

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:** 2020-1
4. **Nombre de la Unidad de Aprendizaje:** Control Digital
5. **Clave:** 36164
6. **HC:** 02 **HL:** 02 **HT:** 02 **HPC:** 00 **HCL:** 00 **HE:** 02 **CR:** 08
7. **Etapa de Formación a la que Pertenece:** Disciplinaria
8. **Carácter de la Unidad de Aprendizaje:** Obligatoria
9. **Requisitos para Cursar la Unidad de Aprendizaje:** Modelado y Control



Equipo de diseño de PUA

Diego Armando Trujillo Toledo
Manuel Moisés Miranda Velasco
Lars Lindner

Firma

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

Humberto Cervantes de Ávila
Rocío Alejandra Chávez Santoscay
Alejandro Mungaray Moctezuma

Firma

Fecha: 20 de noviembre de 2018

II. PROPÓSITO DE LA UNIDAD DE APRENDIZAJE

El propósito de esta asignatura es facilitar la comprensión y utilización de las técnicas de control digital comunes en la industria actual, para diseñar y construir un sistema de control digital. Su utilidad se radica en que le permite al alumno integrar las competencias desarrolladas en el área de diseño y análisis de sistemas de control y aplicarlos en el área de sistemas digitales.

La unidad de aprendizaje se imparte en la etapa disciplinaria con carácter obligatorio y pertenece al área de conocimiento Ingeniería Aplicada. Es requisito haber acreditado la unidad de aprendizaje Modelado y Control.

III. COMPETENCIA DE LA UNIDAD DE APRENDIZAJE

Construir sistemas de control digital, mediante el diseño, análisis, simulación, evaluación y técnicas de sistemas en tiempo discreto, para manipular y procesar las variables de control que cumplan las necesidades técnicas de operación y uso óptimo de recursos, en forma ordenada, disciplinada y eficiente con una visión prospectiva e innovadora.

IV. EVIDENCIA(S) DE DESEMPEÑO

Elabora un reporte técnico con el diseño, simulación, construcción, puesta en operación y valoración de un sistema de control digital basado en las teorías y componentes discretos y programables, sobre un ambiente a controlar que se apegue a las especificaciones técnicas para una aplicación industrial, de investigación o didáctica.

V. DESARROLLO POR UNIDADES

UNIDAD I. Sistemas de tiempo discreto

Competencia:

Diferenciar los conceptos fundamentales de un sistema discreto, a través de la comprensión de sus diversas aplicaciones, para identificar las propiedades de un sistema discreto, con actitud crítica y metódica.

Contenido:**Duración:** 4 horas

- 1.1. Ejemplos y aplicaciones de Control Digital
 - 1.1.1. Ventajas y Desventajas
- 1.2. Diagrama a bloques de un Sistemas de Control Digital
 - 1.2.1. Descripción de cada uno de sus componentes
- 1.3. Transformada Z y Transformada Z inversa
- 1.4. Función de transferencia pulso
- 1.5. Representación de funciones de transferencia discretas
- 1.6. Reducción de diagrama
 - 1.6.1. De estado
 - 1.6.2. De bloques

UNIDAD II. Análisis de Sistemas de Control Digital

Competencia:

Analizar las propiedades de los sistemas discretos y muestreados, a través de la utilización de las técnicas de control lineal, para comprender el funcionamiento de la planta en el dominio del tiempo y frecuencia, con actitud crítica y analítica.

Contenido:

Duración: 6 horas

- 2.1. Análisis de estabilidad de sistemas en lazo cerrado
 - 2.1.1. Zona de estabilidad en el plano Z
 - 2.1.2. Criterios de Estabilidad
- 2.2. Respuesta en tiempo
- 2.3. Errores en estado estable
- 2.4. Análisis por medio de Lugar Geométrico de las Raíces
- 2.5. Respuesta en frecuencia. Respuesta a la frecuencia de señales y sistemas discretos
- 2.6. Muestreo de Señales
 - 2.6.1. Teorema de muestreo
 - 2.6.2. Efecto alias
- 2.7. Retenedores de Señales
 - 2.7.1. Retenedor de orden cero
 - 2.7.2. Retenedor de primer orden
- 2.8. Función de transferencia de sistemas muestreados

UNIDAD III. Diseño de Control en Tiempo Discreto

Competencia:

Analizar las propiedades de los controladores discretos, a través de la comprensión de la teoría de control, para aplicar las técnicas básicas de diseño de controladores discretos, con actitud crítica y analítica.

