

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**  
**COORDINACIÓN GENERAL DE FORMACIÓN BÁSICA**  
**COORDINACIÓN GENERAL DE FORMACIÓN PROFESIONAL Y VINCULACIÓN UNIVERSITARIA**  
**PROGRAMA DE UNIDAD DE APRENDIZAJE**

**I. DATOS DE IDENTIFICACIÓN**

1. **Unidad Académica:** Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño, Ensenada; Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Tijuana y Facultad de Ingeniería, Mexicali.
2. **Programa Educativo:** Ingeniero en Electrónica
3. **Plan de Estudios:**
4. **Nombre de la Unidad de Aprendizaje:** Control Avanzado
5. **Clave:**
6. **HC:** 02 **HL:** 02 **HT:** 00 **HPC:** 00 **HCL:** 00 **HE:** 02 **CR:** 06
7. **Etapas de Formación a la que Pertenece:** Terminal
8. **Carácter de la Unidad de Aprendizaje:** Optativa
9. **Requisitos para Cursar la Unidad de Aprendizaje:** Ninguno



**Equipo de diseño de PUA**

Laura Jiménez Beristain  
Lars Lindner  
Dann Salvador de la Torre Rodríguez

**Firma**

*[Handwritten signatures]*  
Dann Salvador

**Vo.Bo. de Subdirectores de Unidades Académicas**

Humberto Cervantes de Ávila  
Rocío Alejandra Chávez Santoscoy  
Alejandro Mungaray Moctezuma

*[Handwritten signatures]*

**Firma**

**Fecha:** 21 de noviembre de 2018

## **II. PROPÓSITO DE LA UNIDAD DE APRENDIZAJE**

El propósito del curso es proporcionar los conocimientos sobre el análisis de sistemas dinámicos lineales, el desarrollo de sistemas de control por retroalimentación lineal de estado de forma eficiente, para resolver problemas de estabilización y seguimiento de trayectorias en sistemas electrónicos industriales.

Esta asignatura forma parte del programa educativo de Ingeniero en Electrónica, en la etapa terminal con carácter optativo y contribuye al área de conocimiento de Ingeniería Aplicada.

## **III. COMPETENCIA DE LA UNIDAD DE APRENDIZAJE**

Evaluar controladores y observadores que modifiquen la respuesta y estabilidad de los sistemas de control, mediante el uso de técnicas de control moderno en el espacio de estados, para proponer soluciones cuando se presentan ruido en las mediciones o estados no observables en las señales de los sistemas dinámicos lineales e identificar la problemática de los sistemas no lineales para que se logre un desempeño adecuado de los mismos sobre el proceso a controlar, con una visión prospectiva e innovadora.

## **IV. EVIDENCIA(S) DE DESEMPEÑO**

Elabora un reporte técnico con los diseños de controladores y observadores para sistemas dinámicos lineales o no lineales considerando su región lineal e implementa o integra sistemas, y desarrolla un prototipo con aplicación industrial, didáctica o de investigación apoyado en las técnicas estudiadas, reporta las pruebas operativas del mismo y valora el desempeño del sistema. El reporte técnico debe incluir al menos 2 referencias bibliográficas formales citadas de manera pertinente, ser entregado en tiempo y forma, con corrección ortográfica.

## V. DESARROLLO POR UNIDADES

### UNIDAD I. Introducción y solución de la ecuación de estado

**Competencia:**

Representar sistemas lineales en espacio de estados, mediante la diferenciación de una representación en función de transferencia y otra en el espacio de variables de estado, para resolver la ecuación de estado en el dominio del tiempo, con reflexión crítica y constructiva.

**Contenido:****Duración:** 4 horas

- 1.1. Representación en el espacio de estado
- 1.2. Solución de la Ecuación de Estado en el Tiempo
- 1.3. Solución de la Ecuación de Estado en la Gama de la Frecuencia
- 1.4. Matriz de la Respuesta al Impulso

### UNIDAD II. Formas normales para sistemas univariables y transformaciones de semejanza

**Competencia:**

Determinar las formas normales y diagonales de sistemas dinámicos lineales, para poder expresar el modelo en espacio de estados, por medio de transformaciones de semejanza, con actitud proactiva y reflexiva.

