

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA



LABORATORIO 1. Modelado de Sistemas Mecatrónicos

Guías de Prácticas de Laboratorio	Identificación: GL-AA-F-1	
	Número de Páginas: 11	Revisión No.: 2
	Fecha Emisión: 2025/07/02	
Laboratorio de: Control Lineal		
Título de la Práctica de Laboratorio: LABORATORIO 1. Modelado de Sistemas Mecatrónicos		

Elaborado por: Ing Angélica Mercedes Nivia Vargas MSc. Programa de Ingeniería en Mecatrónica	Revisado por: Ing. Olga Ramos Ph.D Jefe área Automatización y Control Programa de Ingeniería en Mecatrónica	Aprobado por: Ing. Dario Amaya Ph.D Director de Programa Ingeniería en Mecatrónica
---	---	--

Control de Cambios

[illegible]



LABORATORIO 1. Modelado de Sistemas Mecatrónicos

1. FACULTAD O UNIDAD ACADÉMICA: INGENIERÍA

2. PROGRAMA: INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

3. ASIGNATURA: CONTROL LINEAL Y LABORATORIO

4. SEMESTRE: SÉPTIMO

5. OBJETIVOS:

- General: Fortalecer los conocimientos sobre el modelado de sistemas mecatrónicos y sus diversas representaciones, utilizando las teorías de Newton-Euler y Euler-Lagrange.
- Específicos:
 - Modelar sistemas mecatrónicos aplicando las teorías de Newton-Euler y Euler-Lagrange.
 - Identificar y desarrollar las diferentes representaciones matemáticas de los sistemas mecatrónicos, tales como ecuaciones diferenciales, funciones de transferencia y el espacio de estado.
 - Analizar la respuesta dinámica de los sistemas mecatrónicos y estudiar su comportamiento al variar los parámetros que los definen.
 - Emplear analogías para facilitar la obtención de modelos de sistemas mecatrónicos.

6. MATERIALES, REACTIVOS, INSTRUMENTOS, SOFTWARE, HARDWARE O EQUIPOS DEL LABORATORIO:

DESCRIPCIÓN (<i>Material, reactivo, instrumento, software, hardware, equipo</i>)	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA
Computador con Matlab	1	Equipo por grupo de trabajo



LABORATORIO 1. Modelado de Sistemas Mecatrónicos

7. MATERIALES, REACTIVOS, INSTRUMENTOS, SOFTWARE, HARDWARE O EQUIPOS DEL ESTUDIANTE:

DESCRIPCIÓN (<i>Material, reactivo, instrumento, software, hardware, equipo</i>)	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA

8. PRECAUCIONES CON LOS MATERIALES, REACTIVOS, INSTRUMENTOS Y EQUIPOS A UTILIZAR:

- *Para el ingreso al laboratorio será necesaria la bata blanca.*
- *Se recomienda hacer un uso adecuado de los computadores.*
- *Es recomendable apagar los elementos si se va a realizar cualquier cambio en el circuito electrónico o en la parte mecánica del sistema.*
- *No exceder los valores máximos permitidos de voltajes y corrientes indicados para los dispositivos utilizados.*
- *Consultar en los manuales y datasheet correspondientes.*
- *No sobrepasar el máximo de potencia disipada por las resistencias.*

9. PROCEDIMIENTO, MÉTODO O ACTIVIDADES:

- Responder las siguientes preguntas:
 - ¿Qué tipo de analogías existen? Realice un cuadro con las diferentes analogías incluyendo sistemas térmicos, hidráulicos, eléctricos y mecánicos
 - ¿Qué elementos son necesarios para modelar de los diferentes tipos de sistemas (resistencia, masa, altura, etc)? ¿Cuáles son sus unidades?
 - ¿Qué propiedades debe cumplir un sistema lineal?
 - ¿Cómo se puede determinar la linealidad de un sistema?
 - ¿Cómo se define variable de estado?
 - ¿Qué dimensión debe tener cada una de las matrices del espacio de estados si se tienen q entradas, n estados y p salidas?



