

CONESCAPANHONDURAS2025paper35.pdf

 Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

Document Details

Submission ID

trn:oid:::14348:477731633

Submission Date

Jul 31, 2025, 11:51 PM CST

Download Date

Aug 12, 2025, 12:36 PM CST

File Name

CONESCAPANHONDURAS2025paper35.pdf

File Size

738.6 KB

7 Pages




3,510 Words

19,174 Characters

20% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Top Sources

- 20%  Internet sources
- 9%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags




0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Top Sources

- 20%  Internet sources
- 9%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	Internet	rctce2025.tce.edu	5%
2	Internet	www.coursehero.com	4%
3	Internet	uamweek.ieee.org.ua	3%
4	Internet	matlabtutoriales.website	1%
5	Internet	1library.co	<1%
6	Internet	ebin.pub	<1%
7	Internet	es.scribd.com	<1%
8	Internet	pdfcoffee.com	<1%
9	Internet	de.slideshare.net	<1%
10	Internet	eprints.whiterose.ac.uk	<1%
11	Internet	www.dspace.espol.edu.ec	<1%

12	Internet	repository.udistrital.edu.co	<1%
13	Internet	archive.org	<1%
14	Internet	es.tradekey.com	<1%
15	Internet	laccei.org	<1%
16	Internet	www.disa.bi.ehu.es	<1%
17	Publication	Gallo, Diana Carolina Flores. "Un Modelo Praxeológico para el Estudio de la Transf...	<1%
18	Internet	barcos.europages.es	<1%
19	Internet	cathi.uacj.mx	<1%
20	Internet	laradiomagica.orgfree.com	<1%
21	Internet	www.riuma.uma.es	<1%
22	Publication	V.M. Alfaro, O. Arrieta, R. Vilanova. "Control de Dos-Grados-de-Libertad (2-GdL) ap...	<1%

Estimación de la función de transferencia en un servomecanismo de posición.

line 1: 1st Given Name Surname
line 2: dept. name of organization
(of Affiliation)
line 3: name of organization (of
Affiliation)
line 4: City, Country
line 5: email address or ORCID

line 1: 2nd Given Name Surname
line 2: dept. name of organization
(of Affiliation)
line 3: name of organization (of
Affiliation)
line 4: City, Country
line 5: email address or ORCID

line 1: 3rd Given Name Surname
line 2: dept. name of organization
(of Affiliation)
line 3: name of organization (of
Affiliation)
line 4: City, Country
line 5: email address or ORCID

line 1: 4th Given Name Surname
line 2: dept. name of organization
(of Affiliation)
line 3: name of organization (of
Affiliation)
line 4: City, Country
line 5: email address or ORCID

Resumen— Este trabajo presenta la estimación y análisis de la función de transferencia en un servomecanismo de posición utilizando MATLAB. A partir de datos experimentales, se obtiene un modelo que se compara con la respuesta teórica del sistema haciendo posible el análisis de su comportamiento dinámico. Los resultados validan la utilidad del enfoque para representar la planta y para analizar la dinámica real del servomecanismo.

Palabras clave—control proporcional, Matlab, Función de transferencia, estabilidad.

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de control se consideran parte fundamental para el impulso de las tecnologías debido a que permiten la automatización de procesos que requieran soluciones rápidas, precisas y confiables. En la industria los servomecanismos con control de posición son claves para garantizar estas soluciones y su diseño eficiente requiere comprensión profunda del comportamiento dinámico de la planta. [1]

La función de transferencia permite modelar la relación entre la entrada y salida de un sistema lineal e invariante en el tiempo, facilitando el análisis de la respuesta del sistema ante las diferentes señales de entrada y el diseño del controlador adecuado que cumpla con las especificaciones adecuadas. En este servomecanismo, la función de transferencia incide directamente con la disminución del error en estado estacionario y del tiempo de establecimiento, además de mantener la estabilidad del sistema ante perturbaciones. [1]

La función de transferencia también debe permitir analizar y simular el sistema en distintos escenarios operativos, lo cual facilita la evaluación del desempeño del controlador en diversas condiciones y ayuda a optimizar su diseño antes de llevarlo a la práctica. Esto resulta especialmente crucial en aplicaciones donde la precisión y la confiabilidad del control son fundamentales, como en la automatización industrial, la robótica y los vehículos eléctricos.

