

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Departamento de Informática



Modelación y Simulación
Laboratorio 1

Christofer Allup
Israel Arias
Christian Méndez

Profesor: Gonzalo Acuña
Ayudante: Tomás López

Santiago – Chile

2023

TABLA DE CONTENIDO

Índice de tablas	v
Índice de ilustraciones	vii
1 Introducción	1
2 Márco teórico	3
3 Desarrollo Primera Parte	5
3.1 Primera ecuación	5
3.1.1 Lazo abierto primera ecuación	6
3.1.2 Lazo cerrado primera ecuación	7
3.2 Segunda ecuación	9
3.2.1 Lazo abierto segunda ecuación	10
3.2.2 Lazo cerrado segunda ecuación	11
3.3 Cuadro comparativo función 1 y función 2	13
4 Desarrollo Segunda Parte	15
5 Conclusiones	19
Bibliografía	21

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1	Tabla comparativa función 1 y función 2	13
-----------	---	----

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 3.1	Respuesta al escalón unitario en lazo abierto - Primera función	7
Figura 3.2	Respuesta al escalón unitario en lazo cerrado - Primera función	8
Figura 3.3	Respuesta al escalón unitario en lazo abierto - Segunda función	11
Figura 3.4	Respuesta al escalón unitario en lazo cerrado - Segunda función	12
Figura 3.5	Explicación de función stepinfo()	13
Figura 4.1	Diagrama de bloque segunda parte	15
Figura 4.2	Diagrama de bloque segunda parte con sus variables auxiliares	15
Figura 4.3	Diagrama de bloque segunda parte feedback	16
Figura 4.4	Diagrama de bloque segunda parte paralelo	16
Figura 4.5	Diagrama de bloque segunda parte H	17
Figura 4.6	Respuesta al escalón para la función de transferencia H	18

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

El concepto de sistema está presente en muchos lados dentro de nuestra realidad, de hecho, estamos rodeados de sistemas, para ejemplificar esta idea en primer lugar es correcto definir qué se entiende como sistema: Un sistema es un ente organizado, resultante de la interconexión de elementos básicos, que, según el juicio de un observador, tiene una finalidad y carácter determinado (Salgado et al., 2005). Como es posible notar la definición de sistema es vaga, de modo que ella permita describir situaciones tan disímiles como sea posible. Es así como la definición incluye casos como los de una red eléctrica, un motor hidráulico, un organismo vivo, la economía de un país, etc (Salgado et al., 2005).

Los sistemas pueden ser descritos como modelos matemáticos, esto permite que sean estudiados de forma más sencilla, es aquí donde herramientas como la función de transferencia son útiles para entender un sistema, las funciones de transferencia se usan frecuentemente en ingeniería para caracterizar las relaciones de entrada-salida de los sistemas lineales invariantes en el tiempo, y juegan un papel importante en el análisis y diseño de dichos sistemas (Galván, 2014).

El objetivo de esta primera experiencia de laboratorio para la asignatura Modelación y Simulación es realizar el análisis de sistemas lineales por medio de sus funciones de transferencia, a través del software MATLAB, se considerarán funciones de lazo abierto y cerrado, como la construcción de gráficos y diagramas, además de calcular respuestas del sistema escalones. Se consideran dos partes para esta experiencia, las cuales serán descritas en profundidad en las próximas secciones.

La realización de esta experiencia permitirá el interiorizar de mejor forma el contenido respecto al análisis y modelación de sistemas, además de su implementación en un ambiente más práctico como lo es una simulación computacional.

Este informe tiene la siguiente estructura: La presente introducción en donde se realizó una contextualización de lo que se tratara, la siguiente sección es un marco teórico en donde se explicaran los conceptos más relevantes para la comprensión de esta experiencia, para luego pasar al desarrollo de ambas partes de la experiencia de laboratorio, presentando procedimientos, explicaciones, resultados y figuras. Finalmente, en la última sección de conclusiones se realizará un resumen y recuento de lo más relevante de la experiencia de laboratorio.

CAPÍTULO 2. MÁRCO TEÓRICO

- Sistema: Conjunto de elementos que interactúan entre sí y con su entorno para cumplir una función específica. Los sistemas se utilizan para describir y analizar fenómenos complejos en distintos campos de estudio (Doebelin, 1995).
- Transformada de Laplace: Herramienta matemática que transforma una función de tiempo en una función de variable compleja, lo que permite analizar sistemas dinámicos, la resolución de ecuaciones diferenciales y ecuaciones integrales (Kuo, 1996.).
- Función de transferencia: Herramienta matemática que describe cómo un sistema dinámico responde a una entrada específica. También se puede entender como la relación entre la transformada de Laplace de la salida y la transformada de Laplace de la entrada para un sistema lineal e invariante en el tiempo (Kuo, 1996.).
- Conexión en serie: Método de conexión donde los componentes o subsistemas están conectados uno tras otro en una sola trayectoria. La salida de un componente se conecta a la entrada del siguiente y la señal fluye a través de cada componente en la misma dirección (Ogata, 2010).
- Conexión en paralelo: Método de conexión donde los componentes o subsistemas están conectados en diversos caminos diferentes, esto quiere decir que la señal se divide entre componentes o subsistemas y que la entrada es la misma en cada uno de ellos (Ogata, 2010).
- Lazo abierto: Sistema en el que la salida no afecta directamente a la entrada, esto quiere decir que el sistema no tiene en cuenta la salida o el estado actual del sistema para hacer ajustes o tomar decisiones (Franklin et al., 2002).
- Lazo cerrado: Sistema en el que su salida se utiliza para ajustar la entrada del sistema. A diferencia de un lazo abierto, se utiliza la salida actual para tomar decisiones y hacer ajustes continuos a la salida con el objetivo de que esta se mantenga en un rango específico (Franklin et al., 2002).
- Regla de Mason: Método que establece la transferencia entre una variable de entrada u y una salida y como el producto de sus transferencias directas dividido por la diferencia de retorno (Acuña, 2022).

La relación entre ambas variables se puede apreciar en la ecuación 2.1:

$$Diferencia\ de\ retorno = 1 + (Producto\ transferencias\ del\ lazo) \quad (2.1)$$

- Ganancia estática: Corresponde al cambio en la variable de salida de un sistema en respuesta a un cambio en la variable de entrada, en un régimen permanente. También se puede entender una medida de la relación entre la magnitud de la señal de entrada y la señal de salida en un estado estacionario (Ogata, 2010).
- Tiempo de estabilización: Tiempo que tarda la respuesta del sistema en llegar y permanecer dentro de un rango de tolerancia especificada luego de que se ha aplicado una entrada de referencia (Franklin et al., 2002).
- Ceros: Los ceros de una función de transferencia son los valores de s que hacen que la función de transferencia sea cero, esto quiere decir que los ceros son los valores de s que anulan el numerador de la función de transferencia, estos son importantes, ya que afectan la estabilidad, la respuesta transitoria y la respuesta en frecuencia de un sistema (Ogata, 2010).
- Polos: Los polos de una función de transferencia representan los puntos en el plano s donde la respuesta del sistema es infinita o no definida, estos son importantes, ya que determinan la estabilidad y la respuesta en frecuencia de un sistema (Ogata, 2010).