LABORATORIO 1. Modelado de Sistemas Mecatrónicos

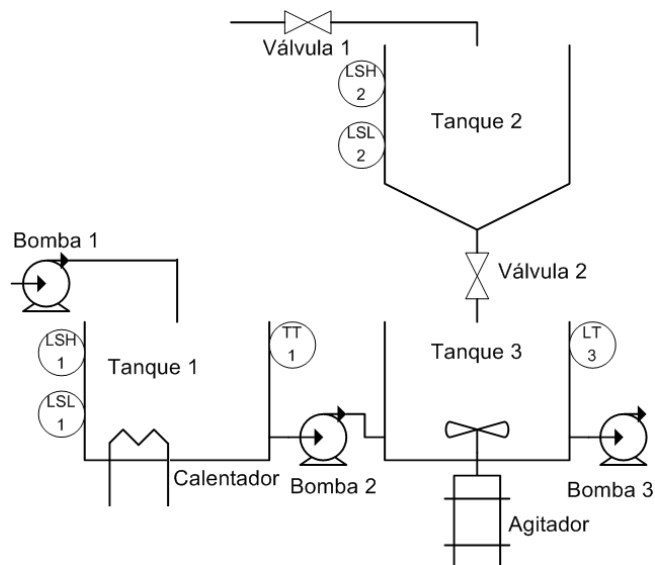


Figura 1. Sistema de tanques acoplados - control de nivel y temperatura.

1. Considerando el sistema de procesos mostrados en la Figura, el sistema consta de tres tanques conectados mediante bombas, válvulas y actuadores como un calentador y un agitador. Se incluyen también sensores de nivel y temperatura. La dinámica del sistema puede modelarse considerando las siguientes suposiciones y parámetros:
 - El flujo proporcionado por las bombas es proporcional a la señal de control aplicada.
 - Las válvulas se modelan como elementos cuya apertura regula el caudal en función de la presión aguas arriba y aguas abajo.
 - La transferencia de calor en el tanque 1 es gobernada por un balance de energía con entrada de calor desde el calentador.
 - Las paredes de los tanques son rígidas, verticales y de área constante.



LABORATORIO 1. Modelado de Sistemas Mecatrónicos

Parámetros de referencia:

- Área transversal de los tanques: $A=0.25\text{m}^2$
 - Capacidad calorífica del líquido: $C_p=4.18\text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$
 - Densidad del fluido: $\rho=1000\text{ kg/m}^3$
 - Coeficientes de ganancia de bombas: K_{B1}, K_{B2}, K_{B3}
 - Constantes de tiempo estimadas: T_1, T_2, T_3
 - Resistencia térmica del tanque 1: R_{th}
- a. Formular los modelos dinámicos del sistema representado, utilizando balances de masa y energía, expresados como un conjunto de ecuaciones diferenciales ordinarias de primer orden. Se sugiere separar los modelos por tanque.
- b. Linealizar los modelos obtenidos alrededor de un punto de operación definido, por ejemplo:
- Nivel en tanque 3: $\bar{H}_3 = 1.5\text{ m}$
 - Temperatura en tanque 1: $\bar{T}_1 = 60^\circ\text{C}$
- c. Determinar las funciones de transferencia que relacionan:
- Entrada de caudal de bomba 1 con nivel en tanque 1: $G_1(s) = \frac{H_1(s)}{Q_1(s)}$
 - Señal de control de la válvula 2 con nivel en tanque 3: $G_2(s) = \frac{H_3(s)}{u_{V2}(s)}$
 - Potencia del calentador con la temperatura del tanque 1: $G_3(s) = \frac{T_1(s)}{Q_{heat}(s)}$
- d. Determinar el valor del coeficiente k_v de la válvula 2 para que el sistema de nivel en el tanque 3 tenga una constante de tiempo $\tau = 5\text{ s}$.
- e. Simular el sistema en MATLAB/Simulink tanto para la versión no lineal como para la linealizada. Analizar la respuesta del nivel y la temperatura frente a perturbaciones en el flujo de entrada y la potencia del calentador.



LABORATORIO 1. Modelado de Sistemas Mecatrónicos

2. Considere el siguiente sistema donde una masa m_a se desplaza sobre un plano inclinado de ángulo θ , conectada a un resorte de constante k y accionada mediante un motor de corriente directa (DC) que ejerce una fuerza f a través de una polea. La distancia desde el punto de referencia hasta la masa es $x(t)$, y se desprecia el rozamiento en la polea.

