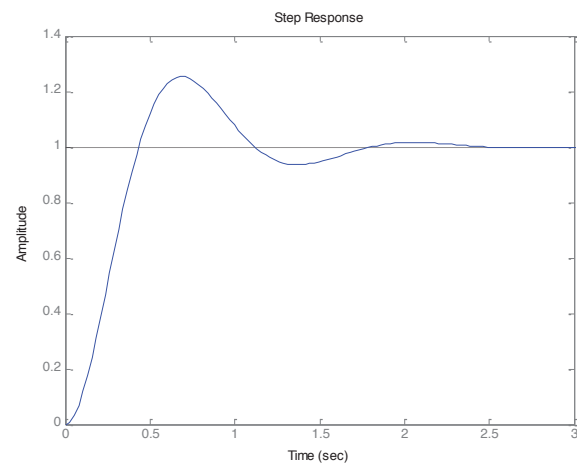


FIGURA 1. Respuesta o señal de salida del sistema $G(s)$ sometido a una entrada escalón unitario.

Fuente: elaboración propia

Obtención de la respuesta ante una entrada rampa unitaria

No hay un comando en MATLAB que permita obtener la respuesta de un sistema ante una entrada rampa unitaria de forma directa como sucede con la entrada escalón unitario. Por tanto, es necesario utilizar la función `step` para obtener la respuesta rampa, esto requiere una modificación en el polinomio del denominador de la función de transferencia del sistema que únicamente se tendrá en cuenta para realizar la simulación.

A continuación se demostrará cómo es posible obtener la simulación requerida utilizando la



función *Step*. Se emplea el sistema $G(s)$ con el que se ha trabajado anteriormente:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{25}{s^2 + 4s + 25}$$

Cuando la señal de entrada $X(s)$ es una rampa unitaria, se sabe que $X(s) = 1/s^2$, por lo tanto la salida del sistema se puede expresar de la siguiente manera:

$$Y(s) = \frac{25}{s^2 + 4s + 25} \frac{1}{s^2} = \frac{25}{(s^2 + 4s + 25)s} = \frac{25}{s^3 + 4s^2 + 25s}$$

En la última expresión es evidente que el sistema se encuentra sometido a una entrada escalón unitario cuya función de transferencia es $1/s$. Los nuevos coeficientes de los polinomios de numerador y denominador serían:

$$num = [0 \ 0 \ 0 \ 25];$$

$$den = [1 \ 4 \ 25 \ 0];$$

Al considerar los vectores anteriores que representan el sistema, se encuentra la respuesta a una rampa unitaria utilizando el siguiente comando:

$$step(num,den)$$

El software arroja entonces la figura 2 que corresponde a la respuesta o señal de salida del sistema que se está analizando cuando es sometido a una entrada de tipo escalón unitario.

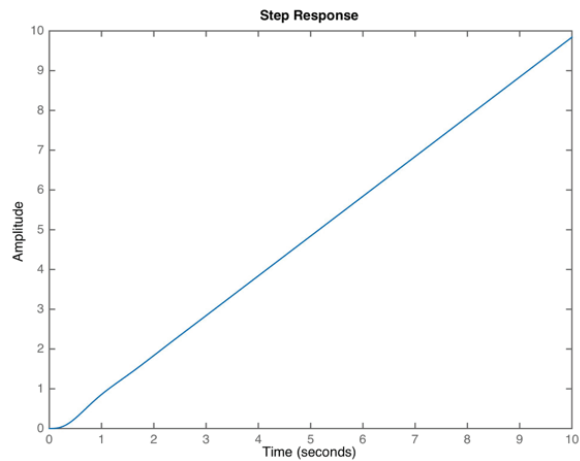


FIGURA 2. Repuesta o señal de salida del sistema $G(s)$ sometido a una entrada rampa unitaria.