CAPÍTULO 3. DESARROLLO PRIMERA PARTE

En esta sección se desarrollan dos funciones, para ambas se calcula el lazo cerrado dada su función de transferencia **H**. Luego, utilizando la función **step** de MATLAB, se grafican las respuestas de lazo abierto y cerrado. Además, se realiza un cuadro comparativo entre los valores de ganancia estática, tiempo de estabilización, ceros y polos para el lazo cerrado y lazo abierto de cada función.

3.1 PRIMERA ECUACIÓN

A continuación, se calcula la función de transferencia H para la ecuación 3.1.

$$6\dot{y}(t) + 2y(t) = 8\dot{u}(t); \quad y(0) = 3; u(0) = 1 \quad (3.1)$$

En primer lugar, se aplica la transformada de Laplace en ambos miembros de la ecuación, para esto es necesario aplicar la transformada de una derivada en $\dot{y}(t)$ y $\dot{u}(t)$, dando así la ecuación 3.2.

$$6(sY(s) - y(0)) + 2Y(s) = 8(sU(s) - u(0)) \quad (3.2)$$

Al reemplazar por los valores $y(0) = 3$ y $u(0) = 1$, se obtiene la ecuación 3.3.

$$6(sY(s) - 3) + 2Y(s) = 8(sU(s) - 1) \quad (3.3)$$

Posteriormente se distribuyen los términos al exterior del paréntesis (ecuación 3.4).

$$6sY(s) - 18 + 2Y(s) = 8sU(s) - 8 \quad (3.4)$$

Se agrupan los términos que contienen $Y(s)$ al lado izquierdo de la ecuación (ecuación 3.5).

$$6sY(s) + 2Y(s) = 8sU(s) + 10 \quad (3.5)$$

Se factoriza la ecuación por el término $Y(s)$ (ecuación 3.6).

$$Y(s)(6s + 2) = 8sU(s) + 10 \quad (3.6)$$

Luego se divide en ambos lados de la ecuación por $6s + 2$ (ecuación 3.7).

$$Y(s) = \frac{8sU(s) + 10}{6s + 2} = \frac{4sU(s) + 5}{3s + 1} = \frac{4sU(s)}{3s + 1} + \frac{5}{3s + 1} \quad (3.7)$$

Dado que $H(s)$ es lo que multiplica a $U(s)$, se puede obtener el valor de la función $H(s)$ a partir de la ecuación 3.7. Además, se sabe que $H(s) = \frac{Y(s)}{U(s)}$, por lo que se obtiene la ecuación 3.8.

$$H(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{4s}{3s + 1} \quad (3.8)$$

Al obtener la función de transferencia H , es posible determinar la respuesta de lazo abierto y cerrado. Además, la función $u(t)$ corresponde al escalón unitario, por lo que su transformada de Laplace corresponde a $U(s) = \frac{1}{s}$.

3.1.1 Lazo abierto primera ecuación

En primer lugar, se calcula la respuesta al lazo abierto para la función, el lazo abierto está dado por la ecuación 3.9.

$$Y(s) = H(s) \cdot U(s) = \frac{4s}{3s + 1} \cdot \frac{1}{s} = \frac{4}{3s + 1} = \frac{4}{3} \cdot \frac{1}{s + \frac{1}{3}} \quad (3.9)$$

Con la respuesta de lazo abierto calculada en el dominio de Laplace, es posible llevar esta respuesta al dominio del tiempo aplicando la transformada de Laplace inversa en ambos miembros de la ecuación 3.9. Así, la respuesta de lazo abierto en el dominio del tiempo estaría dada por la función 3.10.

$$y(t) = \frac{4}{3} \cdot e^{\frac{-t}{3}} \quad (3.10)$$

En la Figura 3.1, se puede apreciar la respuesta de lazo abierto al escalón unitario en el

dominio del tiempo.

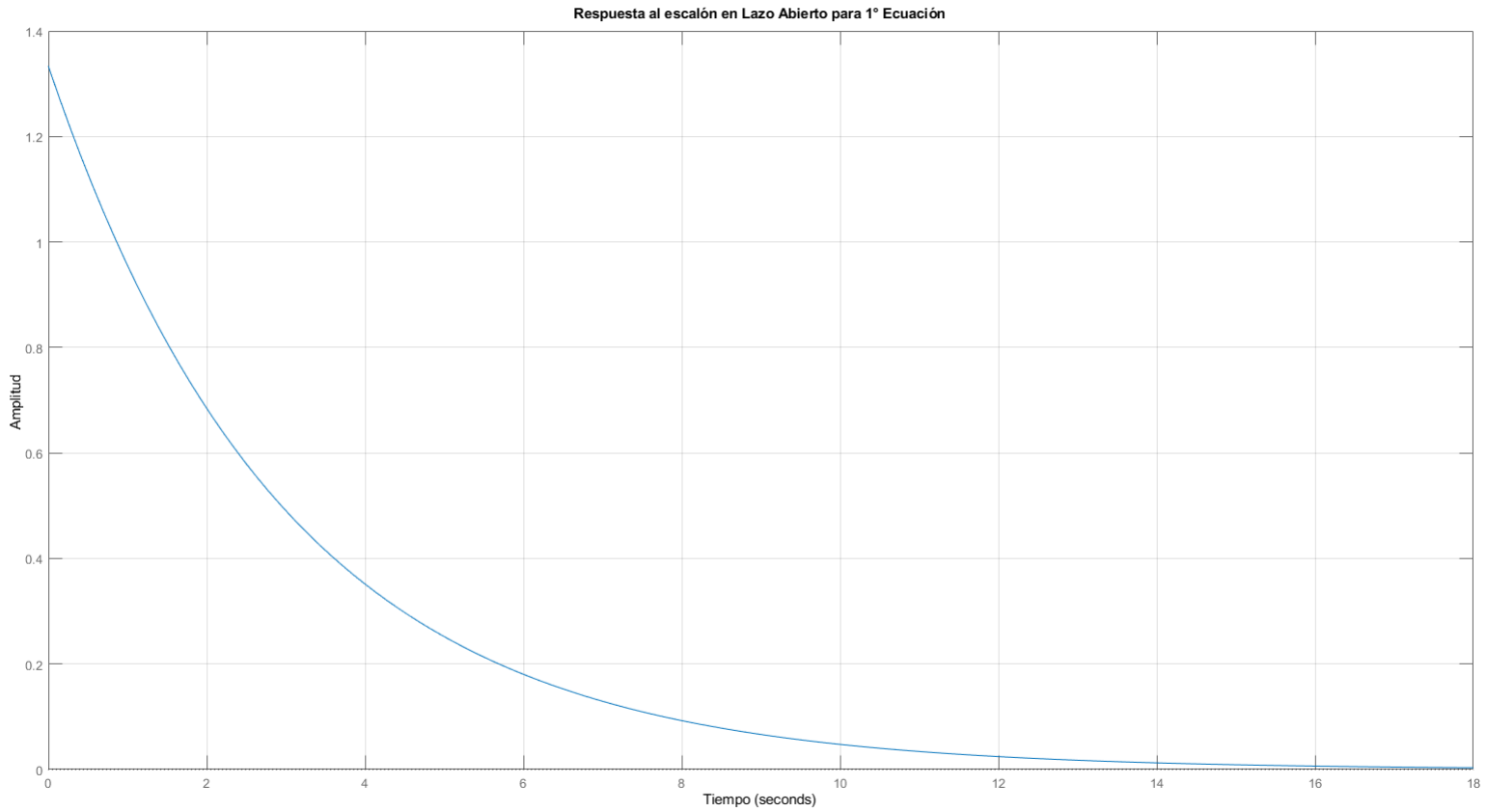


Figura 3.1: Respuesta al escalón unitario en lazo abierto - Primera función

3.1.2 Lazo cerrado primera ecuación

En cuanto al lazo cerrado, antes de calcular la respuesta es necesario aplicar la regla de Mason (Función feedback en este caso), para obtener la función de transferencia H_{lc} (ecuación 3.11).

