



UES

Universidad Estatal de Sonora
La Fuerza del Saber Estimulará mi Espíritu

MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Sistemas de Control II

Laboratorio de Ingeniería Biomédica

Programa Académico
Plan de Estudios
Fecha de elaboración
Versión del Documento

Ing. Biomédica
2020
23/06/2025
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

INTRODUCCIÓN.....	4
IDENTIFICACIÓN	5
<i>Carga Horaria de la asignatura</i>	<i>5</i>
<i>Consignación del Documento</i>	<i>5</i>
MATRIZ DE CORRESPONDENCIA	6
NORMAS DE SEGURIDAD Y BUENAS PRÁCTICAS	7
<i>Reglamento general del laboratorio</i>	<i>7</i>
<i>Se deberá seguir el reglamento general institucional vigente aplicable a laboratorios de electrónica.</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>
RELACIÓN DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO POR ELEMENTO DE COMPETENCIA....	8
PRÁCTICAS.....	10
FUENTES DE INFORMACIÓN	22
NORMAS TÉCNICAS APLICABLES.....	22
ANEXOS	23

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.

Propósito del manual

Guiar a los estudiantes en la aplicación práctica de los principios de los sistemas de control automático orientados al área biomédica, mediante experimentos diseñados para desarrollar habilidades en el análisis, simulación y diseño de sistemas de control retroalimentado, con el fin de optimizar la respuesta de sistemas dinámicos utilizados en procesos clínicos y de rehabilitación.

Justificación de su uso en el programa académico

El uso de este manual en el programa académico permite consolidar una formación integral del alumnado, fortaleciendo sus capacidades para aplicar herramientas de modelado, simulación y análisis de estabilidad en sistemas dinámicos biomédicos, mediante metodologías estructuradas, éticas y acordes con estándares de calidad en la ingeniería biomédica.

Competencias para desarrollar

- **Disciplinares:** Aplicar técnicas de análisis y diseño de controladores PID y estrategias de retroalimentación en sistemas dinámicos biomédicos.
- **Blandas:** Pensamiento crítico, toma de decisiones, trabajo colaborativo.
- **Profesionales:** Proponer soluciones de control automático para sistemas biomédicos mediante el uso de herramientas de simulación y diseño, considerando criterios de estabilidad, eficiencia y factibilidad técnica.

IDENTIFICACIÓN

Nombre de la Asignatura		Sistemas de Control II	
Clave	071CP084	Créditos	6
Asignaturas Antecedentes	071CP083	Plan de Estudios	2020

Área de Competencia	Competencia del curso
Específicas / Especializantes	Aplicar algoritmos de control en el dominio temporal, de forma empírica, analítica y experimental, enfocado a equipo electrónico utilizado en la industria biomédica. Con el fin obtener el mayor aprovechamiento de los recursos tecnológicos disponibles, bajo estándares de calidad nacional e internacional. Lo anterior, aplicando un enfoque de resultados y trabajo en equipo.

Carga Horaria de la asignatura

Horas Supervisadas			Horas Independientes	Total de Horas
Aula	Laboratorio	Plataforma		
2	3	0	2	7

Consignación del Documento

Unidad Académica	Unidad Académica Hermosillo
Fecha de elaboración	23/06/2025
Responsables del diseño	Jesús Antonio Maldonado Arriola
Validación	
Recepción	Coordinación de Procesos Educativos