La identificación de modelos mediante herramientas como System Identification Toolbox de MATLAB o LabVIEW

permite estimar funciones de transferencia a partir de datos experimentales, lo cual resulta especialmente útil cuando el sistema es complejo o sus parámetros físicos son difíciles de determinar con exactitud [2].

Una vez obtenida la función de transferencia, se pueden aplicar técnicas de diseño como el análisis en el lugar de las raíces, lo cual proporciona una guía clara para alcanzar configuraciones sub-amortiguadas o sobre amortiguadas, de acuerdo con los requerimientos de desempeño deseados [3].

Diversos estudios destacan que la representación adecuada de un modelo matemático es importante para conocer comportamiento y garantizar un control eficiente. En la tesis “Modelado, diseño e implementación de un sistema de elevación mecatrónico de un grado de libertad con control óptimo por espacios de estado” se modela un sistema de elevación empleando leyes de Newton y el enfoque de Euler-Lagrange, lo cual permite implementar un controlador óptimo LQR que mejora notablemente la estabilidad del sistema ante perturbaciones, validando su funcionamiento mediante simulaciones en MATLAB-Simulink [4].

De igual forma, en “Modelado y Simulación de un Sistema de Planta Industrial de Dos Tanques” se desarrolla el modelo matemático de una planta industrial de dos tanques, logrando simular su comportamiento en distintos puntos de operación y evidenciando la utilidad del modelo para la sintonización de controladores [5].

Finalmente, en “Implementación del modelo matemático para el sistema de control de una incubadora para aves utilizando la herramienta computacional MATLAB - SIMULINK” se implementa un modelo térmico para una incubadora de aves, utilizando Matlab, Simulink y métodos de control clásico como Ziegler-Nichols, demostrando que el modelado previo permite optimizar la eficiencia térmica del sistema [6].

Estos estudios refuerzan la importancia de construir representaciones matemáticas precisas para alcanzar un control robusto y confiable en sistemas reales.

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En el contexto de sistemas de control realimentados, como los servomecanismos, las funciones de transferencia permiten analizar y predecir el comportamiento ante cambios en la referencia o perturbaciones externas. En conjunto, el uso de funciones de transferencia permite abstraer la dinámica del sistema y desarrollar controladores que respondan de forma precisa y eficiente a las necesidades del proceso.

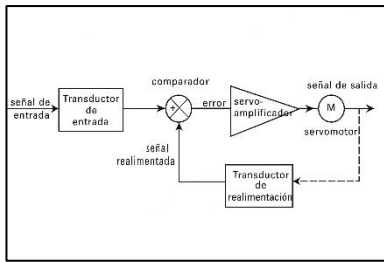


Fig. 2.1 Diagrama de la configuración básica de un servomecanismo.

Para el correcto análisis del servomecanismo, es esencial identificar y describir sus bloques funcionales, que en conjunto definen la dinámica del sistema y su comportamiento en lazo cerrado. Entre estos están:

- Transductor de entrada: Este es el valor deseado que queremos que nuestro sistema siga, en este caso un potenciómetro.
- Comparador: Este componente compara el setpoint (ya sea restando o sumando) con la señal de retroalimentación para calcular el error.
- Servoamplificador: Este bloque toma el error y lo multiplica por una constante de ganancia proporcional (K_p).
- Planta o proceso/señal de salida La planta viene siendo el objeto que controlar y que efectúa una operación en específico. Y el proceso se refiere a cualquier operación que se llegue a controlar.
- Transductor de realimentación: en este caso un potenciómetro de mismas capacidades del acoplado a la entrada o setpoint, se realimenta al comparador, cerrando el lazo de control.

Una vez identificados los elementos que conforman el servomecanismo, es posible representar matemáticamente su comportamiento mediante funciones de transferencia.