$$H_{lc} = \frac{H(s)}{1 + H(s)} = \frac{4s}{3s + 1} \cdot \frac{1}{1 + \frac{4s}{3s+1}} = \frac{4s}{3s + 1} \cdot \frac{3s + 1}{7s + 1} = \frac{4s}{7s + 1} \quad (3.11)$$

Tras obtener la función de transferencia H_{lc} , se puede calcular la respuesta de lazo cerrado mediante la ecuación $Y(s) = H_{lc} \cdot U(s)$. Además, recordar que $u(t)$ corresponde al escalón unitario, por lo que su

transformada de Laplace corresponde a $U(s) = \frac{1}{s}$. (ecuación 3.12)

$$Y(s) = H_{lc} \cdot U(s) = \frac{4s}{7s+1} \cdot \frac{1}{s} = \frac{4}{7s+1} = \frac{4}{7} \cdot \frac{1}{s + \frac{1}{7}} \quad (3.12)$$

Con la respuesta de lazo cerrado calculada en el dominio de Laplace, es posible llevar esta respuesta al dominio del tiempo aplicando la transformada de Laplace inversa en ambos miembros de la ecuación 3.12. Así, la respuesta de lazo cerrado en el dominio del tiempo estaría dada por la función 3.13.

$$y(t) = \frac{4}{7} \cdot e^{\frac{-t}{7}} \quad (3.13)$$

En la Figura 3.2, se puede apreciar la respuesta de lazo cerrado al escalón unitario en el dominio del tiempo.

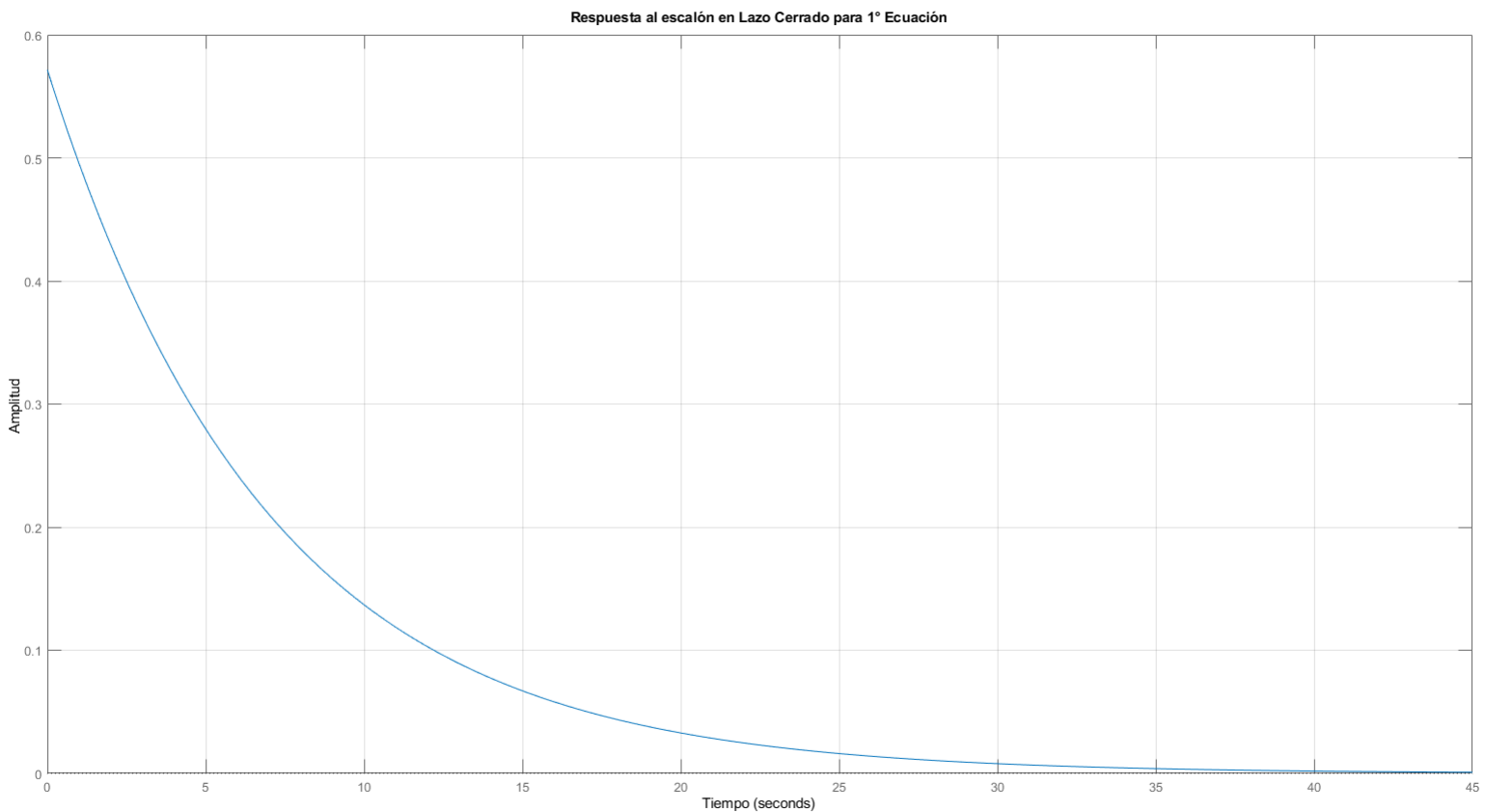


Figura 3.2: Respuesta al escalón unitario en lazo cerrado - Primera función

3.2 SEGUNDA ECUACIÓN

A continuación, se calcula la función de transferencia H para la segunda ecuación (3.14).

$$\ddot{y}(t) + 6\dot{y}(t) + 3y(t) - 5\ddot{u}(t) - 7\dot{u}(t) - u(t) = 0 \quad (3.14)$$

Con las siguientes condiciones iniciales:

$$y(0) = 0, \quad \dot{y}(0) = 0, \quad u(0) = 0, \quad \dot{u}(0) = 1 \quad (3.15)$$