Contenido:

Duración: 8 horas

- 3.1. Identificación de sistemas
 - 3.1.1. Curva de reacción
 - 3.1.2. Respuesta en frecuencia
 - 3.1.3. Método de mínimos cuadrados
 - 3.1.4. Propiedades del estimador
 - 3.1.5. Determinar el orden del sistema
- 3.2. Equivalentes discretos de funciones de transferencia
 - 3.2.1. Aproximaciones de Padé
 - 3.2.2. Mapeo de polos y ceros
- 3.3. Diseño mediante técnicas de transformadas
 - 3.3.1. Especificaciones de diseño
 - 3.3.2. Diseño basado en el lugar geométrico de las raíces
 - 3.3.3. Diseño basado en respuesta a la frecuencia
 - 3.3.4. Diseño de controladores con dos grados de libertad

UNIDAD IV. Controlador PID

Competencia:

Calcular los parámetros de un controlador PID digital, mediante el uso de métodos de sintonización, para controlar la salida de una planta, con actitud metódica y analítica.

Contenido:

Duración: 6 horas

- 4.1. Acciones básicas de control
- 4.2. Sintonización de controladores PID
 - 4.2.1. Método de Ziegler-Nichols
 - 4.2.2. Método del relevador
 - 4.2.3. Método de Cohen-Coon
 - 4.2.4. Sintonización de controladores PID con criterios óptimos
- 4.3. Controladores PID digitales
- 4.4. Aspectos operacionales
 - 4.4.1. Sensores, transmisores y actuadores
 - 4.4.2. Transferencia manual-automática
 - 4.4.3. Reajuste excesivo

UNIDAD V. Diseño en el espacio de estados discretos

Competencia:

Analizar las propiedades de la planta y controladores discretos, a través del empleo de la teoría de variables de estado, para modelar en el espacio variables de estados, con actitud metódica y analítica.

Contenido:

Duración: 6 horas

- 5.1. Variables de estado discreto
 - 5.1.1. Solución a las ecuaciones de estado discreto
 - 5.1.2. Discretización de sistemas continuos
 - 5.1.3. Estabilidad
- 5.2. Diseño de leyes de control
 - 5.2.1. Ubicación de polos
 - 5.2.2. Controlabilidad
 - 5.2.3. La fórmula de Ackermann
- 5.3. Diseño de Estimadores
- 5.4. Diseño de un regulador (ley de control y estimador)
- 5.5. Introducción a señales de referencia como entrada
- 5.6. Control Integral

UNIDAD VI. Estrategias avanzadas de control digital

Competencia:

Describir estrategias avanzadas de control digital, mediante la conceptualización de las mismas, para identificarlas como posibles soluciones a problemas complejos, con actitud creativa y prospectiva.

Contenido:

- 6.1. Control anticipativo o pre-alimentado
- 6.2. Control de relación
- 6.3. Control de gama partida
- 6.4. Control selectivo
- 6.5. Control basado en modelo interno

Duración: 2 horas

VI. ESTRUCTURA DE LAS PRÁCTICAS DE TALLER

No. de Práctica	Competencia	Descripción	Material de Apoyo	Duración
1	Resolver problemas básicos de plantas lineales, utilizando las herramientas de transformada z y funciones de transferencia, para comprender las propiedades de una planta discreta, con actitud metódica y analítica.	El docente brinda la descripción de una planta lineal. El alumno la describe a través de un diagrama de bloques y al final del taller entrega el ejercicio resuelto para su revisión.	Pizarrón, cuaderno de ejercicios y apuntes del tema.	1 hora
2		El alumno resuelve ejercicios propuestos por el docente sobre transformada Z y transformada Z inversa.	Pizarrón, cuaderno de ejercicios y apuntes del tema.	1 hora
3		El alumno resuelve ejercicios propuestos por el docente sobre función de transferencia, aplica como entrada una función pulso, demuestra y grafica.	Pizarrón, computadora, software de matemáticas, cuaderno de ejercicios y apuntes del tema.	2 horas
4	Resolver problemas de sistemas discretos y muestreados, a través de la utilización de las técnicas de control lineal, para comprender el funcionamiento de la planta en el dominio del tiempo y frecuencia, con actitud crítica y analítica.	El docente proporciona problemas de sistemas discretos. El alumno resuelve mediante el análisis de estabilidad de sistemas en lazo cerrado, utilizando los criterios de estabilidad y la zona de estabilidad en el plano z .	Pizarrón, computadora, software de matemáticas, cuaderno de ejercicios y apuntes del tema.	2 horas
5		El alumno analiza y calcula los errores en estado, estable en un sistema discreto, proporcionado por el docente.	Pizarrón, computadora, software de matemáticas, cuaderno de ejercicios y apuntes del tema.	1 hora
6		El docente proporciona diferentes sistemas discretos. El alumno los resuelve, usando el análisis por medio de lugar geométrico de las raíces.	Pizarrón, computadora, software de matemáticas, cuaderno de ejercicios y apuntes del tema.	1 hora
7		El docente proporciona sistemas en tiempo discreto. El alumno calcula la función de transferencia de sistemas muestreados.	Pizarrón, computadora, software de matemáticas, cuaderno de ejercicios y apuntes del tema.	2 horas