A. Función de transferencia.

La función de transferencia es una herramienta fundamental en el análisis y diseño de sistemas de control. Se define como la relación entre la transformada de Laplace de la salida y la transformada de Laplace de la entrada de un sistema, bajo condiciones de reposo inicial. Esta representación algebraica permite modelar el comportamiento dinámico de sistemas lineales invariantes en el tiempo (LTI), transformando ecuaciones diferenciales en expresiones más manejables en el dominio de Laplace.

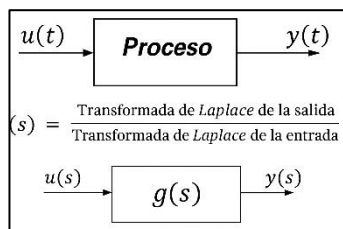


Fig. 2.2 Función de transferencia de un proceso.

La función de transferencia define matemáticamente el comportamiento dinámico del sistema mediante sus polos y ceros, y es la ubicación de los polos en el plano complejo lo que determina la estabilidad y respuesta del sistema.

III. METODOLOGÍA

Para analizar el comportamiento del servomecanismo de posición y estimar su función de transferencia, se toma como referencia la estructura del diagrama esquemático. Este permite identificar las etapas clave del sistema dentro del lazo de control, lo cual es fundamental para modelar la dinámica de la planta y obtener una representación matemática de su respuesta.

A. Descripción del Servomecanismo

Un servomecanismo es un sistema de control automático que regula la posición, velocidad o aceleración de un actuador (generalmente un motor) en respuesta a una señal de referencia. Su funcionamiento se basa en un lazo de retroalimentación que compara la señal deseada con la señal real de salida, generando un error que se utiliza para corregir el comportamiento del sistema. Este tipo de sistema se utiliza en aplicaciones que requieren precisión y respuesta rápida. Para comprender su operación, es fundamental analizar cada uno de los componentes que lo conforman y cómo interactúan dentro del lazo de control.

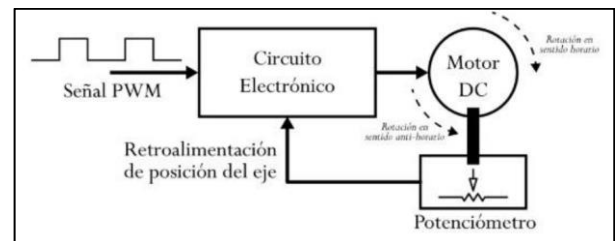


Fig.3.1 Diagrama de bloque del funcionamiento del Servomotor.

A partir del siguiente diagrama esquemático, se plantea la recreación de un servomecanismo de posición, en el cual se identifican las etapas funcionales que conforman el lazo de control.

Este diagrama representa la base sobre la cual se estructura el sistema, con el fin de facilitar su estudio se detallan las etapas del sistema, describiendo el propósito y operación de cada uno.

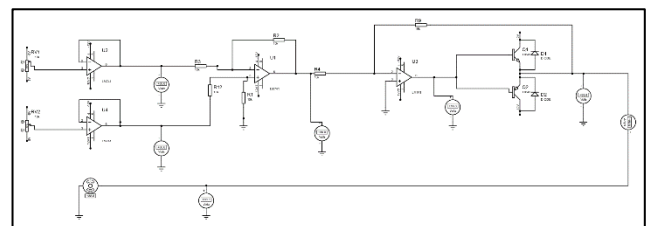


Fig.3.2 Diagrama electrónico del servomecanismo de posición.

Etapas de potencia (preactuador): Está conformada por un par de transistores Q1 (TIP41 NPN) y Q2 (TIP42 PNP), configurados en push-pull donde estos trabajan alternadamente para conducir corriente en ambas mitades del ciclo de señal. Permitiendo entregar suficiente potencia al motor DC. Esta

etapa es excitada por los transistores ambos funcionan como preamplificadores y elevan la señal de control proveniente del amplificador operacional U3 (LM741). Los diodos D1 y D2 protegen contra voltajes inducidos por la carga inductiva del motor. Esta etapa amplifica la señal de control y la transmite al motor, permitiendo que la planta reciba la potencia necesaria para su operación.