Al igual que en el ejercicio anterior, se aplica la transformada de Laplace en ambos miembros de la ecuación, para esto es necesario aplicar la transformada de una segunda derivada en $\ddot{y}(t)$ y $\ddot{u}(t)$, además de la transformada de una derivada en $\dot{y}(t)$ y $\dot{u}(t)$, dando así la ecuación 3.16.

$$(s^2Y(s) - sy(0) - \dot{y}(0)) + 6(sY(s) - y(0)) + 3Y(s) = 5(s^2U(s) - su(0) - \dot{u}(0)) + 7(sU(s) - u(0)) + U(s) \quad (3.16)$$

Luego, se remplazan los valores de las condiciones iniciales (3.15) en la ecuación 3.16, obteniendo la siguiente expresión:

$$s^2Y(s) + 6sY(s) + 3Y(s) = 5(s^2U(s) - 1) + 7sU(s) + U(s) \quad (3.17)$$

Se factoriza el lado izquierdo de la ecuación por el termino $Y(s)$, mientras que el lado derecho por $U(s)$.

$$Y(s)(s^2 + 6s + 3) = 5s^2U(s) - 5 + 7sU(s) + U(s) = U(s)(5s^2 + 7s + 1) - 5 \quad (3.18)$$

Se divide en ambos lados de la ecuación por $(s^2 + 6s + 3)$, termino que multiplica a $Y(s)$ en el lado izquierdo de la ecuación.

$$Y(s) = \frac{(5s^2 + 7s + 1)U(s)}{s^2 + 6s + 3} - \frac{5}{(s^2 + 6s + 3)} \quad (3.19)$$

Dado que $H(s)$ es lo que multiplica a $U(s)$, se puede obtener el valor de la función $H(s)$ a partir de la ecuación 3.19. Además, se sabe que $H(s) = \frac{Y(s)}{U(s)}$, por lo que se obtiene la ecuación 3.20.

$$H(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{5s^2 + 7s + 1}{s^2 + 6s + 3} \quad (3.20)$$

Con la función de transferencia H calculada, es posible determinar la respuesta de lazo abierto y cerrado. Además, la función $u(t)$ corresponde al escalón unitario, por lo que su transformada de Laplace corresponde a $U(s) = \frac{1}{s}$.

3.2.1 Lazo abierto segunda ecuación

En primer lugar, la respuesta de lazo abierto se calcula en la ecuación 3.21.

$$Y(s) = H(s) \cdot U(s) = \frac{5s^2 + 7s + 1}{s^2 + 6s + 3} \cdot \frac{1}{s} = \frac{5s^2 + 7s + 1}{s(s^2 + 6s + 3)} \quad (3.21)$$

Luego de desarrollar la ecuación 3.21 se puede apreciar que esta no tiene la forma de una transformada de Laplace conocida, debido a esto es necesario descomponerla mediante ecuaciones parciales, resultando en la ecuación 3.22.

$$Y(s) = H(s) \cdot U(s) = \frac{1}{3s} + \frac{14s + 15}{3(s^2 + 6s + 3)} = \frac{14}{3} \frac{s + 3}{(s + 3)^2 - 6} - 9 \frac{1}{(s + 3)^2 - 6} \quad (3.22)$$

Con la respuesta de lazo abierto calculada en el dominio de Laplace, es posible llevar esta respuesta al dominio del tiempo aplicando la transformada de Laplace inversa en ambos miembros de la ecuación 3.22. Así, la respuesta de lazo abierto en el dominio del tiempo estaría dada por la función 3.23.

$$y(t) = \frac{u(t)}{3} + \frac{14}{3} e^{-3t} \cosh(\sqrt{6}t) - \frac{3\sqrt{3}}{\sqrt{2}} e^{-3t} \sinh(\sqrt{6}t) \quad (3.23)$$

En la Figura 3.3, se puede apreciar la respuesta de lazo abierto al escalón unitario en el dominio del tiempo.

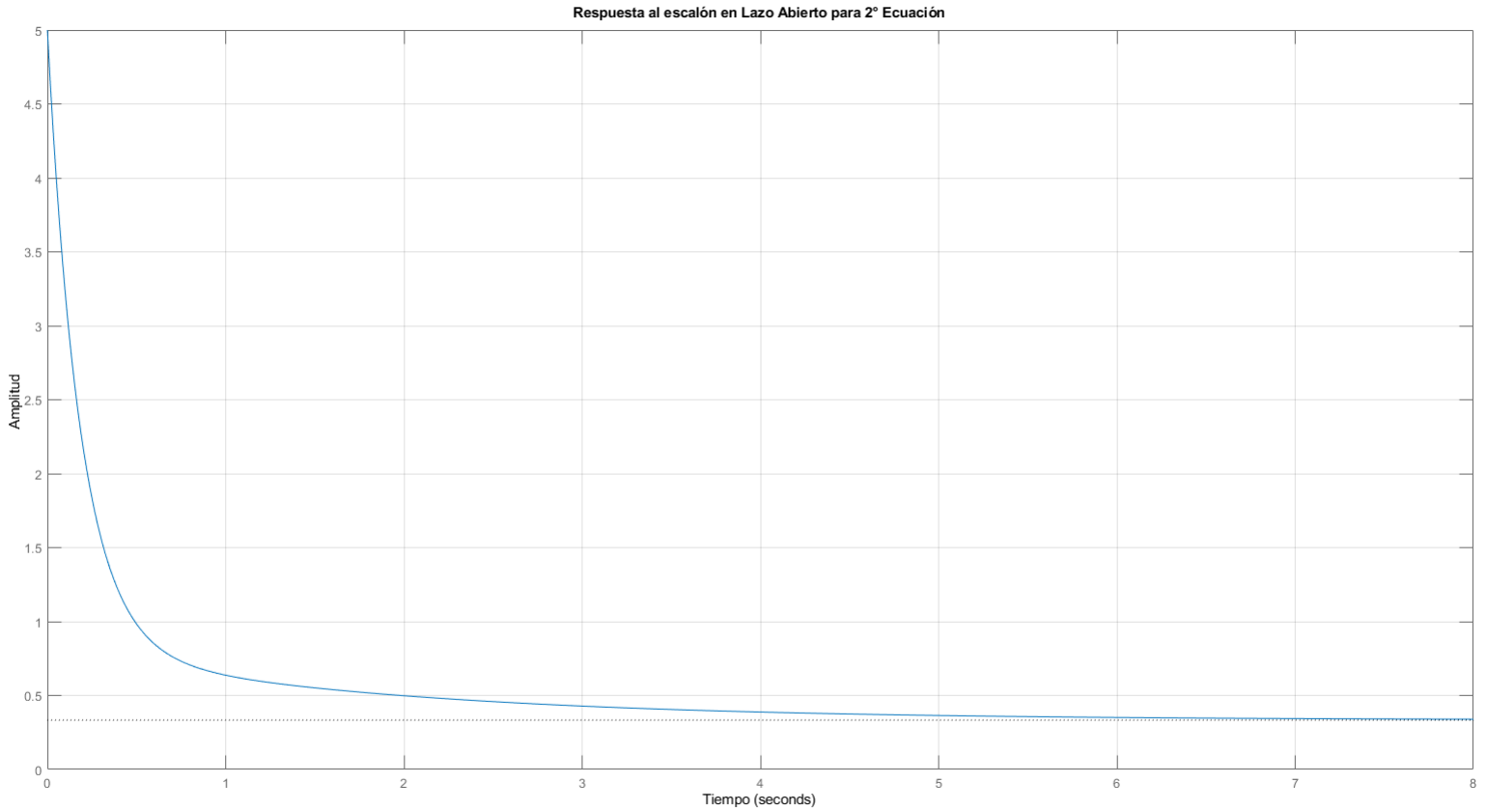


Figura 3.3: Respuesta al escalón unitario en lazo abierto - Segunda función

3.2.2 Lazo cerrado segunda ecuación

En cuanto al lazo cerrado, es necesario aplicar la regla de Mason (Función feedback en este caso) para obtener la función de transferencia H_{lc} (ecuación 3.24).