Fuente: elaboración propia

Obtención de la respuesta ante una entrada impulso unitario

Para poder simular y analizar la respuesta de un sistema de control sometido a una entrada de tipo impulso unitario, se utiliza la función *impulse* de MATLAB. Esta recibe como argumentos, al igual que *Step*, los vectores de coeficientes de los polinomios de numerador y denominador de la función de transferencia. La función permite especificar el tiempo de simulación deseado. Si se pasa como tercer argumento, los comandos básicos son:

$$impulse(num,den)$$

$$impulse(num,den,t)$$

Al considerar el sistema mostrado anteriormente, se encuentra la respuesta a un impulso unitario utilizando los siguientes comandos:

$$num = [0 \ 0 \ 25];$$

$$den = [1 \ 4 \ 25];$$

$$impulse(num,den)$$

El software presenta ahora la figura 3 que corresponde a la respuesta o señal de salida

del sistema que se está analizando cuando se somete a una entrada de tipo escalón unitario.

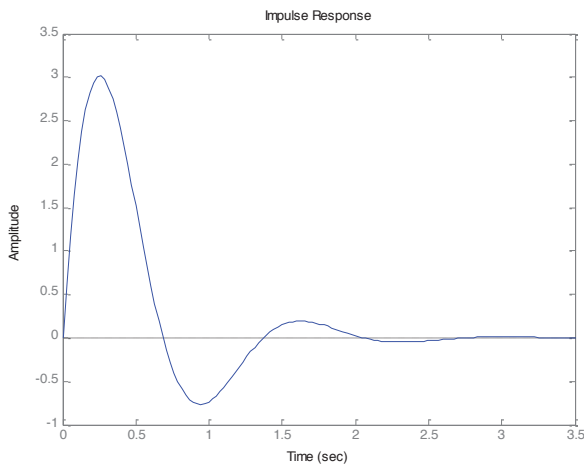


FIGURA 3. Respuesta o señal de salida del sistema $G(s)$ sometido a una entrada impulso unitario.

Fuente: elaboración propia

ANÁLISIS DE SISTEMAS DE CONTROL MEDIANTE SIMULINK

En esta guía se hace una introducción al trabajo con Simulink para el análisis de la respuesta o señal de salida de sistemas de control. Simulink es un entorno de programación visual que se basa en el diseño y análisis mediante modelos, cuenta con un editor gráfico y con una serie de bibliotecas o librerías para crear y simular un gran número de sistemas dinámicos. Adicionalmente, puede ser conectado con un hardware externo o con otros programas de análisis de sistemas, además de trabajar modelos en el propio programa.

Primeros pasos

Simulink viene preinstalado con el software de MATLAB, por lo que para empezar a trabajar basta con escribir en la ventana de comandos de MATLAB el comando `simulink`, como se muestra en la figura 4.



FIGURA 4. Comando Simulink la ventana de comandos de MATLAB.

Fuente: elaboración propia

Una vez se pulsa Enter en la ventana de comandos, aparece la ventana de navegación de librerías de Simulink que se muestra en la figura 5.

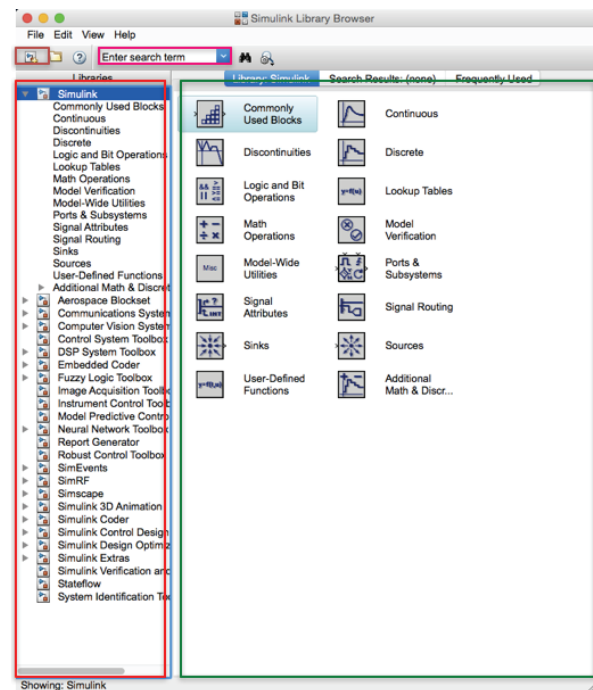


FIGURA 5. Ventana de navegación de librerías de Simulink.

