



# UES

Universidad Estatal de Sonora  
La Fuerza del Saber Estimulará mi Espíritu

# MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO

## Sistemas de control I

### Laboratorio de Ingeniería Biomédica

Programa Académico  
Plan de Estudios  
Fecha de elaboración  
Versión del Documento

Ing. Biomédica  
2020  
17/06/2025  
1.0



Dra. Martha Patricia Patiño Fierro  
**Rectora**

Mtra. Ana Lisette Valenzuela Molina  
**Encargada del Despacho de la Secretaría  
General Académica**

Mtro. José Antonio Romero Montaña  
**Secretario General Administrativo**

Lic. Jorge Omar Herrera Gutiérrez  
**Encargado de Despacho de Secretario  
General de Planeación**

## Tabla de contenido

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>IDENTIFICACIÓN .....</b>	<b>5</b>
<i>Carga Horaria de la asignatura .....</i>	<i>5</i>
<i>Consignación del Documento .....</i>	<i>5</i>
<b>MATRIZ DE CORRESPONDENCIA .....</b>	<b>6</b>
<b>NORMAS DE SEGURIDAD Y BUENAS PRÁCTICAS .....</b>	<b>7</b>
<i>Reglamento general del laboratorio .....</i>	<i>7</i>
<i>Reglamento de uniforme.....</i>	<i>7</i>
<i>Uso adecuado del equipo y materiales.....</i>	<i>7</i>
<i>Manejo y disposición de residuos peligrosos.....</i>	<i>7</i>
<i>Procedimientos en caso de emergencia .....</i>	<i>7</i>
<b>RELACIÓN DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO POR ELEMENTO DE COMPETENCIA....</b>	<b>8</b>
<b>PRÁCTICAS.....</b>	<b>3</b>

## INTRODUCCIÓN

Como parte de las herramientas esenciales para la formación académica de los estudiantes de la Universidad Estatal de Sonora, se definen manuales de práctica de laboratorio como elemento en el cual se define la estructura normativa de cada práctica y/o laboratorio, además de representar una guía para la aplicación práctica del conocimiento y el desarrollo de las competencias clave en su área de estudio. Su diseño se encuentra alineado con el modelo educativo institucional, el cual privilegia el aprendizaje basado en competencias, el aprendizaje activo y la conexión con escenarios reales.

Con el propósito de fortalecer la autonomía de los estudiantes, su pensamiento crítico y sus habilidades para la resolución de problemas, las prácticas de laboratorio integran estrategias didácticas como el aprendizaje basado en proyectos, el trabajo colaborativo, la experimentación guiada y el uso de tecnologías educativas. De esta manera, se promueve un proceso de enseñanza-aprendizaje dinámico, en el que los estudiantes no solo adquieren conocimientos teóricos, sino que también desarrollan habilidades prácticas y reflexivas para su desempeño profesional.

Señalar en este apartado brevemente los siguientes elementos según corresponda:

- Propósito del manual
- Justificación de su uso en el programa académico
- Competencias a desarrollar
  - **Competencias blandas:** Habilidades transversales que se refuerzan en las prácticas, como la comunicación, el trabajo en equipo, el uso de tecnologías, etc.
  - **Competencias disciplinares:** Conocimientos específicos del área del laboratorio, incluyendo fundamentos teóricos y habilidades técnicas.
  - **Competencias profesionales:** Aplicación de los conocimientos adquiridos en escenarios reales o simulados, en concordancia con el perfil de egreso del programa.

## IDENTIFICACIÓN

<b>Nombre de la Asignatura</b>		<b>Sistemas de Control I</b>	
<b>Clave</b>	<b>071CP083</b>	<b>Créditos</b>	<b>6 créditos</b>
<b>Asignaturas Antecedentes</b>	<b>052CP062</b>	<b>Plan de Estudios</b>	<b>2020</b>

<b>Área de Competencia</b>	<b>Competencia del curso</b>
	Aplicar algoritmos de control, de forma estratégica, analítica y experimental, enfocado a equipo electrónico utilizado en la industria biomédica. Con el fin obtener el mayor provecho de los recursos tecnológicos bajo los estándares de calidad nacional e internacional.

### Carga Horaria de la asignatura

<b>Horas Supervisadas</b>			<b>Horas Independientes</b>	<b>Total de Horas</b>
<b>Aula</b>	<b>Laboratorio</b>	<b>Plataforma</b>		
<b>3</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>8</b>

### Consignación del Documento

<b>Unidad Académica</b>	Unidad Académica Hermosillo
<b>Fecha de elaboración</b>	17/06/2025
<b>Responsables del diseño</b>	Aldo Zazueta Raynaud
<b>Validación</b>	
<b>Recepción</b>	Coordinación de Procesos Educativos