$$H_{lc} = \frac{H(s)}{1 + H(s)} = \frac{5s^2 + 7s + 1}{s^2 + 6s + 3} \cdot \frac{1}{1 + \frac{5s^2 + 7s + 1}{s^2 + 6s + 3}} = \frac{5s^2 + 7s + 1}{6s^2 + 13s + 4} \quad (3.24)$$

Tras obtener la función de transferencia H_{lc} , se puede calcular $Y(s) = H_{lc} \cdot U(s)$. Además, se puede apreciar que esta no tiene la forma de una transformada de Laplace conocida, debido a esto es necesario

descomponerla mediante ecuaciones parciales, resultando en la ecuación 3.25.

$$Y(s) = H_{lc} \cdot U(s) = \frac{5s^2 + 7s + 1}{6s^2 + 13s + 4} \cdot \frac{1}{s} = \frac{5s^2 + 7s + 1}{s(6s^2 + 13s + 4)} = \frac{1}{4s} + \frac{14s + 15}{4(6s^2 + 13s + 4)} \quad (3.25)$$

Con la respuesta de lazo cerrado calculada en el dominio de Laplace, es posible llevar esta respuesta al dominio del tiempo aplicando la transformada de Laplace inversa en ambos miembros de la ecuación 3.25. Así, la respuesta de lazo cerrado en el dominio del tiempo estaría dada por la función 3.26.

$$y(t) = \frac{u(t)}{4} + \frac{7}{12}e^{-\frac{13t}{12}} \cosh\left(\frac{\sqrt{73}t}{12}\right) - \frac{e^{-\frac{13t}{12}} \sinh\left(\frac{\sqrt{73}t}{12}\right)}{12\sqrt{73}} \quad (3.26)$$

En la Figura 3.4, se puede apreciar la respuesta de lazo cerrado al escalón unitario en el dominio del tiempo.

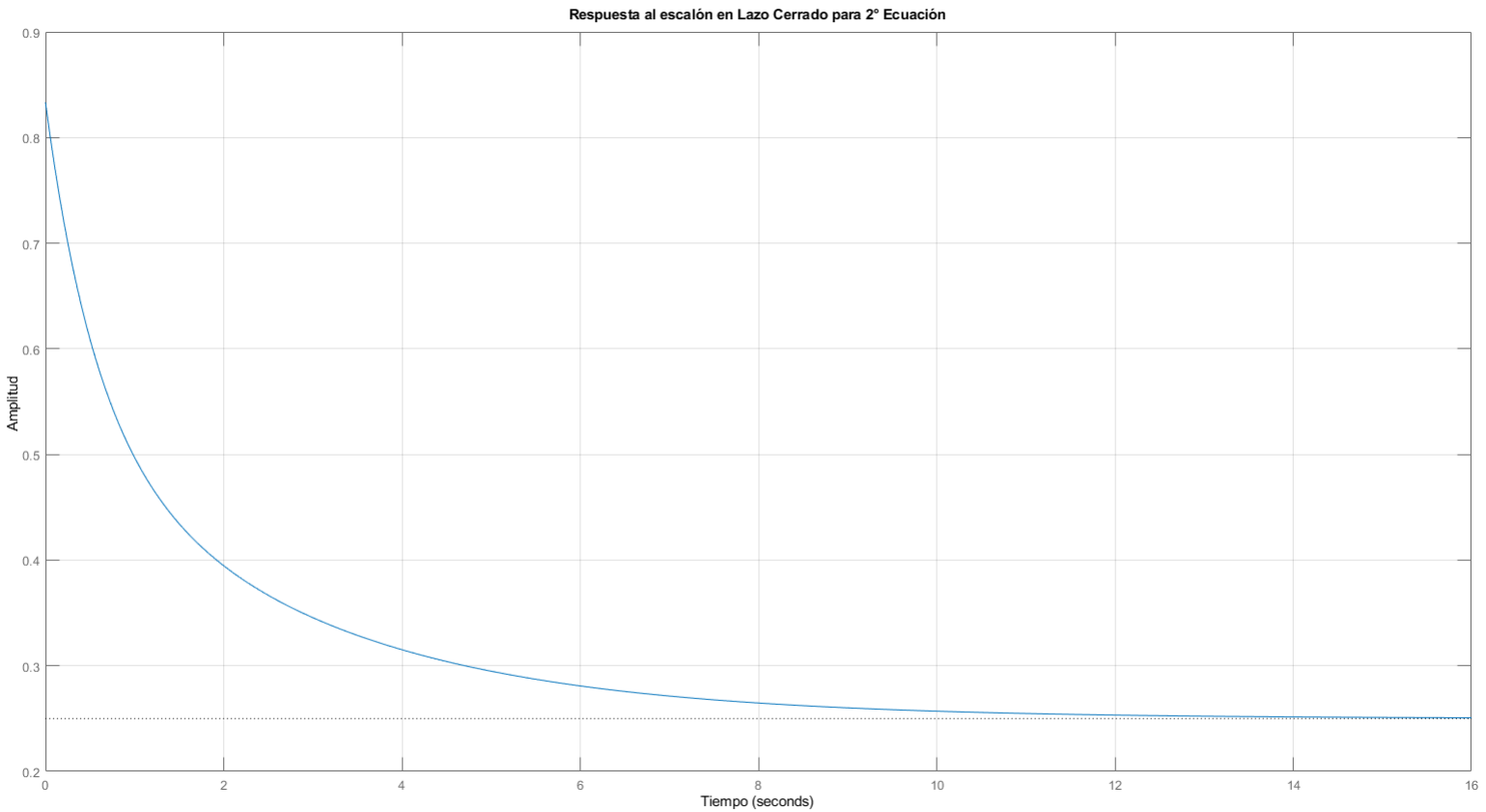


Figura 3.4: Respuesta al escalón unitario en lazo cerrado - Segunda función

3.3 CUADRO COMPARATIVO FUNCIÓN 1 Y FUNCIÓN 2

A continuación, se presenta un cuadro comparativo que contiene los valores de ganancia estática, tiempo de estabilización, ceros y polos para el lazo cerrado y lazo abierto de cada función. (Tabla 3.1)