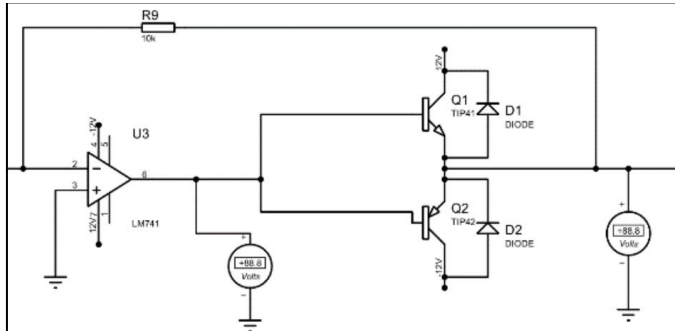


Fig.3.3 Diagrama electrónico de la Etapa de potencia.

Sensor de posición: Para medir la posición del eje del motor se utiliza un potenciómetro RV2, conectado mecánicamente al eje. Este actúa como un sensor de posición angular, entregando una señal de voltaje proporcional al desplazamiento. La señal del sensor es condicionada con un seguidor de voltaje U4 (LM741), que asegura una señal estable para ser comparada con la referencia.

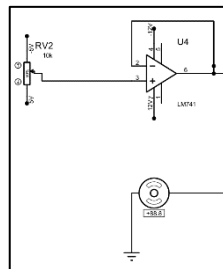


Fig.3.4 Diagrama electrónico del sensor de posición.

Acondicionamiento de señal: Se realiza mediante dos seguidores de voltaje usando amplificadores operacionales U2 (LM741) utilizado para la señal de referencia y U4 (LM741) utilizada para la señal del sensor. Ambos amplificadores aíslan las señales y previenen caídas por divisores de tensión, para que posteriormente U1 (LM741) reste la señal deseada RV1 con la señal medida RV2, generando un error. Este error se envía a U3 (LM741), que actúa como controlador proporcional amplificando para corregir la respuesta del sistema.

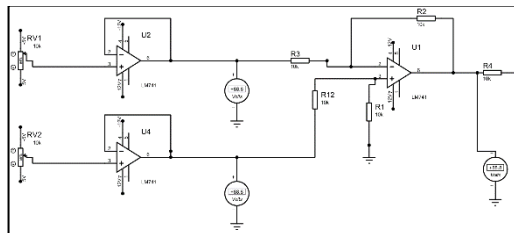


Fig.3.5. Diagrama electrónico del acondicionamiento de la señal.

Motor DC (planta): La planta del sistema es un motor de corriente directa, este convierte la señal de voltaje en movimiento angular, es pequeño de escobillas con reductor incorporado, 3 V y consumo aproximado de 80 mA., 90 rpm, carcasa plástica de doble eje.



Fig.3.6. Motor DC de la planta.

B. Variable Manipulada y Variable Controlada

La variable manipulada en este sistema es el voltaje aplicado al motor DC, controlado mediante la etapa de potencia según la salida del controlador.

La variable controlada es la posición angular del eje del motor, obtenida a través del potenciómetro RV2.

C. Adquisición de datos y Estimación de la Función de Transferencia.

Se obtienen los datos de las funciones de transferencia a través del osciloscopio, Excel y Arduino (estos principalmente para una manipulación y visualización) y para la sección de cálculos; se utiliza el software MATLAB; específicamente la función "System identification Tool" la cual permiten estimar modelos dinámicos a partir de datos experimentales. Esta herramienta ofrece una interfaz gráfica intuitiva para cargar, preprocesar y analizar datos, así como para ajustar modelos o funciones de transferencia en tiempo continuo o discreto.

Método de adquisición de datos para estimar la función de transferencia de la planta:

La primera comunicación esencial en la obtención de datos para estimar la función de transferencia de la planta se realiza de Arduino a Excel, a través del puerto serial, con el complemento "Data Streamer", con el fin de tener mejor manipulación. El Arduino se encuentra previamente cargado con un código básico de lecturas de radianes sobre segundos (rad/s) a base de detectar las interrupciones del encoder, esquematizándose de la siguiente manera:

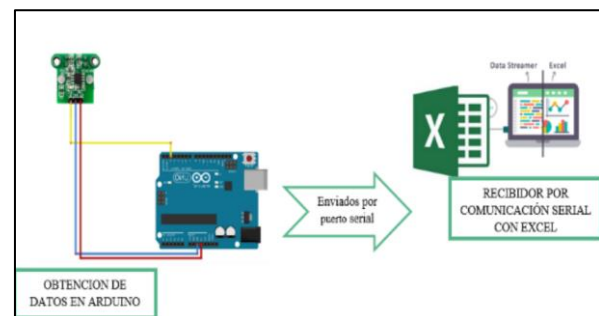


Fig.3.7 Esquema de comunicación entre Arduino y Excel.