### MATRIZ DE CORRESPONDENCIA

Señalar la relación de cada práctica con las competencias del perfil de egreso

PRÁCTICA	PERFIL DE EGRESO
1. Introducción a sistemas de control: análisis de lazo abierto y cerrado	Identificar la estructura básica de sistemas de control en lazo abierto y cerrado para comprender su comportamiento funcional, mediante análisis y simulación, en contextos biomédicos, fortaleciendo el pensamiento crítico.
2. Simulación de sistemas de control básicos en entorno computacional	Simular sistemas dinámicos simples para observar su respuesta temporal ante diferentes entradas, utilizando software especializado, en entorno de laboratorio, desarrollando habilidades digitales y razonamiento lógico.
3. Análisis de respuesta en frecuencia: diagramas de Bode	Analizar la respuesta en frecuencia de sistemas de primer y segundo orden mediante el uso de diagramas de Bode, bajo condiciones controladas, aplicando criterios de estabilidad y desempeño, desarrollando análisis técnico.
4. Simulación de sistemas en el dominio de la frecuencia	Simular y comparar sistemas biomédicos en el dominio de la frecuencia para validar modelos de control, utilizando herramientas computacionales, en entornos de simulación, fomentando precisión y pensamiento analítico.
5. Diseño y ajuste de controladores PID	Diseñar y ajustar controladores PID para el control de sistemas biomédicos, mediante análisis matemático y simulación, bajo condiciones específicas de rendimiento, desarrollando habilidades de solución de problemas.
6. Representación en espacio de estados y simulación	Representar sistemas en el espacio de estados para analizar su dinámica y controlabilidad, mediante modelos matemáticos y simulaciones, en plataformas digitales, promoviendo pensamiento estratégico e innovación.

## **NORMAS DE SEGURIDAD Y BUENAS PRÁCTICAS**

### **Reglamento general del laboratorio**

- Acceder únicamente con autorización y bajo supervisión del docente.
- Conservar una actitud profesional: mantener silencio, orden y respeto en el espacio.
- No está permitido ingerir alimentos o bebidas dentro del área de cómputo.
- Utilizar únicamente el equipo asignado y no modificar su configuración sin permiso.
- Reportar cualquier falla, daño o comportamiento irregular en el equipo inmediatamente.

### **Reglamento de uniforme**

- Asistir con vestimenta adecuada y profesional.
- Evitar el uso de accesorios sueltos que puedan interferir con el trabajo (cascos, cadenas, bufandas largas, etc.).
- Usar gafete o identificación visible en sesiones programadas si así lo requiere la institución.

### **Uso adecuado del equipo y materiales**

- Encender y apagar el equipo siguiendo el procedimiento indicado por el docente.
- No conectar ni desconectar periféricos sin autorización (USB, mouse, teclado, etc.).
- Guardar correctamente los archivos de trabajo; no instalar software sin permiso.
- No realizar acciones que comprometan la seguridad del sistema: evitar sitios no autorizados y software pirata.
- Cuidar físicamente el mobiliario y equipo: no rayar, escribir, golpear o maltratar el hardware.

### **Manejo y disposición de residuos peligrosos**

- Depositar hojas, empaques o material desechable en los botes correspondientes.
- No dejar memorias USB, cables, manuales o materiales sobre el equipo al finalizar la práctica.
- Reportar cualquier daño a mouse, teclado, pantallas o conexiones.

### **Procedimientos en caso de emergencia**

- Identificar previamente las salidas de emergencia del edificio.
- En caso de incendio, sismo o corte eléctrico, mantener la calma y evacuar siguiendo las indicaciones institucionales.
- No intentar mover o desconectar equipos bajo riesgo; dirigirse al punto de reunión establecido.
- Reportar cualquier incidente al responsable del centro o al docente.

## RELACIÓN DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO POR ELEMENTO DE COMPETENCIA

<b>Elemento de Competencia al que pertenece la práctica</b>	<b>Elemento de competencia I</b>
	Conocer las generalidades de los sistemas de control, incluyendo las herramientas adecuadas para el análisis, con el fin de resolver problemas aplicados a sistemas biomédicos.

PRÁCTICA	NOMBRE	COMPETENCIA
Práctica No. 1	Introducción a sistemas de control: análisis de lazo abierto y cerrado	Identificar la estructura y funcionamiento de sistemas en lazo abierto y cerrado para comprender su comportamiento general, mediante diagramas y simulaciones básicas, en entorno computacional, fortaleciendo el pensamiento crítico.
Práctica No. 2	Simulación de sistemas de control básicos en entorno computacional	Simular la respuesta temporal de sistemas básicos a diferentes entradas estándar para reconocer el comportamiento dinámico inicial, utilizando herramientas computacionales, en centro de cómputo, desarrollando habilidades de análisis lógico.

<b>Elemento de Competencia al que pertenece la práctica</b>	<b>Elemento de competencia II</b>
	Analizar sistemas dinámicos por el método de la respuesta en frecuencia, con el fin de diseñar algoritmos de control que cumplan los requerimientos de calidad necesarios, bajo un enfoque de resultados.

PRÁCTICA	NOMBRE	COMPETENCIA
Práctica No. 3	Análisis de sistemas mediante diagramas de Bode	Analizar la respuesta en frecuencia de sistemas de primer y segundo orden para evaluar sus características de estabilidad y ganancia, bajo condiciones teóricas controladas, en software especializado, desarrollando análisis técnico.
Práctica No. 4	Simulación de sistemas de control básicos en entorno computacional	Simular sistemas en el dominio de la frecuencia para validar su comportamiento ante distintas condiciones de operación, mediante herramientas computacionales, en un centro de cómputo, promoviendo precisión técnica.

<b>Elemento de Competencia al que pertenece la práctica</b>	<b>Elemento de competencia III</b>
	Diseñar controladores PID y generar su representación en espacios de estados para su correcta adaptación y aplicación de manera estratégica, al control de mecanismos biomédicos, respetando las normas de seguridad.