Función	Lazo	Ceros	Polos	Ganancia Estática	Tiempo de Estabilización
Función 1	Abierto	0	-0.33333	0	NaN
	Cerrado	0	-0.14286	0	NaN
Función 2	Abierto	[-1.238516 ; -1.614835e-01]	[-5.449490 ; -5.505103e-01]	0.33333	7.8289
	Cerrado	[1.238516 ; -1.614835e-01]	[-1.795334 ; -3.713330e-01]	0.25	10.905

Tabla 3.1: Tabla comparativa función 1 y función 2

Para el calculo de ceros de las funciones de transferencia se utilizo la función *zero()* de MATLAB, para el calculo de los polos se utilizo la función *pole()*, para el calculo de la ganancia estática se utilizo la función *dcgain()* y para el calculo del tiempo de estabilización se utilizo la función *stepinfo()*. Cabe destacar que el haber conseguido tiempos de estabilización “NaN” al usar *stepinfo()* como explica la documentación oficial de MATLAB para esta función, el tiempo de estabilización o *SettlingTime* se calcula realizando una resta de distintos valores hasta que esta diferencia sea menor a cierto porcentaje de error (MathWorks, 2021). Esto se puede observar gráficamente en la Figura 3.5.

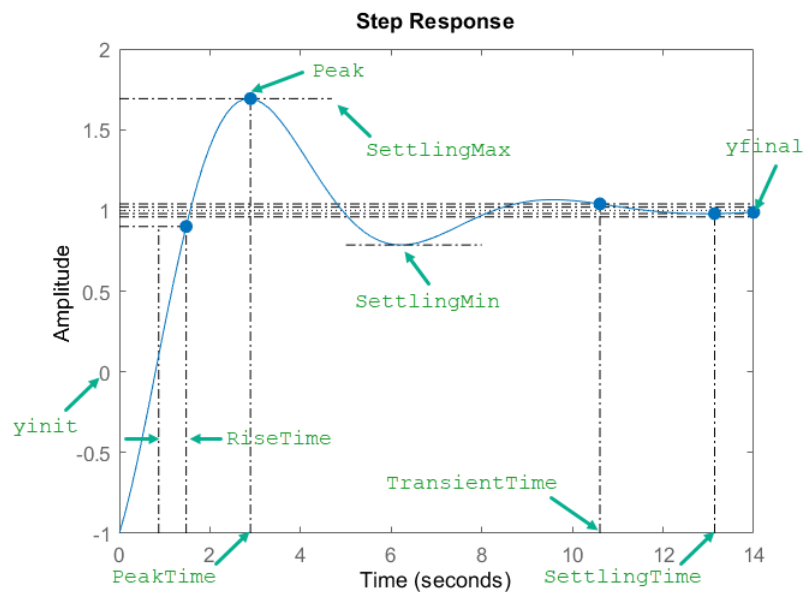


Figura 3.5: Explicación de función *stepinfo()*

Se menciona que el tiempo de estabilización es “El primer tiempo T es tal que el error $|y(t) - y_{final}| \leq \text{SettlingTimeThreshold} \times |y_{final} - y_{init}|$ para $t \geq T$ ” (MathWorks, 2021). El error por default esta fijo en un 2%. Al analizar la lógica de la función es que es posible darse cuenta que arrojará siempre el error de NaN al tratarse de funciones que tiendan a valores cercanos a cero, ya que el y_{final} se fijará como un valor muy cercano a cero haciendo que nunca se cumpla la condición para encontrar un valor de *SettlingTime*, sin importar el porcentaje de error que se fije.

Por la definición de tiempo de estabilización entregada en el marco teórico, a pesar que la función no sea capaz de determinar un valor debido a la explicación entregada, si tiene un tiempo de estabilización en donde permanece dentro de un rango muy acotado, esto es alrededor de los **17 segundos** para la primera ecuación en lazo abierto y alrededor de los **40 segundos** al observar los valores de las gráficas.

Sobre la ganancia estática de cada función es posible decir que para la primera función, tanto para el lazo abierto como para el lazo cerrado, la ganancia es 0, esto quiere decir que la salida del sistema no cambiará ante cualquier variación de la entrada, por lo que no amplificará o atenuará la señal de entrada. A su vez, es posible notar que para la segunda función ambos valores obtenidos son positivos, por lo que la relación entre la entrada y la salida del sistema será directamente proporcional. Además, es posible señalar que la ganancia estática del lazo abierto es mayor que la del lazo cerrado, por lo que el sistema de lazo abierto amplificará en mayor medida la señal de entrada en comparación al lazo cerrado.

Respecto a los polos, se puede concluir que tanto la función 1 como la función 2 son estables en lazo abierto y cerrado, debido a que los resultados arrojan que todos los polos tienen su parte real negativa.

CAPÍTULO 4. DESARROLLO SEGUNDA PARTE

En este apartado se solicita encontrar y graficar la respuesta al escalón del diagrama de bloque descrito en la Figura 4.1, utilizando las funciones de la consola de MATLAB, además entregar el valor tomado por la función de transferencia del sistema (mostrando todos los pasos).

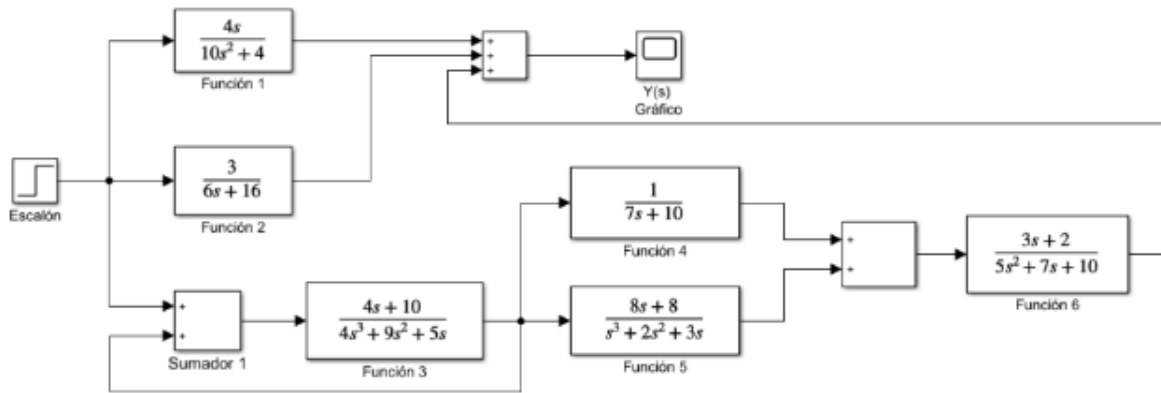


Figura 4.1: Diagrama de bloque segunda parte

En primer lugar, se establecen las variables auxiliares **R** que representan la salida al pasar por la función de transferencia correspondiente, cabe destacar que las funciones de transferencia serán denominadas **Hi**, siendo **i** el número de la función, es decir, a la Función 2 le correspondería H2, a la Función 3 le correspondería H3 y así.