Al tener la dinámica previa a la estabilización de un valor fijo de velocidad angular, se trasladan los datos a MATLAB y

19

se vacían en esta (la manipulación de los datos se detalla en el apartado de Resultados).

2

Matlab permite entregar una función de transferencia de velocidad angular sobre voltaje, al integrarla (multiplicarla por un factor de 1/s) se llega a una función de transferencia de posición angular sobre voltaje, lo que permite dar paso a cálculos posteriores.

Método de adquisición de datos para estimar la función de transferencia de lazos cerrados:

22

Para obtener las funciones de transferencia de lazo cerrado, se utiliza el osciloscopio Tektronix TDS2000C que permite exportar datos en formato .CSV.

Para manejar los datos de la dinámica previa a la estabilización, se manipulan de forma externa en página web de "Excel to Csv", permitiendo introducirlos a MATLAB y calcular su función de transferencia (se obtienen gráficas de respuesta al escalón bastantes similares al entorno gráfico del osciloscopio) mostrando resultados más fáciles de concluir (se muestra en el apartado de Resultados lo obtenido en MATLAB y lo obtenido en el osciloscopio).

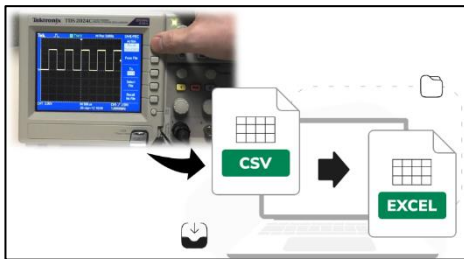


Fig.3.8 Ruta de manejo de datos de osciloscopio

Método de para estimar la función de transferencia:

Es posible retratar los cálculos realizado con MATLAB. En primera instancia, tras ya tener los datos principales en dos columnas, una de tiempo y otra con valores leídos (en este caso velocidad angular o voltaje). Se realizan los siguientes pasos para hacer uso del Toolbox:

20

Paso 1: Abrir MATLAB, y crear dos vectores vacíos en la ventana de comandos, (el nombre de los vectores no tiene relevancia, pero se recomienda el uso de input y output).

Paso 2: Se colocan los valores leídos (output) en un vector, y en input que representa una señal escalón, este debe estar compuesto por ceros antes de que ocurra el cambio, y unos después del instante en que se aplica el escalón.

DATOS		
tiempo	escalon	valores medidos
05:43.0	0	0.00
05:43.3	0	0.00
05:43.5	1	0.62
05:43.8	1	0.44
05:44.0	1	7.09

Fig.3.9. Ejemplificación de columna de datos

Paso 3: Se abre en MATLAB toolbox en el apartado de "APPS". Se abre inmediatamente una ventana emergente principal y secundaria (ver Fig.3.7). En la principal se define el parámetro "time domain data". Para entregar los vectores de entrada y salida en la ventana emergente secundaria, se deben rellenar los campos Input y Output utilizando los nombres de las variables definidos previamente en el paso 1.

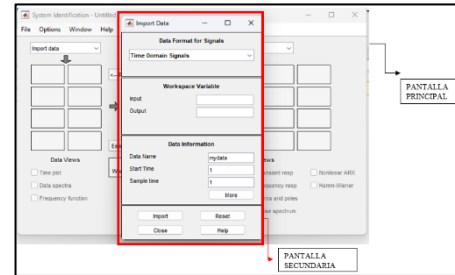


Fig.3.10 Ejemplificación de ventanas emergentes.