PRÁCTICA	NOMBRE	COMPETENCIA
Práctica No. 5	Diseño y ajuste de controladores PID	Diseñar y ajustar controladores PID para mejorar el rendimiento dinámico de sistemas biomédicos, mediante simulación y análisis de desempeño, en plataforma digital, fortaleciendo habilidades de solución de problemas.
Práctica No. 6	Representación de sistemas en espacio de estados	Representar sistemas en el espacio de estados para comprender su dinámica interna y su controlabilidad, utilizando modelos matemáticos, en entorno de simulación, desarrollando pensamiento estratégico.



# UES

Universidad Estatal de Sonora  
La Fuerza del Saber Estimulará mi Espíritu

# PRÁCTICAS

<b>NOMBRE DE LA PRÁCTICA</b>	1. Introducción a sistemas de control: análisis de lazo abierto y cerrado
<b>COMPETENCIA DE LA PRÁCTICA</b>	Identificar la estructura y funcionamiento de sistemas en lazo abierto y cerrado para comprender su comportamiento general, mediante diagramas y simulaciones básicas, en entorno computacional, fortaleciendo el pensamiento crítico.

<b>FUNDAMENTO TEÓRICO</b>	
<p>Los sistemas de control pueden clasificarse en lazo abierto y lazo cerrado. Un sistema de lazo abierto no utiliza retroalimentación, por lo que su salida no se corrige automáticamente ante perturbaciones. En cambio, un sistema de lazo cerrado mide continuamente su salida y la compara con una referencia, generando una acción correctiva. Esta retroalimentación es esencial en aplicaciones biomédicas donde se requiere mantener condiciones precisas, como la temperatura de una incubadora o el flujo de un sistema de perfusión.</p>	

<b>MATERIALES, EQUIPAMIENTO Y/O REACTIVOS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Computadora con sistema operativo actualizado</li> <li>• Software de simulación: MATLAB/Simulink o Scilab/Xcos</li> <li>• Manual de prácticas digital (proporcionado por el docente)</li> <li>• Libreta o documento digital para registro de observaciones</li> </ul>

<b>PROCEDIMIENTO O METODOLOGÍA</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Iniciar el software de simulación indicado por el docente.</li> <li>2. Crear un modelo básico de sistema en lazo abierto usando bloques funcionales.</li> <li>3. Aplicar una entrada escalón y observar la respuesta del sistema.</li> <li>4. Modificar el modelo para incluir un bucle de retroalimentación (lazo cerrado).</li> <li>5. Ejecutar la simulación con la misma entrada y registrar las diferencias en el comportamiento del sistema.</li> <li>6. Analizar visualmente la salida en ambos casos (tiempo de establecimiento, sobrepaso, error en estado estable).</li> <li>7. Completar la hoja de resultados y entregar evidencias digitales (capturas o archivo).</li> </ol> <p><b>Precaución:</b> Verificar unidades y conexiones antes de correr la simulación. Guardar frecuentemente el avance del trabajo.</p>

<b>RESULTADOS ESPERADOS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simulaciones funcionales de sistemas en lazo abierto y cerrado.</li> <li>• Gráficas de respuesta temporal comparativa ante entrada escalón.</li> <li>• Análisis de desempeño (tiempo de subida, error en estado estable, etc.).</li> </ul>

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

- ¿Qué ventajas tiene un sistema de lazo cerrado frente a uno de lazo abierto?
- ¿Qué diferencias observaste en la respuesta temporal?
- ¿Qué aplicación biomédica consideras que requiere retroalimentación y por qué?

### CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

El alumno comprenderá la diferencia funcional entre ambos tipos de sistemas, identificando el papel de la retroalimentación en el control automático. Esta comprensión servirá de base para el análisis y diseño de sistemas más complejos en el ámbito biomédico.

### ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

- Investigar tres aplicaciones biomédicas reales que empleen control en lazo cerrado.
- Realizar un diagrama funcional de un sistema biomédico con control retroalimentado.
- Simular un sistema que sufra una perturbación externa y observar la respuesta con y sin retroalimentación.

### EVALUACIÓN Y EVIDENCIAS DE APRENDIZAJE

Criterios de evaluación	Entrega de reporte de práctica individual conforme a la rúbrica institucional.
Rúbricas o listas de cotejo para valorar desempeño	Formato de rubrica institucional disponible en: <a href="https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/Practica_de_Laboratorio.pdf">https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/Practica_de_Laboratorio.pdf</a>
Formatos de reporte de prácticas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Portada (nombre de la universidad, asignatura, práctica, nombre del estudiante, fecha).</li> <li>- Nombre de la práctica.</li> <li>- Introducción (breve explicación del objetivo y fundamentos teóricos).</li> <li>- Objetivos (generales y específicos).</li> <li>- Materiales y equipo utilizado (incluyendo cantidades y características relevantes).</li> <li>- Procedimiento o metodología (pasos desarrollados y observaciones).</li> <li>- Resultados obtenidos (tablas, gráficas, esquemas, mediciones).</li> <li>- Análisis de resultados (respuestas a preguntas guía, discusión de datos).</li> <li>- Conclusiones (relación con teoría y aplicación práctica).</li> <li>- Fuentes de información (en formato APA 7ª edición).</li> <li>- Anexos (si aplica: diagramas, fotografías, hojas de datos).</li> </ul>

## FUENTES DE INFORMACIÓN

- Franklin, G. F., Powell, J. D., & Emami-Naeini, A. (2015). *Feedback Control of Dynamic Systems* (7th ed.). Pearson.
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna* (5.ª ed.). Pearson Educación.