MATRIZ DE CORRESPONDENCIA

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

PRÁCTICA	PERFIL DE EGRESO
Práctica 1. Análisis de estabilidad de sistemas en lazo cerrado	<ul style="list-style-type: none"> - Diseñar propuestas eficientes e innovadoras a través de la solución de problemas, con el fin de disminuir las necesidades del sector salud en apego a las normas y estándares nacionales e internacionales. - Contribuir en el desarrollo de la investigación en el ámbito biomédico para la generación de tecnologías innovadoras en laboratorios especializados.
Práctica 2. Diseño y simulación de sistemas de control proporcional	<ul style="list-style-type: none"> - Diseñar sistemas integrales y autónomos con tecnología de vanguardia a partir del análisis de problemáticas o necesidades, con el fin de implementarlas en el área médica bajo las normas y estándares nacionales e internacionales. - Diseñar ambientes virtuales para el monitoreo de las bioseñales y software especializado de calidad.
Práctica 3. Simulación y análisis de sistemas con control proporcional-derivativo (PD)	<ul style="list-style-type: none"> - Diseñar sistemas integrales y autónomos con tecnología de vanguardia. - Diseñar ambientes virtuales para el monitoreo de las bioseñales y software especializado de calidad.
Práctica 4. Diseño e implementación de control proporcional-integral (PI) en sistemas simulados	<ul style="list-style-type: none"> - Diseñar sistemas integrales y autónomos con tecnología de vanguardia. - Contribuir en el desarrollo de la investigación en el ámbito biomédico para la generación de tecnologías innovadoras.
Práctica 5. Diseño y ajuste de un controlador PID para optimización de respuesta en sistemas dinámicos simulados	<ul style="list-style-type: none"> - Diseñar sistemas integrales y autónomos con tecnología de vanguardia. - Diseñar propuestas eficientes e innovadoras a través de la solución de problemas. - Diseñar ambientes virtuales para el monitoreo de las bioseñales y software especializado de calidad.

NORMAS DE SEGURIDAD Y BUENAS PRÁCTICAS

Reglamento general del laboratorio

Se deberá seguir el reglamento general institucional vigente aplicable a laboratorios de electrónica.

Reglamento de uniforme

El uso del uniforme y equipo de protección personal será conforme al reglamento oficial de prácticas en laboratorios de electrónica.

Uso adecuado del equipo y materiales

El uso de instrumentos y equipos deberá realizarse siguiendo los manuales de operación respectivos.

Manejo y disposición de residuos peligrosos

El tratamiento de residuos se realizará conforme a la normativa ambiental vigente y los lineamientos institucionales para la disposición segura de residuos.

Procedimientos en caso de emergencia

Ante cualquier incidente, descarga eléctrica, conato de incendio o emergencia médica, se deberá actuar conforme al protocolo institucional de seguridad para laboratorios.

RELACIÓN DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO POR ELEMENTO DE COMPETENCIA

Elemento de Competencia al que pertenece la práctica	EC I
	Conocer las generalidades de los sistemas lineales invariantes en el tiempo, incluyendo las herramientas adecuadas para el análisis y modelado. Con el fin de resolver problemas con alto sentido de responsabilidad aplicados a sistemas biomédicos.

PRÁCTICA	NOMBRE	COMPETENCIA
Práctica No. 1	Análisis de estabilidad de sistemas en lazo cerrado	Analizar la estabilidad de sistemas en lazo cerrado para determinar su comportamiento dinámico, utilizando herramientas de simulación y fundamentos de teoría de control, con responsabilidad en su aplicación a sistemas biomédicos.
Práctica No. 2	Diseño y simulación de sistemas de control proporcional	Diseñar y simular sistemas de control proporcional para evaluar su efecto sobre la respuesta de sistemas dinámicos, aplicando modelos matemáticos y herramientas computacionales, en el contexto de aplicaciones biomédicas con sentido de responsabilidad.

Elemento de Competencia al que pertenece la práctica	EC II
	Analizar sistemas en espacio de estados, con el fin de diseñar algoritmos de control para sistemas lineales que cumplan los requerimientos de calidad y resultados necesarios para su aplicación en la industria biomédica, bajo estándares de calidad nacional e internacional.

PRÁCTICA	NOMBRE	COMPETENCIA
Práctica No. 3	Simulación y análisis de sistemas con control proporcional-derivativo (PD)	Simular y analizar sistemas con control proporcional-derivativo (PD) para validar su desempeño ante perturbaciones, utilizando modelos en espacio de estados y herramientas de simulación, cumpliendo estándares de calidad aplicables en la ingeniería biomédica.

Práctica No. 4	Diseño e implementación de control proporcional-integral (PI) en sistemas simulados	Diseñar e implementar control proporcional-integral (PI) en sistemas simulados para ajustar el comportamiento dinámico, empleando técnicas de análisis de control y verificación por simulación, considerando normas nacionales e internacionales.
----------------	---	--

Elemento de Competencia al que pertenece la práctica	EC III
	Diseñar sistemas de control en espacio de estados, para su correcta adaptación y aplicación de manera estratégica a mecanismo utilizados en la industria biomédica, respetando las normas de seguridad establecidas.