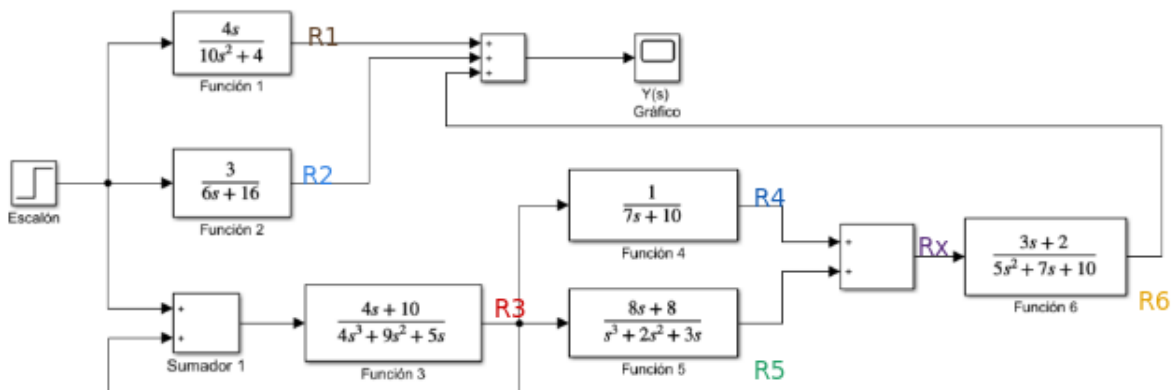


Figura 4.2: Diagrama de bloque segunda parte con sus variables auxiliares

Destacado en rojo (Figura 4.3), se puede apreciar que en R3 se produce una retroalimentación

positiva de H3, por ende, tomando en cuenta las funciones de MATLAB, el valor de R3 seria:

$$R3 = feedback(H3, 1, +1); \quad (4.1)$$

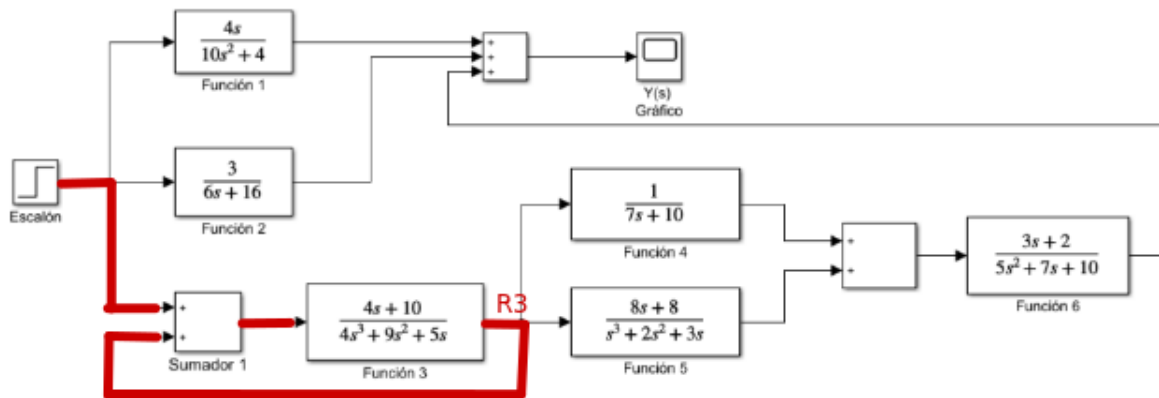


Figura 4.3: Diagrama de bloque segunda parte feedback

Destacado en rojo (Figura 4.4), se aprecia que R3 pasa en paralelo por las funciones de transferencia H4 y H5, luego en morado la salida de estas funciones es sumada en Rx, por ende, utilizando las funciones de MATLAB, el valor de RX estaría dado por:

$$Rx = R3 \cdot parallel(H4, H5); \quad (4.2)$$

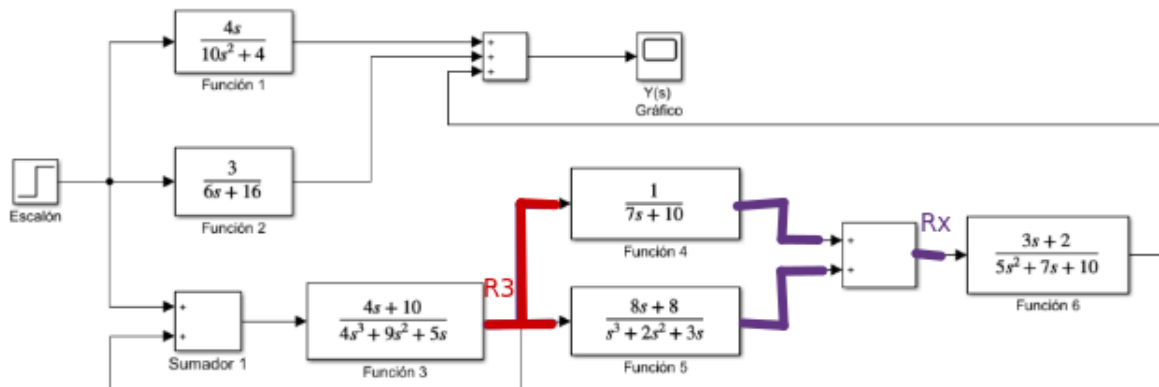


Figura 4.4: Diagrama de bloque segunda parte paralelo

Finalmente, la función de transferencia **H** (Figura 4.5) estaría dada por la siguiente ecuación:

$$H = H1 + H2 + R6 \quad (4.3)$$

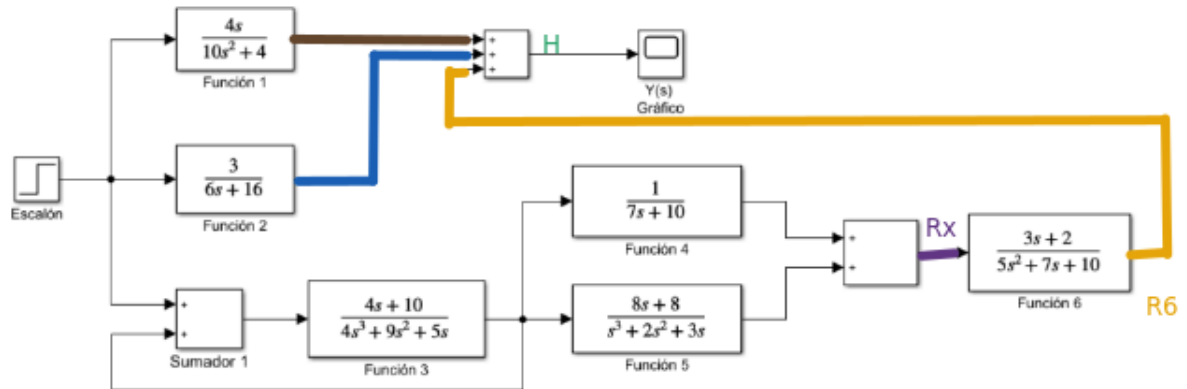


Figura 4.5: Diagrama de bloque segunda parte H

Aplicando las funciones de MATLAB, el valor de la función de transferencia **H**, estaría dado por la ecuación 4.4:

$$H(s) = \frac{7560s^{11} + 62474s^{10} + 244816s^9 + 577360s^8 + 898396s^7 + 1,062e06s^6 + 1,181e06s^5 + 1,171e06s^4 + 872936s^3 + \dots}{8400s^{12} + 81860s^{11} + 361600s^{10} + 956064s^9 + 1,625e06s^8 + 1,723e06s^7 + 870040s^6 - 364488s^5 - 1,013e06s^4 - \dots} \quad (4.4)$$

$$\frac{606608s^2 + 374880s + 102400}{842400s^3 - 449600s^2 - 192000s}$$

En la Figura 4.6, se puede apreciar la respuesta al escalón del diagrama de bloque.