## NORMAS TÉCNICAS APLICABLES

- **ISO 13485:2016** – Gestión de calidad en dispositivos médicos.
- **NOM-019-SSA3-2013** – Práctica de la ingeniería biomédica en establecimientos de salud.
- **IEC 60601-1** – Requisitos de seguridad de equipos electromédicos.

<b>NOMBRE DE LA PRÁCTICA</b>	2. Simulación de sistemas de control básicos en entorno computacional
<b>COMPETENCIA DE LA PRÁCTICA</b>	Simular la respuesta temporal de sistemas básicos a diferentes entradas estándar para reconocer el comportamiento dinámico inicial, utilizando herramientas computacionales, en centro de cómputo, desarrollando habilidades de análisis lógico.

### FUNDAMENTO TEÓRICO

La simulación es una herramienta esencial en el análisis de sistemas de control, ya que permite observar el comportamiento dinámico de un sistema antes de su implementación física. Mediante herramientas computacionales como MATLAB/Simulink, es posible aplicar entradas estándar (escalón, rampa, impulso) a modelos de sistemas de primer y segundo orden y observar su respuesta. Esta práctica fortalece la capacidad del estudiante para interpretar gráficas de respuesta temporal, anticipar el desempeño del sistema y validar modelos teóricos.

### MATERIALES, EQUIPAMIENTO Y/O REACTIVOS

- Computadora con acceso a software de simulación (MATLAB/Simulink o Scilab/Xcos)
- Acceso a manual digital o instructivo de simulación
- Cuaderno o archivo digital para anotaciones
- Acceso a la hoja de trabajo proporcionada por el docente

### PROCEDIMIENTO O METODOLOGÍA

1. Ingresar al entorno de simulación (MATLAB/Simulink o equivalente).
2. Crear modelos de sistemas de primer orden (ej.  $G(s) = 1/(s+1)$ ) y segundo orden (ej.  $G(s) = 10/(s^2+2s+10)$ ).
3. Aplicar diferentes tipos de entrada: escalón, impulso, rampa.
4. Ejecutar las simulaciones y registrar las gráficas de salida (respuesta temporal).
5. Analizar el tiempo de establecimiento, sobrepaso y estabilidad para cada modelo.
6. Completar la hoja de resultados con observaciones cuantitativas y cualitativas.
7. Guardar capturas de pantalla o archivos exportados con los resultados.

**Precaución:** Verificar los parámetros antes de cada simulación. No sobrescribir archivos anteriores sin respaldo.

### RESULTADOS ESPERADOS

- Modelos correctamente simulados de sistemas de primer y segundo orden.
- Gráficas claras de respuesta ante diferentes tipos de entrada.
- Registro de parámetros clave: tiempo de subida, sobrepaso, error en estado estable.

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

- ¿Cómo cambia la respuesta del sistema al modificar el tipo de entrada?
- ¿Cuál sistema presenta mayor rapidez o estabilidad?
- ¿Qué implicaciones tendría esta respuesta en un sistema biomédico como un control de flujo?

### CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

El estudiante será capaz de interpretar la respuesta temporal de un sistema dinámico básico, identificar su comportamiento ante distintas entradas y establecer criterios iniciales de análisis que fundamenten decisiones de diseño de control.

### ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

- Investigar el uso de simulaciones en el diseño de marcapasos o respiradores automáticos.
- Crear una tabla comparativa entre las respuestas a entradas escalón, impulso y rampa.
- Simular un sistema con diferentes valores de ganancia y documentar el efecto en su respuesta.

### EVALUACIÓN Y EVIDENCIAS DE APRENDIZAJE

Criterios de evaluación	Entrega de reporte de práctica individual conforme a la rúbrica institucional.
Rúbricas o listas de cotejo para valorar desempeño	Formato de rubrica institucional disponible en: <a href="https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/Practica_de_Laboratorio.pdf">https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/Practica_de_Laboratorio.pdf</a>
Formatos de reporte de prácticas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Portada (nombre de la universidad, asignatura, práctica, nombre del estudiante, fecha).</li> <li>- Nombre de la práctica.</li> <li>- Introducción (breve explicación del objetivo y fundamentos teóricos).</li> <li>- Objetivos (generales y específicos).</li> <li>- Materiales y equipo utilizado (incluyendo cantidades y características relevantes).</li> <li>- Procedimiento o metodología (pasos desarrollados y observaciones).</li> <li>- Resultados obtenidos (tablas, gráficas, esquemas, mediciones).</li> <li>- Análisis de resultados (respuestas a preguntas guía, discusión de datos).</li> <li>- Conclusiones (relación con teoría y aplicación práctica).</li> <li>- Fuentes de información (en formato APA 7ª edición).</li> <li>- Anexos (si aplica: diagramas, fotografías, hojas de datos).</li> </ul>

## FUENTES DE INFORMACIÓN

- Nise, N. S. (2016). *Sistemas de control en ingeniería* (7.<sup>a</sup> ed.). Cengage Learning.
- Franklin, G. F., Powell, J. D., & Emami-Naeini, A. (2015). *Feedback Control of Dynamic Systems* (7th ed.). Pearson.
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna* (5.<sup>a</sup> ed.). Pearson Educación.
- Dorf, R. C., & Bishop, R. H. (2011). *Sistemas de control automático* (8.<sup>a</sup> ed.). Pearson Educación.