Fuente: elaboración propia

En la figura 5 se pueden apreciar dos secciones, la primera –que está marcada en el recuadro rojo– corresponde a todas las librerías o *toolbox* agrupados por temáticas comunes con las que cuenta Simulink. El número de herramientas es bastante amplio, por lo que se podría diseñar, construir y simular un gran número de sistemas dinámicos. La sección encerrada por el recuadro verde corresponde a la ventana en la cual se despliegan los elementos contenidos en alguna librería o los resultados de una búsqueda de una herramienta en particular. Para buscar un bloque por nombre o por librería se utiliza la barra



de búsqueda que aparece en el recuadro de color fucsia.

Para crear un nuevo espacio de trabajo se hace clic sobre el ícono que aparece encerrado en el recuadro naranja de la figura 5 obteniendo el resultado que se muestra en la figura 6.

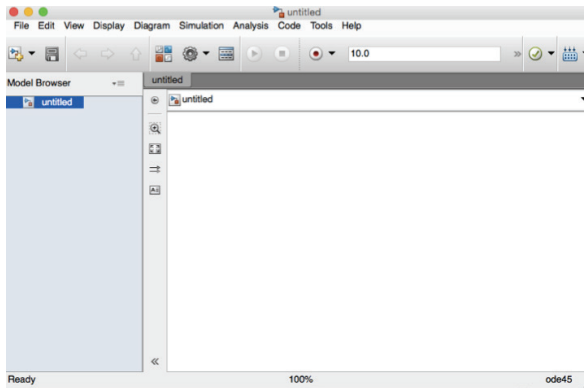


FIGURA 6. Espacio de construcción de modelos de Simulink.

Fuente: elaboración propia

Es en este espacio en el que se va a construir el modelo asociado al sistema de control que se quiera estudiar. Para empezar a ubicar los elementos en el espacio de trabajo basta con buscarlos en la ventana de librerías ilustrada en la figura 5 y arrastrarlos hasta allí. Los modelos construidos en Simulink se pueden guardar para trabajos posteriores y se almacenan en el disco duro como archivos con extensión .mdl.

Construir un modelo asociado a un sistema de control

Se va a analizar el comportamiento de un sistema de control de primer orden ante una entrada escalón unitario que está descrito por la siguiente función de transferencia:

$$G(s) = \frac{1}{0.5s + 1}$$

Para esto se necesitan los siguientes bloques o elementos:

- Bloque para generar la señal escalón (entrada al sistema) – *Step*.
- Bloque para representar el sistema a través de su función de transferencia – *Transfer Fcn*.
- Bloque para observar el comportamiento de la señal de salida – *Scope*.
- Bloque multiplexor – *Mux*.

Interconectando los elementos anteriormente mencionados, en el espacio de trabajo se genera el modelo mostrado en la figura 7.

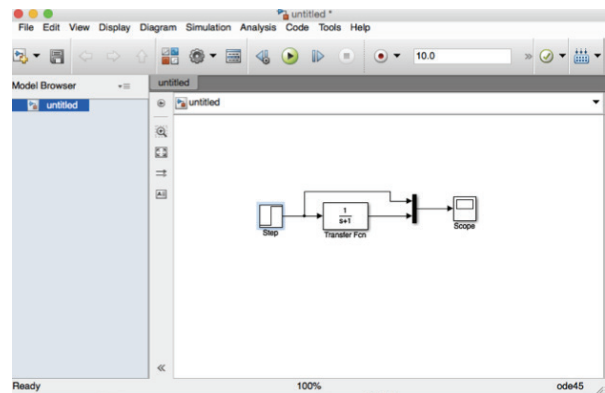


FIGURA 7. Modelo del sistema de control construido en el espacio de trabajo de Simulink.