Paso 4: En la ventana emergente secundaria, se selecciona el "Start time" de acuerdo con el instante en que inicia la adquisición de datos respecto al escalón aplicado. El "Sample time" se establece según la frecuencia de muestreo utilizada, (definida por la programación del Arduino o por la resolución del osciloscopio). Una vez configurados estos parámetros, se importan los datos y, en la ventana principal, en "Estimate", se selecciona "Transfer Function Models" para la identificación del sistema.

Paso 5: Se abre una tercera ventana donde se solicita ingresar el número de polos y ceros de la FT a estimar. En los casos analizados en este reporte, se asume que la función de transferencia (rpm /voltaje) de un motor DC (planta) se compone de 2 polos y 0 ceros.

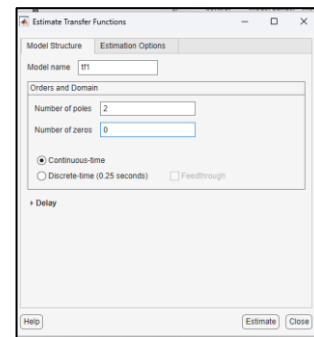


Fig.3.11. Tercera ventana emergente para introducir los polos y ceros del sistema a estimar.

Paso 6: Si se desea obtener una mejor resolución de la señal y obtener más puntos de datos sin alterar el tiempo de muestreo original, se utiliza la interpolación mediante *spline* en MATLAB. Esta permite generar una curva suave entre los puntos medidos, aumentando la cantidad de muestras y por ende devuelve un mejor "Fit" de la función de transferencia.

Al completar los pasos MATLAB devuelve una función de transferencia estimada. Se muestra una última ventana emergente con la gráfica, resultados obtenidos y fidelidad a una respuesta escalón (ver Fig.3.12)

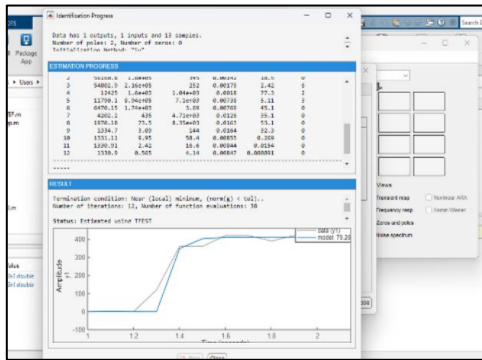


Fig.3.12 Última ventana emergente que muestra resultados.

D. Sistema Subamortiguado y Sobreamortiguado.

El criterio de diseño para un sistema subamortiguado se basa en la selección adecuada del factor de amortiguamiento (damping). Considerando las características físicas y de respuesta de los potenciómetros empleados, se optó por trabajar con un factor de amortiguamiento en el rango de 0.5 a 0.8.

Para el diseño de un caso sobre amortiguado se necesita de un factor de amortiguamiento mayor a 1 o que el polo dominante no posea parte imaginaria

Según el diagrama electrónico (ver Fig.3.1) la ganancia dada por la relación R9/R4 será la que define que tipo de sistema se tiene.

IV. RESULTADOS

Los siguientes registros experimentales son obtenidos durante la prueba del sistema. A partir de esta se construye la función de transferencia que describe el comportamiento de la planta frente a una entrada escalón.

TABLA I. DATOS ESTIMADOS PARA LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA PARA MOTOR DC

DATOS	
Escalón	Valores medidos (rad/s)
0	0.00
0	0.00
1	0.62
1	0.44
1	7.09
1	14.77
1	19.76
1	23.26
1	25.70
1	27.80
1	28.88
1	30.40
1	31.46
1	31.44
1	31.44

Con un tiempo de muestreo de 250 milisegundos y un valor del escalón aplicado al sistema de 5 V. Al introducir estos datos en el *System Identification Toolbox* de MATLAB, se obtuvo una función de transferencia con un 86.54% de precisión respecto a los datos reales.

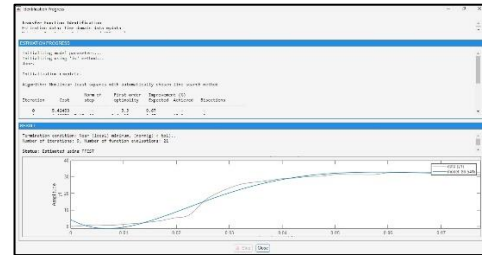


Fig.4.1 Salida del Toolbox y estimación de la función de transferencia.