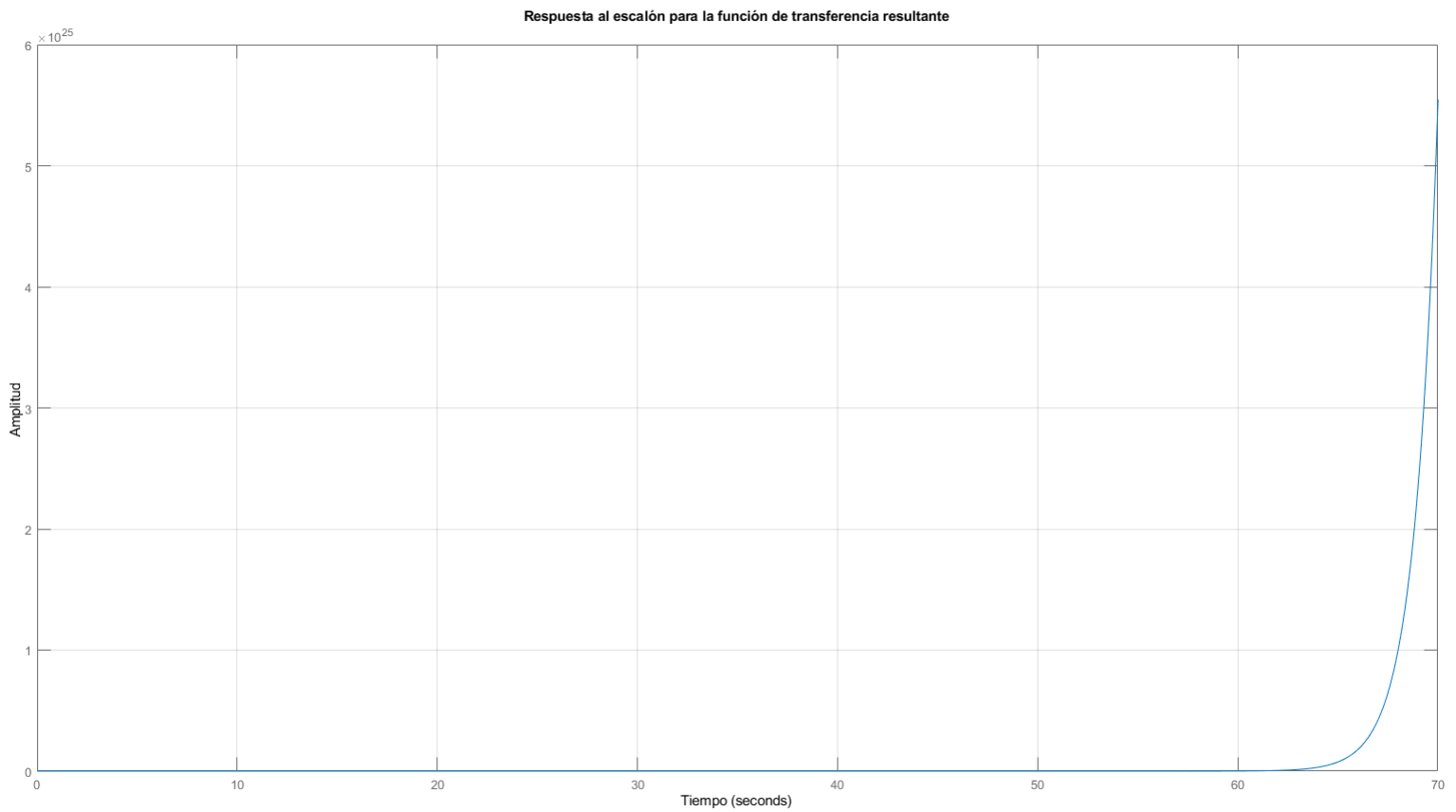


Figura 4.6: Respuesta al escalón para la función de transferencia H

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

En la presente experiencia de laboratorio, en la primera parte se encontró la función de transferencia para las dos funciones solicitadas, también se consiguió la respuesta al escalón de lazo abierto y cerrado, mostrándola de manera gráfica. Además, para cada respuesta se calculó sus valores de ceros, polos, tiempo de estabilización y ganancia estática. El proceso para toda esta parte fue documentado y permitió afianzar los conocimientos de sistemas y de la función de transferencia.

En la segunda parte del laboratorio, se logró encontrar la función de transferencia para el diagrama de bloques solicitado, además de graficar su respuesta al escalón unitario. El desarrollo del diagrama pudo ser comprendido y explicado, gracias a los conceptos de conexión en serie y paralelo y regla de Mason.

Dentro de las dificultades que se presentaron durante el desarrollo de esta experiencia, es posible mencionar la obtención de valores **"NaN"** en el tiempo de estabilización en la primera parte, esto fue resuelto al investigar sobre la forma en que la función que calcula este tiempo funciona, lo que permitió dar una respuesta concreta del real tiempo de estabilización para la primera función de transferencia en lazo abierto y cerrado.

Finalmente, los objetivos planteados inicialmente fueron cumplidos en su totalidad para esta experiencia de laboratorio.

BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, G. (2022). Contenido teórico de modelación y simulación creado por francisco muñoz y basado en las clases del profesor gonzalo 'acuña.
- Doebelin, E. (1995). *Engineering Experimentation: Planning, Execution, Reporting*. McGraw-Hill series in mechanical engineering. McGraw-Hill.
URL <https://books.google.cl/books?id=SHBRAAAAMAAJ>
- Franklin, G. F., Powell, J. D., Emami-Naeini, A., & Powell, J. D. (2002). *Feedback control of dynamic systems*, vol. 4. Prentice hall Upper Saddle River.
- Galván, J. A. R. (2014). Función transferencia y estabilidad en sistemas.
- Kuo, B. C. (1996.). *Sistemas de control automático/*. México :: Pearson Educación,, primera edición ed. Incluye apéndice.
URL <https://bibliotecadigital.usm.cl/info/00565881>
- MathWorks (2021). stepinfo. Recuperado el 25 de abril de 2023.
URL <https://la.mathworks.com/help/control/ref/lti.stepinfo.html>
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna / Katsuhiko Ogata ; traducción, Sebastian Dormido Canto, Raquel Dormido Canto*. Madrid [etc: Pearson, 5ª ed. ed.
- Salgado, M. E., Yuz, J. I., & Rojas, R. A. (2005). *Análisis de sistemas lineales*. Pearson Educación.