**Contenido:****Duración:** 6 horas

- 2.1. Forma Canónica Controlable
- 2.2. Forma Canónica Observable
- 2.3. Forma Diagonal y Forma Canónica de Jordan
- 2.4. Transformación de Semejanza
- 2.5. Transformación a Forma Diagonal
- 2.6. Transformación a Forma Canónica de Jordan
- 2.7. Aplicación de Transformaciones canónicas

### UNIDAD III. Controlabilidad y observabilidad

**Competencia:**

Analizar un sistema dinámico, para determinar si es controlable, observable, estabilizable y/o reconstruible, mediante el criterio de Kálman, con actitud metodológica, analítica y ordenada.

**Contenido:****Duración:** 6 horas

- 3.1. Controlabilidad
- 3.2. Observabilidad
- 3.3. Aplicación y ejemplos
- 3.4. Estabilizabilidad
- 3.5. Reconstructibilidad
- 3.6. Aplicación y ejemplos

### UNIDAD IV. Sintonización de sistemas lineales en el espacio de estado

**Competencia:**

Sintonizar el controlador en el espacio de estado, mediante el método de colocación de polos o a través de los estados no medibles con observadores lineales, para el diseño del sistema de control, con actitud crítica y constructiva.

**Contenido:****Duración:** 8 horas

- 4.1. Introducción
- 4.2. Procedimientos para la síntesis del controlador
- 4.3. Síntesis de controladores usando colocación de polos
- 4.4. Reconstrucción del estado usando observadores lineales
- 4.5. Diseño de observadores de orden completo usando colocación de polos
- 4.6. Diseño de un observador de orden reducido
- 4.7. Sistema de control en bucle cerrado usando el observador lineal

## UNIDAD V. Estabilidad de sistemas no-lineales

### Competencia:

Analizar la estabilidad del punto de equilibrio en un sistema no-lineal, mediante los métodos matemáticos de control analítico, para determinar los rangos de estabilidad, con una actitud autodidacta, reflexiva y constructiva.

### Contenido:

**Duración:** 8 horas

- 5.1. Introducción
- 5.2. Método del Plano de Fase
- 5.3. Estabilidad de puntos de equilibrio de sistemas lineales y no-lineales
- 5.4. Método de la Función Descriptiva
- 5.5. Criterio de Estabilidad de Popov
- 5.6. Primer Método de Lyapunov
- 5.7. Segundo Método de Lyapunov

## VI. ESTRUCTURA DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO

No. de Práctica	Competencia	Descripción	Material de Apoyo	Duración
<b>UNIDAD I</b>				
1	Obtener la representación en el espacio de estados de un sistema, para calcular la matriz de transición, mediante el análisis de la ecuación diferencial, con una actitud analítica y reflexiva.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El docente entrega el manual de prácticas de laboratorio y expone el alcance de la práctica uno.</li> <li>2. El alumno obtiene la función de transferencia.</li> <li>3. Posteriormente obtiene la representación en el espacio de estados.</li> <li>4. Determina la matriz de transición.</li> <li>5. Realiza los pasos 2-4 empleando un paquete de simulación.</li> <li>6. El alumno entrega reporte de la práctica al docente.</li> </ol>	Manual de laboratorio, pizarrón, plumones y computadora con software de simulación.	4 horas
2	Obtener la representación en el espacio de estados de un sistema electrónico, para construir el modelo dinámico, mediante el uso de teoremas físicos, con una actitud analítica y reflexiva.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El alumno aplica los teoremas físicos para encontrar la ecuación diferencial que modela el sistema.</li> <li>2. Posteriormente obtiene la representación en el espacio de estados.</li> <li>3. Simula y arma el circuito electrónico que representa al modelo.</li> <li>4. Valida su modelo empleando señales.</li> <li>5. El alumno entrega reporte de la práctica al docente.</li> </ol>	Manual de laboratorio, material y equipo de laboratorio, pizarrón, plumones y computadora con software de simulación.	6 horas
<b>UNIDAD II</b>				
3	Realiza transformaciones de semejanza de las formas normales y diagonales de sistemas dinámicos lineales, por medio de cálculos matemáticos, para determinar la controlabilidad y/o	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El alumno obtiene de la función de transferencia o de la ecuación diferencial las formas normales y diagonales de sistemas dinámicos lineales.</li> </ol>	Manual de laboratorio, pizarrón, plumones y computadora con software de simulación.	4 horas