Se obtiene una función de transferencia $\frac{\omega}{V}$ (ec.1)

$$\frac{3.543 \cdot 10^4}{s^2 + 92.59s + 5914} \quad (1)$$

Al multiplicarlo por un factor de $\frac{1}{s}$ que simplemente incrementa el grado del denominador en uno, se obtiene una nueva ecuación, siendo ahora una función de transferencia de posición angular sobre voltaje $\frac{\theta}{V}$ (ec.2)

$$\frac{3.543 \cdot 10^4}{s^3 + 92.59s^2 + 5914s} \quad (2)$$

TABLA II. GANANCIAS PARA SISTEMA SOBREAMORTIGUADO Y SUBAMORTIGUADO.

Sobreamortiguado	Subamortiguado
0.01 < Kp < 3.5	Kp > 3.5

A. Comprobación caso Sobreamortiguado con K=1.5

Al hacer mediciones para lazo cerrado con ganancia de 1.5 se tiene (ver Fig.4.2) donde el canal azul representa el motor y el canal rojo al setpoint.

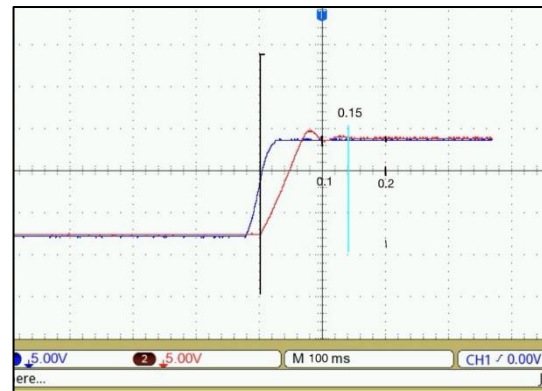


Fig. 4.2 Caso práctico subamortiguado

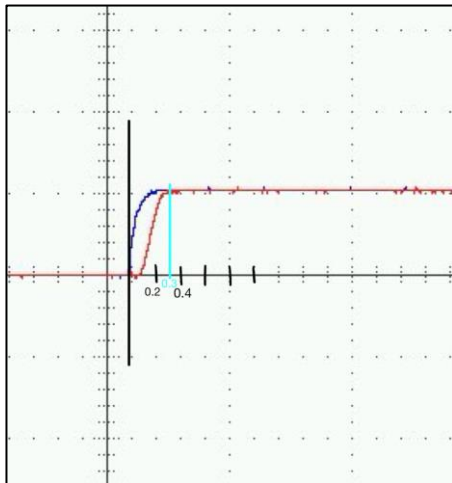


Fig. 4.3 Caso práctico sobreamortiguado.

Utilizando la función de transferencia que relaciona la posición angular con el voltaje de entrada (ec.2), y a partir de los datos experimentales obtenidos, se tiene respuesta (Ver Fig.4.3). Esta representa el comportamiento del sistema ante una entrada escalón, lo cual permite analizar cómo varía la posición angular del actuador en el tiempo.

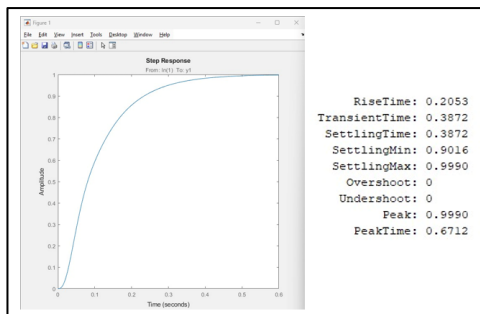


Fig.4.4 Caso teórico sobreamortiguado con ganancia 1.5.