## NORMAS TÉCNICAS APLICABLES

- **ISO 13485:2016** – Gestión de calidad para dispositivos médicos
- **IEC 60601-1** – Seguridad de equipos electromédicos
- **NOM-019-SSA3-2013** – Práctica de la ingeniería biomédica en establecimientos de salud

<b>NOMBRE DE LA PRÁCTICA</b>	3. Análisis de sistemas mediante diagramas de Bode
<b>COMPETENCIA DE LA PRÁCTICA</b>	Analizar la respuesta en frecuencia de sistemas de primer y segundo orden mediante el uso de diagramas de Bode, bajo condiciones controladas, aplicando criterios de estabilidad y desempeño, desarrollando análisis técnico.

<b>FUNDAMENTO TEÓRICO</b>
El análisis en frecuencia es una herramienta esencial en sistemas de control para evaluar cómo responde un sistema ante señales senoidales de diferentes frecuencias. Los diagramas de Bode muestran la magnitud y la fase de la función de transferencia en función de la frecuencia, permitiendo determinar la ganancia, margen de fase y estabilidad del sistema. Estos conceptos son fundamentales para el diseño y ajuste de controladores, especialmente en sistemas biomédicos donde se requiere garantizar respuesta precisa y segura ante variaciones del entorno.

<b>MATERIALES, EQUIPAMIENTO Y/O REACTIVOS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Computadora con MATLAB o Scilab instalado</li> <li>• Acceso a toolbox de Control Systems o Xcos en caso de usar Scilab</li> <li>• Guía práctica digital proporcionada por el docente</li> <li>• Hoja de resultados o libreta digital para anotaciones</li> </ul>

<b>PROCEDIMIENTO O METODOLOGÍA</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Abrir el software de simulación (MATLAB o Scilab).</li> <li>2. Definir funciones de transferencia típicas de primer y segundo orden.</li> <li>3. Generar el diagrama de Bode para cada función de transferencia.</li> <li>4. Analizar la magnitud y fase en diferentes rangos de frecuencia.</li> <li>5. Identificar el margen de ganancia y el margen de fase de cada sistema.</li> <li>6. Anotar y comparar resultados entre los dos tipos de sistemas.</li> <li>7. Guardar capturas de pantalla de cada simulación o exportar los gráficos.</li> </ol> <p><b>Precaución:</b> Verificar que las funciones estén correctamente normalizadas. Usar frecuencias en escala logarítmica para obtener mayor detalle.</p>

<b>RESULTADOS ESPERADOS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagramas de Bode claros para cada sistema (magnitud y fase).</li> <li>• Identificación del comportamiento del sistema en baja, media y alta frecuencia.</li> <li>• Cálculo de márgenes de ganancia y fase para determinar estabilidad.</li> </ul>

<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cómo cambia la ganancia del sistema al aumentar la frecuencia?</li> <li>• ¿Qué implicación tiene un margen de fase bajo o negativo?</li> <li>• ¿Cuál sistema mostró mejor comportamiento ante frecuencias altas?</li> <li>• ¿Qué tipo de aplicaciones biomédicas requieren analizar la respuesta en frecuencia?</li> </ul>

### CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

Esta práctica permitirá al estudiante comprender la importancia del análisis en frecuencia en el diseño de sistemas de control. Reconocerá cómo esta técnica se utiliza para asegurar la estabilidad y el rendimiento en aplicaciones biomédicas críticas, como filtros de ECG o control de velocidad en bombas de infusión.

### ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

- Buscar dos ejemplos reales de dispositivos biomédicos que deban ser diseñados con base en análisis de frecuencia.
- Comparar un sistema subamortiguado y uno sobreamortiguado en sus diagramas de Bode.
- Analizar qué ocurre si se disminuye la ganancia del sistema: ¿mejora o empeora el margen de fase?

### EVALUACIÓN Y EVIDENCIAS DE APRENDIZAJE

Criterios de evaluación	Entrega de reporte de práctica individual conforme a la rúbrica institucional.
Rúbricas o listas de cotejo para valorar desempeño	Formato de rubrica institucional disponible en: <a href="https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/Practica_de_Laboratorio.pdf">https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/Practica_de_Laboratorio.pdf</a>
Formatos de reporte de prácticas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Portada (nombre de la universidad, asignatura, práctica, nombre del estudiante, fecha).</li> <li>- Nombre de la práctica.</li> <li>- Introducción (breve explicación del objetivo y fundamentos teóricos).</li> <li>- Objetivos (generales y específicos).</li> <li>- Materiales y equipo utilizado (incluyendo cantidades y características relevantes).</li> <li>- Procedimiento o metodología (pasos desarrollados y observaciones).</li> <li>- Resultados obtenidos (tablas, gráficas, esquemas, mediciones).</li> <li>- Análisis de resultados (respuestas a preguntas guía, discusión de datos).</li> <li>- Conclusiones (relación con teoría y aplicación práctica).</li> <li>- Fuentes de información (en formato APA 7ª edición).</li> <li>- Anexos (si aplica: diagramas, fotografías, hojas de datos).</li> </ul>

## FUENTES DE INFORMACIÓN

- Franklin, G. F., Powell, J. D., & Emami-Naeini, A. (2015). *Feedback Control of Dynamic Systems* (7th ed.). Pearson.
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna* (5.ª ed.). Pearson Educación.
- Nise, N. S. (2016). *Sistemas de control en ingeniería* (7.ª ed.). Cengage Learning.
- Dorf, R. C., & Bishop, R. H. (2011). *Sistemas de control automático* (8.ª ed.). Pearson Educación.