	observabilidad de sistemas, de manera ordenada y metodológica.	2. Compara sus resultados con ayuda de un paquete de simulación. 3. El alumno entrega reporte de la práctica al docente.		
<b>UNIDAD III</b>				
4	Determinar si un sistema es controlable, observable, estabilizable y/o reconstruible, mediante el criterio de Kálman, para diseñar el sistema de control, con creatividad y actitud analítica.	1. El alumno aplica el criterio de Kálman, para determinar si el sistema es controlable, observable, estabilizable y/o reconstruible. 2. Compara sus resultados con ayuda de un paquete de simulación. 3. El alumno entrega reporte de la práctica al docente.	Manual de laboratorio, pizarrón, plumones y computadora con software de simulación.	4 horas
<b>UNIDAD IV</b>				
5	Colocar los polos de un sistema controlable y/o estabilizable, mediante el método de ubicación de polos, para estabilizar o mejorar el desempeño de un sistema, con actitud analítica y metodológica.	1. El alumno profundiza en los conocimientos adquiridos en clase, resolviendo problemas de la síntesis de controladores usando el método de colocación de polos. 2. Diseña y simula controladores usando el método de colocación de polos. 3. El alumno entrega reporte de la práctica al docente.	Manual de laboratorio, material, equipo de laboratorio, pizarrón, plumones y computadora con software de simulación.	8 horas
<b>UNIDAD V</b>				
6	Trazar el plano de fase de un sistema dinámico, determinar los puntos de equilibrio en un sistema no lineal, mediante las herramientas matemáticas adecuadas, para conocer las características del sistema, con actitud analítica y reflexiva.	1. El alumno traza la trayectoria de un sistema dinámico lineal en el plano de fase e identifica puntos de equilibrio del mismo. 2. Compara sus resultados con ayuda de un paquete de simulación. 3. El alumno entrega reporte de la práctica al docente.	Manual de laboratorio, pizarrón, plumones y computadora con software de simulación.	4 horas
7	Analizar la estabilidad de un punto de equilibrio, mediante el primer método de Lyapunov, para determinar la estabilidad	1. El alumno usa el primer método de Lyapunov para poder clasificar la estabilidad de un punto de equilibrio	Manual de laboratorio, pizarrón, plumones y computadora con	2 horas

	del mismo, con actitud analítica y metodológica.	en el plano de fase. 2. Compara sus resultados con ayuda de un paquete de simulación. 3. El alumno entrega reporte de la práctica al docente.	software de simulación.	
--	--	---	-------------------------	--

## VII. MÉTODO DE TRABAJO

**Encuadre:** El primer día de clase el docente debe establecer la forma de trabajo, criterios de evaluación, calidad de los trabajos académicos, derechos y obligaciones docente-alumno.

### **Estrategia de enseñanza (docente)**

El docente introducirá cada una de las unidades, promoverá el aprendizaje autónomo, guiará el proceso de aprendizaje, la resolución de problemas y aclarará dudas de los alumnos. Además, supervisará el desarrollo de las prácticas de laboratorio. Fomentará la investigación, la creatividad, el trabajo en equipo y la participación activa de los alumnos.

### **Estrategia de aprendizaje (alumno)**

Investigará y realizará lectura de los temas del contenido, resolverá ejercicios durante la clase, realizará tareas y trabajará en equipo para la realización de las prácticas de laboratorio. El alumno debe entregar el proyecto final que incluya el reporte.



## VIII. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

La evaluación será llevada a cabo de forma permanente durante el desarrollo de la unidad de aprendizaje de la siguiente manera:

### **Criterios de acreditación**

- Para tener derecho a examen ordinario y extraordinario, el estudiante debe cumplir los porcentajes de asistencia que establece el Estatuto Escolar vigente.
- Calificación en escala del 0 al 100, con un mínimo aprobatorio de 60.