8	Resolver problemas de sistemas discretos, mediante el análisis de las propiedades de los controladores discretos, a través de la teoría de control, para aplicar las técnicas básicas de diseño de controladores discretos, con actitud crítica y analítica.	El docente proporciona las características deseadas de un sistema digital. El alumno determina el orden del sistema, la curva de reacción, la respuesta en frecuencia y las propiedades del estimador.	Pizarrón, computadora, software de matemáticas, cuaderno de ejercicios y apuntes del tema.	2 horas
9		El docente proporciona las características deseadas de un sistema digital. El alumno realiza el diseño basado en el lugar geométrico de las raíces.	Pizarrón, computadora, software de matemáticas, cuaderno de ejercicios y apuntes del tema.	2 horas
10		El docente proporciona las características deseadas de un sistema digital. El alumno realiza el diseño basado en respuesta a la frecuencia.	Pizarrón, computadora, software de matemáticas, cuaderno de ejercicios y apuntes del tema.	3 horas
11		El docente proporciona las características deseadas de un sistema digital. El alumno realiza el diseño de controladores con dos grados de libertad.	Pizarrón, computadora, software de matemáticas, cuaderno de ejercicios y apuntes del tema.	3 horas
12		Resolver problemas de sistemas discretos calculando los parámetros de un controlador PID digital, mediante el uso de métodos de sintonización, para controlar la salida de una planta, con actitud metódica y analítica.	El docente proporciona las características deseadas de un sistema digital. El alumno realiza el diseño de controladores PID utilizando diferentes métodos como el de Ziegler-Nichols, relevador y de Cohen-Coon.	Pizarrón, computadora, software de matemáticas, cuaderno de ejercicios y apuntes del tema.
13	Resolver problemas de sistemas discretos, mediante el empleo de la teoría de variables de estado, para modelar sistemas en el espacio de variables de estados, con actitud metódica y analítica.	El docente proporciona las características deseadas de un sistema digital. El alumno realiza el diseño de controladores mediante variables de estado discreto.	Pizarrón, computadora, software de matemáticas, cuaderno de ejercicios y apuntes del tema.	6 horas

VI. ESTRUCTURA DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO

No. de Práctica	Competencia	Descripción	Material de Apoyo	Duración
1	Manejar de forma correcta la sintaxis de programación de señales discretas, para graficar una señal de tipo Escalón Unitario, Rampa Unitaria, Potencial, Exponencial y Senoidal, empleando un sistema de simulación computacional, con actitud crítica y metodológica.	El alumno investiga y anota la sintaxis correcta para graficar las señales básicas siguientes: Escalón Unitario Rampa Unitaria Potencial Exponencial Senoidal.	Computadora con software para graficar, como matlab o similar.	2 horas
2	Emplear de forma correcta la sintaxis de programación de la transformada z inversa, para resolver funciones en el dominio de z, empleando un sistema de simulación computacional, con actitud crítica y metodológica.	El alumno investiga la sintaxis correcta y resuelve las funciones para obtener la transformada z inversa.	Computadora con software matemático, como matlab o similar.	2 horas
3	Desarrollar sistemas discretos y muestreados, a través de la implementación de las técnicas de control digital, para comprender el funcionamiento en el dominio del tiempo y frecuencia, de forma creativa y analítica.	El alumno desarrolla con la ayuda de una computadora o un microcontrolador un generador de señales tales como Onda cuadrada, Senoidal, Rampa y Exponencial. Mismas que se deberán mostrar en un osciloscopio.	Computadora con software de simulación de sistemas como Labview y tarjeta de adquisición de datos.	4 horas
4		El alumno construye un voltímetro digital mediante un convertidor análogo a digital con la ayuda de una PC para procesar la información y desplegar la información correcta.	Computadora con software de simulación de sistemas como Labview y tarjeta de adquisición de datos.	4 horas
5	Generar un controlador digital discreto, considerando la teoría de control, para aplicar las técnicas básicas de diseño de controladores discretos, de forma creativa y analítica.	El alumno construye un controlador de velocidad para un motor de CD, el cual deberá establecerse cuando se presente una carga y tener algunas funcionalidades extras como variador de velocidad, paro de emergencia, registro de velocidad promedio.	Computadora con software de simulación de sistemas como Labview, tarjeta de adquisición de datos y motor CD.	4 horas
6	Construir un controlador PID digital, mediante el uso de métodos de sintonización, para controlar la salida de una planta, con actitud metódica y	El alumno construye un sistema de control digital de temperatura, el cual se registra la temperatura de un sitio, calcula el promedio, convierte	Computadora con software de simulación de sistemas como Labview, tarjeta de adquisición de datos, sensor y ventilador.	4 horas