PRÁCTICA	NOMBRE	COMPETENCIA
Práctica No. 5	Diseño y ajuste de un controlador PID para optimización de respuesta en sistemas dinámicos simulados	Diseñar y ajustar un controlador PID para optimizar la respuesta de sistemas dinámicos simulados, aplicando modelos en espacio de estados y criterios de desempeño, en un entorno de aplicación biomédica que respete las normas de seguridad establecidas.



UES

Universidad Estatal de Sonora
La Fuerza del Saber Estimulará mi Espíritu

PRÁCTICAS

NOMBRE DE LA PRÁCTICA	1. Análisis de estabilidad de sistemas en lazo cerrado
COMPETENCIA DE LA PRÁCTICA	Analizar la estabilidad de sistemas en lazo cerrado para determinar su comportamiento dinámico, utilizando herramientas de simulación y fundamentos de teoría de control, con responsabilidad en su aplicación a sistemas biomédicos.

FUNDAMENTO TEÓRICO	
<p>La estabilidad es una propiedad fundamental en los sistemas de control, ya que determina si la salida de un sistema permanecerá acotada ante entradas acotadas. El análisis de estabilidad en lazo cerrado permite evaluar el comportamiento dinámico ante perturbaciones o cambios en la señal de referencia. Los métodos clásicos como el criterio de Routh-Hurwitz, diagramas de Bode y diagramas de Nyquist permiten caracterizar esta propiedad. Esta práctica introduce estos conceptos mediante el uso de MATLAB.</p>	

MATERIALES, EQUIPAMIENTO Y/O REACTIVOS	
<ul style="list-style-type: none"> • Computadora con MATLAB instalado • Manual de usuario de MATLAB • Apuntes de clase de sistemas de control 	

PROCEDIMIENTO O METODOLOGÍA	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Consultar el modelo de sistema de segundo orden propuesto en clase. 2. Implementar el modelo del sistema en MATLAB. 3. Aplicar el criterio de Routh-Hurwitz para determinar la estabilidad. 4. Generar el diagrama de Bode del sistema y analizar márgenes de ganancia y fase. 5. Generar el diagrama de Nyquist y verificar la cantidad de rodeos al punto -1. 6. Emitir un juicio de estabilidad basado en los tres métodos. 	

RESULTADOS ESPERADOS	
<ul style="list-style-type: none"> • Determinación del criterio de estabilidad del sistema. • Diagramas de Bode generados en MATLAB. • Diagramas de Nyquist interpretados. • Conclusión fundamentada sobre la estabilidad del sistema. 	

ANÁLISIS DE RESULTADOS	
<ol style="list-style-type: none"> 1. ¿El sistema es estable según el criterio de Routh-Hurwitz? 2. ¿Qué márgenes de ganancia y fase presenta el sistema? 3. ¿Se observaron rodeos alrededor del punto crítico en el diagrama de Nyquist? 4. ¿Coinciden los criterios utilizados en la conclusión de estabilidad? 5. ¿Qué ventajas observas entre los distintos métodos aplicados? 	

CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

Los estudiantes serán capaces de aplicar criterios de estabilidad clásicos, fundamentando sus conclusiones a través de diferentes métodos de análisis. Se fomenta el desarrollo del pensamiento crítico y la interpretación de representaciones gráficas como herramientas de evaluación de sistemas dinámicos.

ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

Investigar un sensor biomédico comercial moderno (por ejemplo, sensores de glucosa no invasivos) y describir su principio de funcionamiento, clasificación y aplicación clínica.

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



NOMBRE DE LA PRÁCTICA	2. Diseño y simulación de sistemas de control proporcional
COMPETENCIA DE LA PRÁCTICA	Diseñar y simular sistemas de control proporcional para evaluar su efecto sobre la respuesta de sistemas dinámicos, aplicando modelos matemáticos y herramientas computacionales, en el contexto de aplicaciones biomédicas con sentido de responsabilidad.