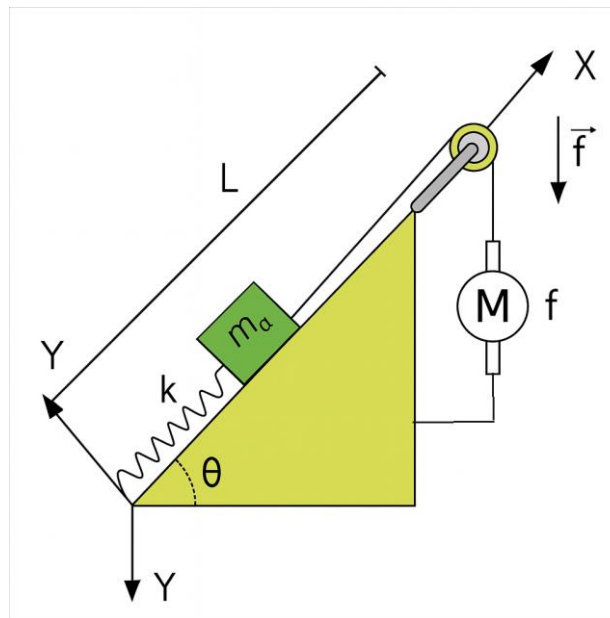


Figura 2. Sistema masa resorte sobre plano inclinado.

- Obtener el modelo matemático del sistema en forma de ecuaciones diferenciales de primer orden. Considerar el balance de fuerzas sobre la masa m_a , y la fuerza ejercida por el motor mediante su modelo eléctrico del motor DC con parámetros, y su acoplamiento con la carga a través de la relación fuerza-corriente.
- Encontrar las funciones de transferencia
 - $G_1(s) = \frac{X(s)}{V(s)}$: Relación entre el desplazamiento de la masa y la tensión aplicada al motor.
 - $G_2(s) = \frac{F(s)}{X(s)}$: Relación entre la fuerza del motor y la posición de la masa.
 - $G_3(s) = \frac{X(s)}{I(s)}$: Relación entre el desplazamiento de la masa y la



LABORATORIO 1. Modelado de Sistemas Mecatrónicos corriente en el motor.

- $G_4(s) = \frac{F(s)}{V(s)}$: Relación entre la fuerza ejercida por el motor y la tensión de alimentación.
- c. Asignar valores específicos a los parámetros del sistema para que:
 - La función de transferencia $G_2(s)$ exhiba un comportamiento subamortiguado.
 - La función $G_3(s)$ muestre una respuesta sobreamortiguada.
- d. Simular el sistema completo en MATLAB/Simulink, tanto en su versión no lineal como en la linealizada alrededor del punto de operación.}
- e. Aplicar la metodología de Euler-Lagrange para obtener el modelo dinámico del sistema.

3. Considere el sistema eléctrico mostrado en la Figura 3.

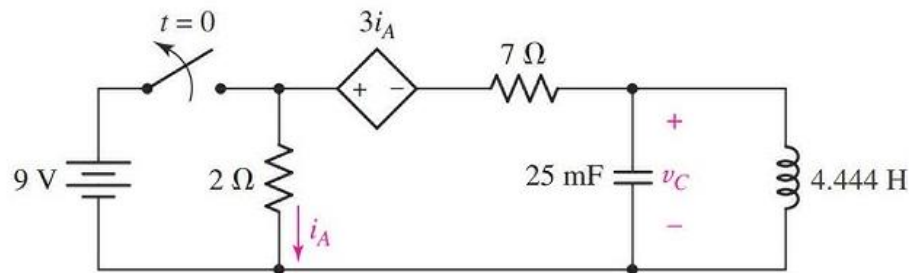


Figura 3.

- a. Formular el modelo matemático expresado como un sistema de ecuaciones diferenciales de primer orden.
 - Definir las variables de estado pertinentes
 - Considerar la fuente dependiente, en donde i_A es la corriente a través de la resistencia de 2Ω .
- b. Obtener la representación del sistema en espacio de estados, indicando explícitamente las matrices A, B, C, D .
- c. Determinar la función de transferencia entre la fuente de voltaje y el voltaje en el condensador v_C .
- d. Identificar el tipo de sistema (orden, amortiguamiento, frecuencia natural) y analizar si presenta comportamiento subamortiguado, sobreamortiguado o críticamente amortiguado.
- e. Simular el comportamiento temporal de las variables de estado utilizando MATLAB/Simulink, considerando condiciones iniciales nulas.



LABORATORIO 1. Modelado de Sistemas Mecatrónicos

f. Graficar la respuesta temporal y discutir el efecto de la fuente controlada sobre la dinámica del sistema.