B. Comprobando caso subamortiguado.

En el siguiente caso, el sistema presenta un comportamiento subamortiguado, lo que se traduce en una respuesta oscilatoria antes de alcanzar el estado estacionario. Se observa que al incrementar la ganancia del sistema de 1.5 a 4.5, la amplitud de las oscilaciones iniciales y la sobreelongación aumentan notablemente. Este cambio provoca una reducción en el tiempo de subida, es decir, el sistema alcanza más rápidamente valores cercanos a la posición final deseada.

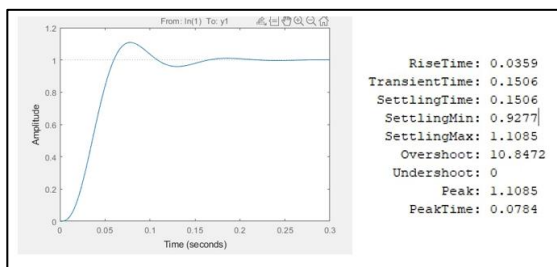


Fig.4.5 Caso teórico subamortiguado con ganancia de 4.5.

V. CONCLUSIONES

La función de transferencia obtenida a partir de los datos experimentales mostró una buena correspondencia con el comportamiento real del sistema, especialmente en parámetros como el tiempo de subida y la sobreelongación, presentando un margen de error bajo en la comparación con los datos medidos.

El uso del toolbox de identificación de sistemas de MATLAB resultó ser una herramienta eficaz para obtener funciones de transferencia a partir de datos reales. Esta metodología permite modelar sistemas físicos con precisión sin necesidad de conocer todos los parámetros del sistema de forma analítica.

Las diferencias observadas entre la respuesta teórica y la experimental pueden deberse a factores como errores de medición, ruido eléctrico, y limitaciones de los instrumentos empleados.

El modelo estimado demuestra una buena capacidad para representar el comportamiento del sistema, especialmente en variables como el tiempo de subida y la sobreelongación, cuyos valores se ajustan con alta precisión a los datos experimentales. Las variaciones detectadas en otros aspectos de la respuesta pueden estar relacionadas con limitaciones en el proceso de adquisición de datos, como posibles imprecisiones en las lecturas, interferencias eléctricas o deficiencias en el acondicionamiento de señal, incluyendo ruido introducido por la sonda del osciloscopio.

REFERENCIAS

- [1] A. Staff, "Qué es el Servomecanismo: Definición de servosistema, historia, componentes y aplicaciones - ADVANCED Motion Controls", ADVANCED Controles de movimiento. Consultado: el 21 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.a-m-c.com/es/servomecanismo/>
- [2] L. Ljung, System Identification: Theory for the User, 2nd ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 1999. J. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68–73.
- [3] R. C. Dorf and R. H. Bishop, Modern Control Systems, 13th ed. Pearson, 2017. R. Nicole, "Title of paper with only first word capitalized," J. Name Stand. Abbrev., in press.
- [4] Y. Yorozu, M. Hirano, K. Oka, and Y. Tagawa, "Electron spectroscopy studies on magneto-optical media and plastic substrate interface," IEEE Transl. J. Magn. Japan, vol. 2, pp. 740–741, August 1987 [Digests 9th Annual Conf. Magnetics Japan, p. 301, 1982].
- [5] M. Young, The Technical Writer's Handbook. Mill Valley, CA: University Science, 1989.
- [6] K. Eves and J. Valasek, "Adaptive control for singularly perturbed systems examples," Code Ocean, Aug. 2023. [Online]. Available: <https://codeocean.com/capsule/4989235/tree>
- [7] D. P. Kingma and M. Welling, "Auto-encoding variational Bayes," 2013, arXiv:1312.6114. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1312.6114>
- [8] S. Liu, "Wi-Fi Energy Detection Testbed (12MTC)," 2023, gitHub repository. [Online]. Available: <https://github.com/liustone99/Wi-Fi-Energy-Detection-Testbed-12MTC>
- [9] "Treatment episode data set: discharges (TEDS-D): concatenated, 2006 to 2009." U.S. Department of Health and Human Services,

Substance Abuse and Mental Health Services Administration, Office of Applied Studies, August, 2013, DOI:10.3886/ICPSR30122.v2

[10] K. Ogata, *Teoría de control automático*, 5.^a ed. Madrid, España: Pearson Educación, 2010.