FUNDAMENTO TEÓRICO

El controlador proporcional (P) es una técnica básica en control automático que permite reducir el error de estado estacionario en sistemas lineales. Al aplicar una ganancia proporcional a la señal de error, se genera una acción de control que modifica la dinámica del sistema. Esta práctica explora el efecto del parámetro proporcional (K_p) sobre la respuesta temporal del sistema, mediante el uso de herramientas de simulación como MATLAB o Simulink.

MATERIALES, EQUIPAMIENTO Y/O REACTIVOS

- Computadora con MATLAB/Simulink instalado
- Modelos de sistemas de primer y segundo orden

PROCEDIMIENTO O METODOLOGÍA

1. Consultar los modelos de sistemas de primer y segundo orden provistos por el docente.
2. Implementar cada sistema en un entorno de simulación (MATLAB o Simulink).
3. Diseñar un controlador proporcional para cada modelo, variando el valor de K_p .
4. Observar la respuesta temporal del sistema con distintos valores de ganancia proporcional.
5. Comparar el tiempo de establecimiento, el sobreimpulso y el error en estado estacionario.
6. Registrar y graficar los resultados obtenidos.
7. Analizar las implicaciones del cambio de K_p sobre el desempeño del sistema.

RESULTADOS ESPERADOS

- Simulaciones realizadas de sistemas con control proporcional.
- Tablas comparativas con variación de K_p y sus efectos en el desempeño del sistema.
- Gráficas de la respuesta temporal ante diferentes configuraciones del controlador.
- Conclusiones sobre los efectos del controlador proporcional en la estabilidad y precisión.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

1. ¿Qué efecto tuvo el aumento de K_p en el tiempo de respuesta del sistema?
2. ¿Se presentó sobreimpulso al aumentar K_p ? ¿Fue significativo?
3. ¿Cómo se modificó el error en estado estacionario con los distintos valores de K_p ?
4. ¿Cuál sería el valor óptimo de K_p para lograr buena estabilidad y respuesta rápida?
5. ¿Qué aplicaciones biomédicas podrían beneficiarse del control proporcional?

CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

Los estudiantes serán capaces de comprender el funcionamiento y el efecto del controlador proporcional sobre la dinámica de un sistema. La simulación permite visualizar las consecuencias del ajuste de parámetros y su impacto sobre la estabilidad y precisión. Se promueve el análisis crítico para la selección de estrategias de control adecuadas.

ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

Investigar el uso de controladores proporcionales en dispositivos médicos como ventiladores mecánicos o bombas de infusión. Analizar el tipo de señal controlada y los parámetros involucrados.

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



UES

Universidad Estatal de Sonora
La Fuerza del Saber Estimulará mi Espíritu

NOMBRE DE LA PRÁCTICA	3. Simulación y análisis de sistemas con control proporcional-derivativo (PD)
COMPETENCIA DE LA PRÁCTICA	Simular y analizar sistemas con control proporcional-derivativo (PD) para validar su desempeño ante perturbaciones, utilizando modelos en espacio de estados y herramientas de simulación, cumpliendo estándares de calidad aplicables en la ingeniería biomédica.

FUNDAMENTO TEÓRICO

El controlador proporcional-derivativo (PD) permite mejorar la respuesta de un sistema al añadir una acción derivativa que atenúa el efecto de los cambios bruscos en la señal de error. Esto resulta en una reducción del sobre impulso y una mejora en el tiempo de establecimiento. En aplicaciones biomédicas, un control más fino puede ser esencial en sistemas de regulación de variables fisiológicas. Esta práctica se centra en el análisis del impacto de la ganancia derivativa (K_d) sobre la respuesta dinámica del sistema.

MATERIALES, EQUIPAMIENTO Y/O REACTIVOS

- Computadora con MATLAB/Simulink instalado
- Modelos de sistemas de segundo orden
- Manual de referencia de controladores PD

PROCEDIMIENTO O METODOLOGÍA

1. Consultar el modelo de sistema de segundo orden provisto por el docente.
2. Implementar el modelo en MATLAB/Simulink.
3. Diseñar un controlador PD, con ganancia proporcional fija y variando la ganancia derivativa.
4. Simular el sistema para diferentes valores de K_d y observar el efecto sobre la respuesta temporal.
5. Analizar el sobre impulso, tiempo de establecimiento y el error en estado estacionario para cada caso.
6. Registrar los resultados en tablas y gráficas.
7. Comparar el desempeño del controlador PD contra uno P (sin derivativa).