## NORMAS TÉCNICAS APLICABLES

- **ISO 13485:2016** – Gestión de calidad en dispositivos médicos
- **IEC 60601-1** – Seguridad básica y desempeño esencial en equipos electromédicos
- **NOM-019-SSA3-2013** – Disposiciones para la práctica de ingeniería biomédica en unidades de salud

<b>NOMBRE DE LA PRÁCTICA</b>	4. Simulación de sistemas de control básicos en entorno computacional.
<b>COMPETENCIA DE LA PRÁCTICA</b>	Simular sistemas en el dominio de la frecuencia para validar su comportamiento ante distintas condiciones de operación, mediante herramientas computacionales, en un centro de cómputo, promoviendo precisión técnica.

### FUNDAMENTO TEÓRICO

Los sistemas dinámicos pueden analizarse también en el dominio de la frecuencia, donde se evalúa la respuesta del sistema ante entradas senoidales. A través de herramientas computacionales como MATLAB o Scilab, es posible simular sistemas y observar su desempeño mediante análisis de frecuencia, lo cual permite verificar márgenes de ganancia, fase, y estabilidad sin realizar pruebas físicas. Esta simulación facilita el diseño de controladores más robustos y la validación previa a la implementación en sistemas biomédicos reales.

### MATERIALES, EQUIPAMIENTO Y/O REACTIVOS

- Computadora con software de simulación (MATLAB/Simulink o Scilab/Xcos)
- Acceso a la toolbox de sistemas de control
- Manual digital de la práctica
- Formato de reporte o libreta de anotaciones

### PROCEDIMIENTO O METODOLOGÍA

1. Abrir el software indicado y crear un nuevo proyecto de simulación.
2. Ingresar funciones de transferencia de primer y segundo orden.
3. Aplicar análisis de frecuencia para obtener la respuesta del sistema.
4. Visualizar y registrar la magnitud y fase a diferentes frecuencias.
5. Simular condiciones específicas como la variación de parámetros o ganancia.
6. Documentar los efectos de las variaciones sobre la respuesta del sistema.
7. Exportar los resultados o tomar capturas para su análisis.

**Precaución:** Evitar modificar los parámetros críticos sin respaldo del archivo original.

### RESULTADOS ESPERADOS

- Obtención de gráficas de respuesta en frecuencia (módulo y fase).
- Análisis de cómo se altera la respuesta ante cambios en la ganancia o la frecuencia.
- Registro visual y cuantitativo de márgenes de estabilidad.

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

- ¿Cómo se comporta el sistema ante cambios en frecuencia?
- ¿Qué sucede con la fase y ganancia al aumentar la frecuencia?
- ¿Cuál de los modelos simulados mostró mayor robustez ante variaciones?

### CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

El alumno valorará el poder de la simulación como herramienta previa al diseño físico de sistemas de control, desarrollando una visión crítica sobre la estabilidad y el desempeño ante diversas condiciones de operación, fundamentales en dispositivos biomédicos.

### ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

- Realizar una tabla que relacione frecuencia vs. ganancia para un sistema dado.
- Simular un sistema inestable y proponer ajustes para estabilizarlo.
- Identificar posibles aplicaciones biomédicas que dependan de desempeño en frecuencia.

### EVALUACIÓN Y EVIDENCIAS DE APRENDIZAJE

CrITERIOS de evaluación	Entrega de reporte de práctica individual conforme a la rúbrica institucional.
Rúbricas o listas de cotejo para valorar desempeño	Formato de rubrica institucional disponible en: <a href="https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/Practica_de_Laboratorio.pdf">https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/Practica_de_Laboratorio.pdf</a>
Formatos de reporte de prácticas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Portada (nombre de la universidad, asignatura, práctica, nombre del estudiante, fecha).</li> <li>- Nombre de la práctica.</li> <li>- Introducción (breve explicación del objetivo y fundamentos teóricos).</li> <li>- Objetivos (generales y específicos).</li> <li>- Materiales y equipo utilizado (incluyendo cantidades y características relevantes).</li> <li>- Procedimiento o metodología (pasos desarrollados y observaciones).</li> <li>- Resultados obtenidos (tablas, gráficas, esquemas, mediciones).</li> <li>- Análisis de resultados (respuestas a preguntas guía, discusión de datos).</li> <li>- Conclusiones (relación con teoría y aplicación práctica).</li> <li>- Fuentes de información (en formato APA 7ª edición).</li> <li>- Anexos (si aplica: diagramas, fotografías, hojas de datos).</li> </ul>

### FUENTES DE INFORMACIÓN

- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna* (5.ª ed.). Pearson Educación.
- Franklin, G. F., Powell, J. D., & Emami-Naeini, A. (2015). *Feedback Control of Dynamic Systems* (7th ed.). Pearson.

### NORMAS TÉCNICAS APLICABLES

- **ISO 13485:2016** – Calidad en dispositivos médicos
- **IEC 60601-1** – Seguridad en equipos electromédicos
- **NOM-019-SSA3-2013** – Práctica de ingeniería biomédica en establecimientos de salud

<b>NOMBRE DE LA PRÁCTICA</b>	5. Diseño y ajuste de controladores PID
<b>COMPETENCIA DE LA PRÁCTICA</b>	Diseñar y ajustar controladores PID para mejorar el rendimiento dinámico de sistemas biomédicos, mediante simulación y análisis de desempeño, en plataforma digital, fortaleciendo habilidades de solución de problemas.