Fuente: elaboración propia

El bloque *Step* tiene por defecto una amplitud igual a 1 y cambia su valor de amplitud de 0 a 1 en un lapso de tiempo de 1 segundo. Como el sistema planteado tiene una entrada de amplitud 2 y el cambio a este valor se da en un lapso de tiempo de 0 segundos, es necesario editar estas características, para lo que se hace doble clic en el elemento. El valor asociado a *Step time* se refiere al tiempo en el que ocurre el cambio de amplitud. Es necesario modificar este valor de 1 a 0. El parámetro *Final value* hace referencia al valor final de amplitud alcanzado por la señal.

En el bloque de la función de transferencia se observa que esta no corresponde al sistema que es objeto de estudio. Para modificarla

nuevamente, se hace doble clic sobre el bloque correspondiente. El parámetro *Numerator coefficients* hace referencia a los coeficientes del polinomio del numerador de la función de transferencia, mientras que el parámetro *Denominator coefficients* se refiere a los coeficientes del polinomio del denominador de la función de transferencia. Para obtener la función de transferencia planteada es necesario cambiar solamente el parámetro *Denominator coefficients* por $[0.5 \ 1]$, obteniendo el resultado que se muestra en la figura 8.

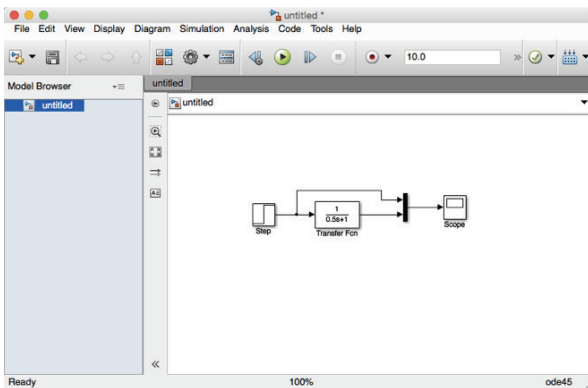


FIGURA 8. Modelo definitivo del sistema de control construido en el espacio de trabajo de Simulink.

Fuente: elaboración propia

Una vez todos los parámetros están ajustados, es hora de observar el comportamiento del sistema, para esto se hace clic sobre el botón Play de color verde y se espera a que el software simule la señal de respuesta del sistema.

Para observar la señal de salida o respuesta del sistema, se hace doble clic en el bloque Scope y se obtiene la señal que se muestra en la figura 9.

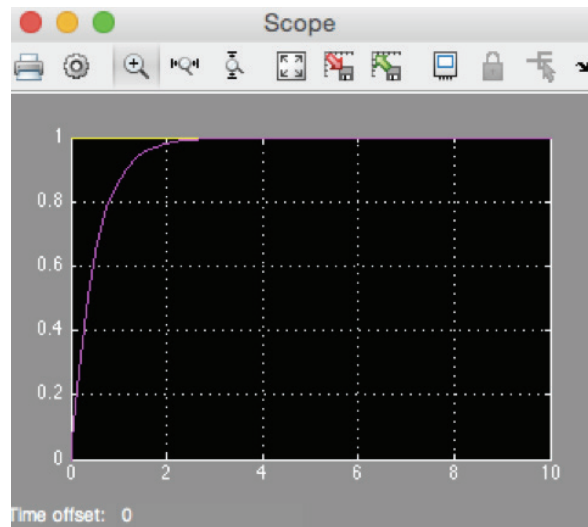


FIGURA 9. Señal de salida o respuesta del sistema de primer orden sometido a una entrada escalón unitario.

Fuente: elaboración propia

Se observa que el sistema planteado ante una entrada escalón unitario es capaz de seguir a su señal de entrada o referencia, y llega a su valor final en aproximadamente 2 segundos.

Con esta guía básica, basta con practicar e implementar un gran número de sistemas para familiarizarse con el uso de la herramienta.

Bloques comunes

- **Ramp:** bloque utilizado para generar una señal de tipo rampa.
- **Step:** bloque utilizado para generar una señal de tipo escalón.
- **Sum:** elemento utilizado para sumar dos o más señales y generar la señal resultante.
- **Transfer Fcn:** bloque utilizado para representar un sistema de control utilizando su función de transferencia continua.
- **Scope:** elemento utilizado como osciloscopio, permite observar y analizar diferentes tipos de señales.