4. Considere el circuito mostrado en la Figura 4, correspondiente a un controlador PID

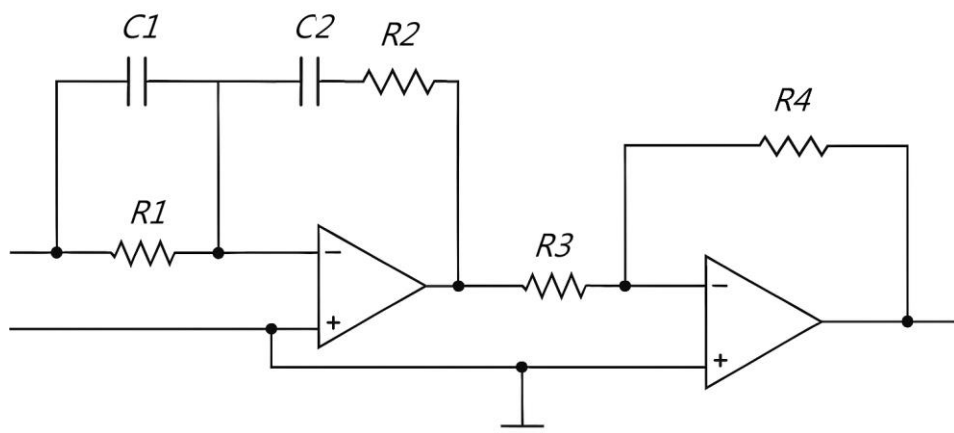


Figura 4. Controlador PID

- Determinar el modelo del controlador mostrado, identificando sus componentes: proporcional (K_p), integral (T_i), y derivativo (T_d).
- Hallar la función de transferencia del controlador $G_C(s)$
- Considerando los siguientes parámetros de diseño del controlador: $K_p = 12$, $T_i = 3s$ y $T_d = 6s$. Calcular los valores de las resistencias y capacitancias necesarias para obtener un comportamiento equivalente.
- Proponer dos variantes del circuito:
 - Uno que implemente solo control PI (eliminando la rama derivativa).
 - Otro que implemente solo control PD (eliminando la rama integradora).
 - Calcular las resistencias y capacitores correspondientes para cada uno, manteniendo K_p , T_i y T_d .
- Implementar la simulación de los tres controladores (PI, PD y PID) en Matlab/Simulink, usando la librería Simscape Electrical. Evaluar desempeño en términos de tiempo de establecimiento, sobrepaso y error en régimen de estado estacionario.



LABORATORIO 1. Modelado de Sistemas Mecatrónicos

10. RESULTADOS ESPERADOS:

- Resolución de las preguntas formuladas.
- Ecuaciones diferenciales, funciones de transferencia y espacio de estados de los diferentes sistemas mecatrónicos.
- Respuesta en simulación (Matlab) de los sistemas mecatrónicos propuestos.
- Informe en formato revista IEEE

11. CRITERIO DE EVALUACIÓN A LA PRESENTE PRÁCTICA:

Por medio de esta práctica se desarrollarán las siguientes competencias:

- Habilidad para identificar, formular y resolver problemas complejos de Ingeniería aplicando principios de Ingeniería, ciencias y matemáticas.
- Habilidad para comunicarse efectivamente ante un rango de audiencias.
- Capacidad de funcionar de manera efectiva en un equipo cuyos miembros juntos proporcionan liderazgo, crean un entorno colaborativo e inclusivo, establecen metas, planifican tareas y cumplen objetivos.
- Capacidad de desarrollar y llevar a cabo la experimentación adecuada, analizar e interpretar datos, y usar el juicio de Ingeniería para sacar conclusiones.

Las competencias descritas anteriormente se evaluarán mediante los siguientes indicadores:

- Identifica las variables que intervienen en un problema de ingeniería.
- Propone y/o formula modelos que representan las relaciones de las variables de un problema.
- Identifica y aplica leyes, teoremas, principios para la solución de problemas de ingeniería.
- Maneja las herramientas tecnológicas y computacionales para la solución de problemas complejos de ingeniería.
- Presenta sus ideas en forma clara y concisa, utilizando un lenguaje apropiado al contexto.
- Utiliza diferentes formas de comunicación con el fin de transmitir sus ideas, dependiendo del tipo de audiencia.



LABORATORIO 1. Modelado de Sistemas Mecatrónicos

- Redacta apropiadamente informes utilizando formatos estandarizados, referenciando, y utilizando reglas gramaticales y ortográficas.
- Se comunica adecuadamente con los integrantes del equipo, con el fin de desarrollar las tareas dentro de un entorno colaborativo, para cumplir los objetivos del proyecto.
- Analiza e interpreta los resultados obtenidos tras la experimentación (en laboratorios y/o mediante el uso de herramientas computacionales).
- Concluye sobre resultados obtenidos, aplicando juicios de ingeniería.