<b>FUNDAMENTO TEÓRICO</b>
Los controladores PID (Proporcional, Integral y Derivativo) son ampliamente utilizados en sistemas de control automático por su simplicidad y eficacia para ajustar el comportamiento dinámico del sistema. El término proporcional responde al error instantáneo, el integral al error acumulado, y el derivativo anticipa la tendencia del error. Ajustar correctamente estos parámetros permite minimizar el sobrepaso, reducir el error en estado estable y mejorar el tiempo de respuesta. En dispositivos biomédicos, como bombas de infusión o respiradores, un mal ajuste del PID puede comprometer la seguridad del paciente.

<b>MATERIALES, EQUIPAMIENTO Y/O REACTIVOS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Computadora con acceso a MATLAB/Simulink o Scilab/Xcos</li> <li>• Acceso a toolbox de control PID</li> <li>• Manual digital de la práctica</li> <li>• Calculadora científica o digital</li> <li>• Hoja de trabajo o libreta para notas</li> </ul>

<b>PROCEDIMIENTO O METODOLOGÍA</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ingresar al software de simulación y crear un sistema de segundo orden típico.</li> <li>2. Insertar un bloque de controlador PID con parámetros ajustables.</li> <li>3. Simular la respuesta del sistema con valores iniciales (no ajustados).</li> <li>4. Aplicar ajustes progresivos a los parámetros P, I y D, observando el efecto en: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Sobrepaso</li> <li>○ Tiempo de establecimiento</li> <li>○ Error en estado estable</li> </ul> </li> <li>5. Probar combinaciones hasta encontrar un ajuste que equilibre rapidez y estabilidad.</li> <li>6. Registrar gráficas y parámetros óptimos encontrados.</li> <li>7. Completar hoja de resultados con observaciones de cada iteración.</li> </ol> <p><b>Precaución:</b> Evitar incrementos excesivos de los valores de P o D que puedan llevar a inestabilidad.</p>

<b>RESULTADOS ESPERADOS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Respuesta optimizada del sistema bajo control PID.</li> <li>• Comparación gráfica antes y después del ajuste.</li> <li>• Registro de parámetros P, I, D y su efecto sobre el sistema.</li> </ul>

<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cómo afectó el parámetro proporcional a la respuesta del sistema?</li> <li>• ¿Qué ventajas trajo el término integral? ¿Y qué problemas generó si fue mal ajustado?</li> <li>• ¿El controlador PID mejoró el rendimiento global del sistema?</li> </ul>

### CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

El alumno valorará el poder de la simulación como herramienta previa al diseño físico de sistemas de control, desarrollando una visión crítica sobre la estabilidad y el desempeño ante diversas condiciones de operación, fundamentales en dispositivos biomédicos.

### ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

- Investigar ejemplos reales de uso de controladores PID en la industria médica.
- Simular el sistema con solo control P, luego PI, y finalmente PID completo para comparar.
- Proponer valores de P, I y D para un sistema biomédico sensible (ej. regulación de presión sanguínea).

### EVALUACIÓN Y EVIDENCIAS DE APRENDIZAJE

Criterios de evaluación	Entrega de reporte de práctica individual conforme a la rúbrica institucional.
Rúbricas o listas de cotejo para valorar desempeño	Formato de rubrica institucional disponible en: <a href="https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/Practica_de_Laboratorio.pdf">https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/Practica_de_Laboratorio.pdf</a>
Formatos de reporte de prácticas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Portada (nombre de la universidad, asignatura, práctica, nombre del estudiante, fecha).</li> <li>- Nombre de la práctica.</li> <li>- Introducción (breve explicación del objetivo y fundamentos teóricos).</li> <li>- Objetivos (generales y específicos).</li> <li>- Materiales y equipo utilizado (incluyendo cantidades y características relevantes).</li> <li>- Procedimiento o metodología (pasos desarrollados y observaciones).</li> <li>- Resultados obtenidos (tablas, gráficas, esquemas, mediciones).</li> <li>- Análisis de resultados (respuestas a preguntas guía, discusión de datos).</li> <li>- Conclusiones (relación con teoría y aplicación práctica).</li> <li>- Fuentes de información (en formato APA 7ª edición).</li> <li>- Anexos (si aplica: diagramas, fotografías, hojas de datos).</li> </ul>

### FUENTES DE INFORMACIÓN

- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna* (5.ª ed.). Pearson Educación.
- Nise, N. S. (2016). *Sistemas de control en ingeniería* (7.ª ed.). Cengage Learning.
- Franklin, G. F., Powell, J. D., & Emami-Naeini, A. (2015). *Feedback Control of Dynamic Systems* (7th ed.). Pearson.
- Dorf, R. C., & Bishop, R. H. (2011). *Sistemas de control automático* (8.ª ed.). Pearson Educación.