### **Criterios de evaluación**

- |  |      |
|--|------|
| - Evaluaciones parciales.....                      | 40%  |
| - Tareas.....                                      | 10%  |
| - Prácticas de laboratorio.....                    | 20%  |
| - Evidencia de desempeño.....<br>(Reporte técnico) | 30%  |
| Total.....   | 100% |

## IX. REFERENCIAS

Básicas	Complementarias
<p>Bolton, W. (2002). <i>Ingeniería de control</i>, (1<sup>a</sup> ed.). México: Marcombo. [clásica]</p> <p>Dorf, R. (2016). <i>Modern Control Systems</i>, (13<sup>th</sup> ed.). USA: Pearson.</p> <p>Franklin, G., Powell, J. &amp; Emami-Naeini, A. (2014). <i>Feedback Control of Dynamic Systems</i>, (7<sup>th</sup> ed.). USA: Pearson.</p> <p>Golnaraghi, F. &amp; Kuo, B. (2017). <i>Automatic Control Systems</i>. USA: McGraw-Hill Education.</p> <p>Kuo, B. (1997). <i>Sistemas de Control Automático</i>. USA: Prentice Hall. [clásica]</p> <p>Kuo, B. &amp; Golnaraghi, F. (2017). <i>Automatic Control Systems</i>, (10<sup>th</sup> ed.). USA: McGraw-Hill Education. [clásica]</p> <p>Nise, N. (2015). <i>Control Systems Engineering</i>, (7<sup>th</sup> ed.). USA: Wiley.</p> <p>Ogata, K. (1999). <i>Problemas de Ingeniería de Control Utilizando Matlab</i>. USA: Prentice Hall. [clásica]</p> <p>Ogata, K. (2010). <i>Ingeniería de Control Moderna</i>, (5<sup>a</sup> ed.). México: Pearson. [clásica]</p>	<p>Cheng, D., Hu, X. &amp; Shen, T. (2010). <i>Analysis and Design of Nonlinear Control Systems</i>. Germany: Springer Berlín Heidelberg. Recuperado de: <a href="https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-11550-9">https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-11550-9</a> [clásica]</p> <p>Domínguez, S. (2013). <i>Control en el Espacio de Estado</i>. México: Pearson Educación.</p> <p>Friedland, B. (2005). <i>Control System Design: An Introduction to State-Space Methods</i>. USA: Dover Publications.[clásica]</p> <p>Houpis, C., Sheldon, S. &amp; D'Azzo, J. (2003). <i>Linear Control System Analysis and Design</i>. USA: CRC Press.[clásica]</p> <p>Isidori, A. (1995). <i>Nonlinear Control Systems</i>, (3<sup>rd</sup> ed.). USA: Springer. [clásica]</p> <p>Jablonski, R. &amp; Brezina, T. (2016). <i>Advanced Mechatronics Solutions</i>. Advances in Intelligent Systems and Computing book series. (AICS, volume 393). Germany: Springer International Publishing. Recuperado de: <a href="https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-319-23923-1">https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-319-23923-1</a></p> <p>Luenberger, D. (1979). <i>Introduction to Dynamic Systems: Theory, Models, and Applications</i>, (1<sup>st</sup> ed.). USA: Wiley. [clásica]</p>

## X. PERFIL DEL DOCENTE

El docente que imparta esta asignatura debe poseer formación en Ingeniería Eléctrica, Electrónica o área afín, preferentemente maestría o doctorado en ciencias o ingeniería. Se sugiere que el docente que imparta esta asignatura cuente con una experiencia laboral o docente de al menos dos años. Además, debe manejar software matemático y de simulación vigente y las funciones correspondientes asociadas al modelado y control de sistemas lineales. También debe ser capaz de comunicarse efectivamente, facilitar la colaboración y propiciar el trabajo en equipo. Ser una persona proactiva, reflexiva, innovadora, analítica, responsable, con un alto sentido de la ética y capaz de plantear soluciones metódicas a un problema dado, con vocación de servicio a la enseñanza y con honestidad. Debe ser facilitador del logro de competencias, promotor del aprendizaje autónomo y responsable en el alumno, tener dominio de tecnologías de la información y comunicación como apoyo para los procesos de enseñanza-aprendizaje.