RESULTADOS ESPERADOS

- Gráficas de respuesta temporal con distintos valores de K_d .
- Tablas comparativas entre controladores P y PD.
- Análisis de desempeño en cuanto a estabilidad y tiempo de respuesta.
- Conclusiones sobre el efecto de la acción derivativa en el sistema.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

1. ¿Cómo afecta el valor de K_d al sobreimpulso del sistema?
2. ¿Se observa mejora en el tiempo de establecimiento con el uso del controlador PD?
3. ¿Qué diferencias existen en la respuesta entre el controlador P y el PD?
4. ¿Cuál combinación de K_p y K_d produjo mejores resultados?
5. ¿Qué aplicaciones médicas podrían beneficiarse de un control más preciso?

CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

Los estudiantes serán capaces de identificar el efecto de la acción derivativa en sistemas de control, evaluando su impacto sobre la respuesta del sistema. La comparación entre controladores P y PD fomenta el razonamiento crítico en la selección de estrategias de control según el contexto de aplicación.

ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

Investigar ejemplos de uso de controladores PD en equipos médicos como incubadoras o centrífugas. Describir cómo mejora el control y la seguridad del sistema.

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



UES

Universidad Estatal de Sonora
La Fuerza del Saber Estimulará mi Espíritu

NOMBRE DE LA PRÁCTICA	4. Diseño e implementación de control proporcional-integral (PI) en sistemas simulados
COMPETENCIA DE LA PRÁCTICA	Diseñar e implementar control proporcional-integral (PI) en sistemas simulados para ajustar el comportamiento dinámico, empleando técnicas de análisis de control y verificación por simulación, considerando normas nacionales e internacionales.

FUNDAMENTO TEÓRICO

El controlador proporcional-integral (PI) es ampliamente utilizado para mejorar la precisión de los sistemas de control al eliminar el error en estado estacionario. La acción integral acumula el error a lo largo del tiempo, lo que permite corregir desviaciones constantes entre la señal de referencia y la salida. En aplicaciones biomédicas, esto puede ser vital para mantener valores fisiológicos dentro de rangos deseados de forma continua. La práctica permite al estudiantado analizar el efecto de los parámetros del controlador PI mediante simulaciones en MATLAB/Simulink.

MATERIALES, EQUIPAMIENTO Y/O REACTIVOS

- Computadora con MATLAB/Simulink instalado
- Modelos de sistemas de primer o segundo orden
- Manual de referencia de controladores PI

PROCEDIMIENTO O METODOLOGÍA

1. Revisar el modelo de sistema dinámico proporcionado (primer o segundo orden).
2. Implementar el sistema en MATLAB/Simulink sin controlador.
3. Diseñar un controlador PI ajustando inicialmente la ganancia proporcional (K_p) y después la integral (K_i).
4. Simular el sistema para diferentes valores de K_p y K_i y observar su comportamiento.
5. Evaluar el error en estado estacionario y el tiempo de establecimiento.
6. Comparar la respuesta del sistema con y sin acción integral.
7. Documentar gráficamente los resultados y registrar observaciones clave.

RESULTADOS ESPERADOS

- Gráficas comparativas de respuesta con y sin acción integral.
- Tablas de valores de error en estado estacionario.
- Análisis del impacto de la ganancia K_i sobre la respuesta del sistema.
- Conclusiones sobre la adecuación del controlador PI en sistemas de control biomédico.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

1. ¿Qué efecto tiene la acción integral sobre el error en estado estacionario?
2. ¿Se observan cambios en la estabilidad del sistema al aumentar K_i ?
3. ¿Cuál combinación de K_p y K_i ofreció mejor rendimiento general?
4. ¿Qué ventajas tiene el controlador PI sobre el P o PD en esta aplicación?
5. ¿Cómo puede aplicarse este tipo de controlador en un entorno médico?

CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

Los estudiantes serán capaces de analizar el impacto de la acción integral en la corrección del error en estado estacionario, reconociendo su importancia en la mejora del desempeño de sistemas de control. La práctica fortalece la comprensión del ajuste de parámetros PI y su relevancia en sistemas biomédicos.

ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

Investigar casos clínicos donde se haya aplicado control PI, como sistemas de infusión de medicamentos o control térmico en incubadoras, describiendo su importancia clínica.

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



UES

Universidad Estatal de Sonora
La Fuerza del Saber Estimulará mi Espíritu

NOMBRE DE LA PRÁCTICA	5. Diseño y ajuste de un controlador PID para optimización de respuesta en sistemas dinámicos simulados
COMPETENCIA DE LA PRÁCTICA	Diseñar y ajustar un controlador PID para optimizar la respuesta de sistemas dinámicos simulados, aplicando modelos en espacio de estados y criterios de desempeño, en un entorno de aplicación biomédica que respete las normas de seguridad establecidas.

FUNDAMENTO TEÓRICO

El controlador PID combina tres acciones: proporcional (P), integral (I) y derivativa (D), lo que permite corregir errores rápidamente, eliminar el error en estado estacionario y anticiparse a cambios futuros del sistema. Es ampliamente utilizado en sistemas donde se requiere estabilidad, precisión y respuesta rápida. Su aplicación en el entorno biomédico permite controlar variables como temperatura, flujo o concentración de sustancias en procesos automatizados. Esta práctica permite analizar cómo la combinación de acciones influye en la respuesta del sistema y aplicar estrategias de sintonización para optimizar el control.

MATERIALES, EQUIPAMIENTO Y/O REACTIVOS

- Computadora con MATLAB/Simulink instalado
- Modelo dinámico de segundo orden
- Herramientas de sintonización de parámetros PID

PROCEDIMIENTO O METODOLOGÍA

1. Implementar el modelo de sistema dinámico en MATLAB/Simulink.
2. Diseñar un controlador PID básico con parámetros iniciales (K_p , K_i , K_d).
3. Simular la respuesta del sistema con el controlador PID y registrar resultados.
4. Aplicar un método de sintonización (por ejemplo, prueba y error, método de Ziegler-Nichols).
5. Evaluar el efecto de cada parámetro (K_p , K_i , K_d) en la respuesta temporal.
6. Comparar el rendimiento del controlador PID con los controladores P, PI y PD.
7. Documentar observaciones y graficar resultados para diferentes configuraciones de parámetros.

RESULTADOS ESPERADOS

- Gráficas de la respuesta del sistema con distintos ajustes de PID.
- Tablas comparativas de desempeño entre PID, P, PI y PD.
- Conclusiones sobre la influencia de cada componente del controlador en la estabilidad y precisión.
- Propuesta de parámetros óptimos del PID para el sistema simulado.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

1. ¿Qué combinación de parámetros del PID ofreció la mejor respuesta del sistema?
2. ¿Cómo afecta el parámetro K_i al error en estado estacionario?
3. ¿Qué efecto tiene K_d en el sobre impulso y oscilaciones?
4. ¿Cuál controlador fue más eficiente entre P, PI, PD y PID en este caso?
5. ¿Qué ventajas ofrece el uso del PID en comparación con otros métodos?

CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

El estudiantado entenderá los principios físicos y electrónicos detrás de los sensores ultrasónicos, aplicándolos a sistemas de medición que pueden ser utilizados en el área biomédica.

ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

Desarrollar un sistema de monitoreo de distancia continua que active una señal visual o sonora al sobrepasar un umbral definido.

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



UES

Universidad Estatal de Sonora
La Fuerza del Saber Estimulará mi Espíritu



FUENTES DE INFORMACIÓN

Ogata, K. (2010). Ingeniería de control moderna (5.^a ed.). Pearson Educación.

Nise, N. S. (2016). Control Systems Engineering (7.^a ed.). Wiley.

Segura, G. (2018). Sistemas de control con simulación en MATLAB. Alfaomega Grupo Editor.

Dorf, R. C., & Bishop, R. H. (2011). Modern Control Systems (12.^a ed.). Pearson Educación.

NORMAS TÉCNICAS APLICABLES

NOM-017-STPS-2008: Equipo de protección personal - Selección, uso y manejo en los centros de trabajo

NOM-001-SCFI-2018: Equipos electrónicos - Requisitos de seguridad y métodos de prueba.

IEEE 1050: Guía para el análisis de confiabilidad de sistemas de control.