## **NORMAS TÉCNICAS APLICABLES**

- **ISO 13485:2016** – Gestión de calidad en dispositivos médicos
- **IEC 60601-1** – Seguridad esencial en equipos electromédicos
- **NOM-019-SSA3-2013** – Práctica profesional de ingeniería biomédica en unidades de salud

<b>NOMBRE DE LA PRÁCTICA</b>	6. Representación de sistemas en espacio de estados
<b>COMPETENCIA DE LA PRÁCTICA</b>	Representar sistemas dinámicos mediante el modelo en espacio de estados para analizar su comportamiento interno, utilizando herramientas computacionales, en simuladores digitales, promoviendo pensamiento estructurado.

<b>FUNDAMENTO TEÓRICO</b>
La representación en espacio de estados permite modelar sistemas dinámicos de una manera más general que el enfoque clásico de funciones de transferencia. Este modelo describe la evolución de un sistema en términos de vectores de estado, entradas y salidas, usando ecuaciones diferenciales de primer orden. Esta forma de representación es especialmente útil en sistemas multivariable (MIMO), como en varios dispositivos biomédicos modernos. Con esta técnica, se facilita el análisis y diseño de controladores mediante métodos modernos.

<b>MATERIALES, EQUIPAMIENTO Y/O REACTIVOS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Computadora con acceso a MATLAB/Simulink o Scilab</li> <li>• Acceso a toolbox de espacio de estados o simulador equivalente</li> <li>• Manual de práctica o guía digital</li> <li>• Libreta o formato digital para notas y cálculos</li> </ul>

<b>PROCEDIMIENTO O METODOLOGÍA</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Seleccionar un sistema dinámico representado por su función de transferencia.</li> <li>2. Convertirlo a su representación en espacio de estados usando MATLAB o Scilab.</li> <li>3. Identificar las matrices A, B, C y D del sistema.</li> <li>4. Simular la respuesta del sistema ante una entrada escalón.</li> <li>5. Verificar la consistencia entre la respuesta obtenida con la función de transferencia y la obtenida con espacio de estados.</li> <li>6. Analizar la evolución de cada estado interno del sistema.</li> <li>7. Registrar las gráficas y conclusiones sobre la equivalencia entre ambos modelos.</li> </ol> <p><b>Precaución:</b> Confirmar que el sistema sea controlable y observable antes de intentar aplicar métodos de diseño en espacio de estados.</p>

<b>RESULTADOS ESPERADOS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conversión correcta de función de transferencia a espacio de estados.</li> <li>• Simulaciones funcionales con respuesta temporal ante entrada escalón.</li> <li>• Análisis comparativo entre modelos clásicos y modernos.</li> </ul>

<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cuáles son las ventajas de usar el modelo en espacio de estados?</li> <li>• ¿Qué información proporciona sobre los estados internos del sistema?</li> <li>• ¿Cómo puede esta representación facilitar el diseño de sistemas de control?</li> </ul>

### CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

El estudiante comprenderá el modelo en espacio de estados como una herramienta robusta para describir y analizar sistemas complejos. Reconocerá su utilidad para aplicaciones biomédicas donde se requiere modelar múltiples variables de manera simultánea.

### ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

- Investigar un ejemplo de sistema biomédico multivariable (MIMO) y explicar su representación en espacio de estados.
- Convertir un sistema subamortiguado a su forma canónica controlable.
- Utilizar el modelo en espacio de estados para diseñar una realimentación de estados básica.

### EVALUACIÓN Y EVIDENCIAS DE APRENDIZAJE

Criterios de evaluación	Entrega de reporte de práctica individual conforme a la rúbrica institucional.
Rúbricas o listas de cotejo para valorar desempeño	Formato de rubrica institucional disponible en: <a href="https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/Practica_de_Laboratorio.pdf">https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/Practica_de_Laboratorio.pdf</a>
Formatos de reporte de prácticas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Portada (nombre de la universidad, asignatura, práctica, nombre del estudiante, fecha).</li> <li>- Nombre de la práctica.</li> <li>- Introducción (breve explicación del objetivo y fundamentos teóricos).</li> <li>- Objetivos (generales y específicos).</li> <li>- Materiales y equipo utilizado (incluyendo cantidades y características relevantes).</li> <li>- Procedimiento o metodología (pasos desarrollados y observaciones).</li> <li>- Resultados obtenidos (tablas, gráficas, esquemas, mediciones).</li> <li>- Análisis de resultados (respuestas a preguntas guía, discusión de datos).</li> <li>- Conclusiones (relación con teoría y aplicación práctica).</li> <li>- Fuentes de información (en formato APA 7ª edición).</li> <li>- Anexos (si aplica: diagramas, fotografías, hojas de datos).</li> </ul>

## FUENTES DE INFORMACIÓN

- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna* (5.<sup>a</sup> ed.). Pearson Educación.
- Nise, N. S. (2016). *Sistemas de control en ingeniería* (7.<sup>a</sup> ed.). Cengage Learning.
- Franklin, G. F., Powell, J. D., & Emami-Naeini, A. (2015). *Feedback Control of Dynamic Systems* (7th ed.). Pearson.
- Dorf, R. C., & Bishop, R. H. (2011). *Sistemas de control automático* (8.<sup>a</sup> ed.). Pearson Educación.

## NORMAS TÉCNICAS APLICABLES

- **ISO 13485:2016** – Sistemas de gestión de calidad para dispositivos médicos
- **IEC 60601-1** – Requisitos esenciales de seguridad de equipos electromédicos
- **NOM-019-SSA3-2013** – Normas para la práctica de la ingeniería biomédica en establecimientos de salud



# UES

Universidad Estatal de Sonora  
La Fuerza del Saber Estimulará mi Espíritu