- **Mux:** elemento multiplexor, toma varias señales y entrega una única señal que contiene la información de todas, útil para graficar más de una señal en un mismo osciloscopio.
- **PID Controller:** bloque que representa un controlador de tipo PID (Proporcional Integral Derivativo).

DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES

Teniendo en cuenta el contenido desarrollado anteriormente en la guía de trabajo y aquel estudiado en clase, realice la siguiente actividad para aplicar lo aprendido:

- Considere un sistema de control de segundo orden en lazo abierto que está descrito por la siguiente función de transferencia:

$$G(s) \# \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{1}{2s^2 + 2s + 2}$$

- Determine teóricamente los parámetros de la respuesta temporal del sistema (tiempo de subida, tiempo de pico, tiempo de establecimiento y máximo sobre-pico) cuando este se somete a una entrada escalón unitario.
- Realice la simulación de este sistema usando MATLAB Simulink y registre en una tabla los parámetros de la salida. Analice los resultados obtenidos y responda las siguientes preguntas:
 - ¿Son los resultados de la simulación congruentes con los resultados teóricos? Justifique su respuesta.

- ¿Cuál es el error existente entre las dos medidas (teórica y simulada)? ¿A qué puede atribuirse esta diferencia?
- Realice simulaciones del sistema cuando este se somete a una entrada rampa unitaria y a una señal impulso unitario.
 - ¿Qué puede concluir del comportamiento de la respuesta transitoria del sistema cuando se somete a estas entradas?
- Considere que el sistema mencionado ahora está inmerso en un sistema realimentado unitariamente y este se somete a una entrada escalón unitario y a una entrada escalón de amplitud 4.
 - Realice el cálculo teórico de los parámetros de la respuesta temporal cuando el sistema es sometido a las dos entradas.
 - Realice la simulación de este sistema usando MATLAB Simulink y analice los resultados obtenidos. Nuevamente responda las siguientes preguntas:
 - ¿Son los resultados de la simulación congruentes con los resultados teóricos? Justifique su respuesta.
 - ¿Cuál es el error existente entre las dos medidas (teórica y simulada)? ¿A qué puede atribuirse esta diferencia?
 - ¿Qué puede concluir del comportamiento de la respuesta transitoria del sistema cuando se somete a estas entradas?

REFERENCIAS

1. K. Ogata. *Ingeniería de control moderno*. México: Pearson Prentice Hall, 2010.



PARÁMETROS PARA LA ELABORACIÓN Y PRESENTACIÓN DEL INFORME

Para la presentación se debe realizar y entregar un informe escrito utilizando el formato de artículo IEEE que tenga la siguiente estructura guía:

- Título de la práctica desarrollada
- Autor o autores, que corresponden a las personas que desarrollaron la práctica sugerida
- Resumen o *abstract* que describa los objetivos de la práctica, el desarrollo de la misma y el análisis de resultados, y que asimismo exponga la manera como está organizado el informe.
- Introducción: en esta sección se describen los objetivos de la práctica en detalle, la manera en la que se relacionan con el marco teórico y posibles aplicaciones reales.
- Desarrollo de la práctica: en este fragmento se explica en detalle cómo se desarrolló la práctica de laboratorio. Es aquí donde se consignan los desarrollos matemáticos, simulaciones realizadas, gráficas, tablas, etc.
- Análisis de resultados: en este apartado se muestran y destacan los resultados obtenidos. Es aquí donde las preguntas realizadas en el numeral del desarrollo de actividades deben ser resueltas. Es en esta sección en la que los resultados obtenidos cobran relevancia y se relacionan con el marco teórico.
- Conclusiones: en esta sección se destacan los aprendizajes obtenidos de la práctica, así como los resultados de mayor relevancia o importancia.
- Referencias bibliográficas: se consignan todas las fuentes utilizadas para el desarrollo de la práctica.