ISO/IEC 12207: Procesos de ciclo de vida del software (aplicable en simulación de sistemas).

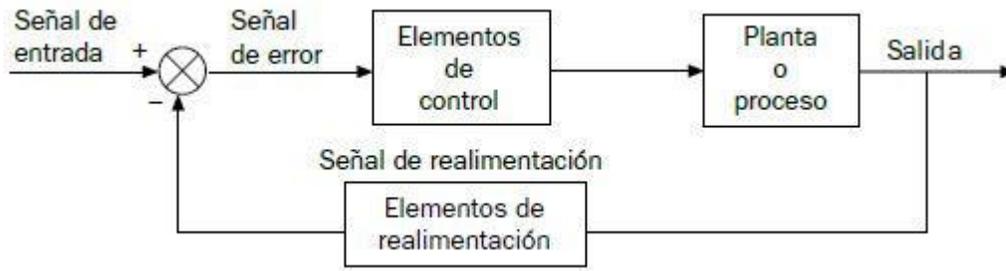


UES

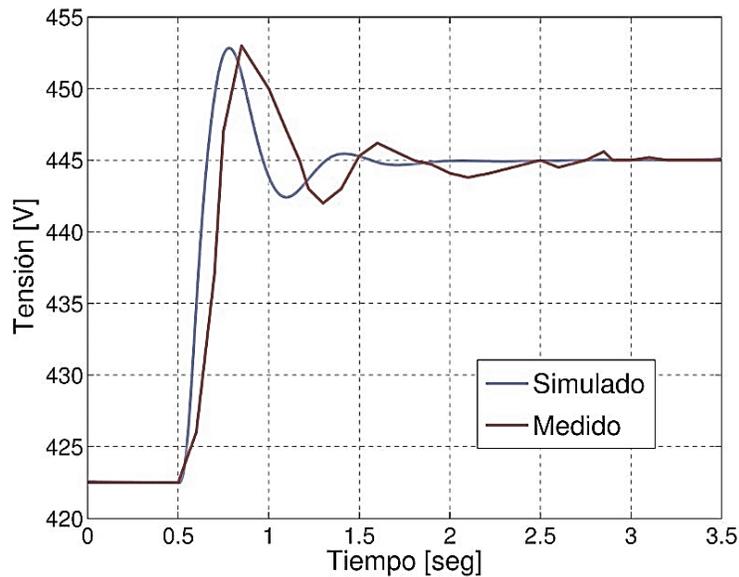
Universidad Estatal de Sonora
La Fuerza del Saber Estimulará mi Espíritu

ANEXOS

1. Enlace a rúbrica de práctica de laboratorio:
https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/Practica_de_Laboratorio.pdf
2. Diagrama representativo un sistema de control típico con retroalimentación:



3. Ejemplo de modelo con respuesta en el tiempo ante un cambio escalón:



4. Ejemplo de código para MATLAB correspondiente a controladores P, PI, PD y PID:

```
%% Controlador P
% Controlador Proporcional (P)
Kp = 2;
G = tf(1, [1, 10]); % Planta de primer orden
C = Kp;
T = feedback(C*G, 1);
step(T);
title('Respuesta del sistema con Controlador P');
```

```
%% Controlador PI
% Controlador Proporcional-Integral (PI)
Kp = 2;
Ki = 1;
s = tf('s');
C = Kp + Ki/s;
G = tf(1, [1, 10]);
T = feedback(C*G, 1);
step(T);
title('Respuesta del sistema con Controlador PI');
```

```
%% Controlador PD
% Controlador Proporcional-Derivativo (PD)
Kp = 2;
Kd = 1;
s = tf('s');
C = Kp + Kd*s;
G = tf(1, [1, 10]);
T = feedback(C*G, 1);
step(T);
title('Respuesta del sistema con Controlador PD');
```

```
%% Controlador PID
% Controlador Proporcional-Integral-Derivativo (PID)
Kp = 2;
Ki = 1;
Kd = 0.5;
s = tf('s');
C = Kp + Ki/s + Kd*s;
G = tf(1, [1, 10]);
T = feedback(C*G, 1);
step(T);
title('Respuesta del sistema con Controlador PID');
```



UES

Universidad Estatal de Sonora
La Fuerza del Saber Estimulará mi Espíritu