	analítica.	unidades, grafica y enciende sistemas de ventilación.		
7	Desarrollar controladores discretos, considerando la teoría de variables de estado y el análisis de las propiedades de la planta, para modelar en el espacio variables de estados, con actitud metódica y analítica.	El alumno construye un sistema que permita utilizar un motor a pasos donde tenga las opciones para que esté girando sin fin, gire a la derecha/izquierda, 90°, 45°.	Computadora con software de simulación de sistemas como Labview, tarjeta de adquisición de datos y motor a pasos.	4 horas
8		El alumno controla el nivel de líquido dentro de un tanque avisando los niveles críticos y en dado caso encender/apagar la bomba para mantener el tanque en un nivel deseable.	Computadora con software de simulación de sistemas como Labview, tarjeta de adquisición de datos, tanque, bomba y nivel.	4 horas
9		El alumno opera el brazo robótico desde una computadora y de forma automática para que llegue a una posición de inicio 1 y detecte si hay objetos y moverlos a un lugar 2.	Computadora con software de simulación de sistemas como Labview, tarjeta de adquisición de datos y brazo robotico.	4 horas

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)

- En clase utiliza una técnica expositiva para los conceptos teóricos y plantea problemas para la ejemplificación de los mismos.
- En el taller se desempeña como guía, proponiendo los ejercicios y resolviendo dudas.
- En el laboratorio funge como supervisor para el uso adecuado del equipo y del material, así como durante el desarrollo de la práctica.

Estrategia de aprendizaje (alumno)

- En clase el alumno opera primordialmente como un espectador atento y receptivo, pero participante en las actividades que el profesor asigne, atiende y toma notas de lo que juzga conveniente, y es su derecho interrumpir de manera respetuosa y apropiada en caso de dudas o aseveraciones referentes al tema.
- Es responsabilidad del alumno repasar, profundizar, ejercitar y preparar práctica fuera del horario de clases, haciendo uso de cuando menos la misma cantidad de horas que la asignatura posee de clases, distribuidas uniformemente a lo largo de la duración del curso.
- En el taller el alumno debe atender las indicaciones del profesor, trabajar de la manera acordada y al final del mismo entregar el resultado obtenido.
- Para el laboratorio, es responsabilidad del alumno preparar todo cuanto implique el desarrollo previo de la práctica y responsabilidad de la institución facilitarle el equipo y el espacio apropiado para llevarla a cabo.

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..... | 30% |
| - Reportes de laboratorio..... | 20% |
| - Reportes de taller..... | 20% |
| - Evidencia de desempeño.....
(Reporte técnico) | 30% |
| Total..... | 100% |

IX. REFERENCIAS

Básicas

- Alfaro, V. M. (2018). *Julia Control Systems Notebook*, license CC BY-NC-SA, 2018.Feb.27 version. Recovered from: <https://pidplanet.wordpress.com/sisconpid/>
- Ali, M. S. & William M. W. (2018). *Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers*, (12th Ed.). *Digital Control Systems, Chapter*. USA: McGraw-Hill Professional.
- Charles L. P. & H. Troy N. (2014). *Digital Control System Analysis and Design* (4th ed.). USA: Prentice Hall Press.
- Domínguez, S. (2013). *Control en el Espacio de Estados*. México: Pearson Educación.
- Dorf, R. C. & Bishop, D. R. (2017). *Modern Control Systems* (13th ed). USA: Pearson.
- Fadali, M. S. & Visioli, A. (2013). *Digital Control Engineering: Analysis and Design*. USA: Academic Press.
- Fernández del Busto y Ezeta, R. (2013). *Análisis y diseño de sistemas de control digital*. México: McGraw-Hill. [clásica]
- Franklin, G. F., Workman, M. L. & Powell, J. D. (1998). *Digital control of dynamic systems*. USA: Addison-Wesley. [clásica]
- Katsuhiko, O. (1996). *Sistemas de Control en Tiempo Discreto*, (2a Ed.). Estado Unidos: Prentice Hall. [clásica]
- Kuo, B. C. (1997). *Sistemas de control digital*. México: CECSA. [clásica]

Complementarias

- Fadali, M.S. & Visioli, A. (2013). *Chapter 6 Digital Control System Design, Digital Control Engineering* (2nd ed.). Academic Press, Pages 165-234. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394391-0.00006-X>.
- Oppenheim, A. V., & A. S. Willsky. (1996). *Signals and Systems*, (2nd ed.). USA: Prentice Hall. [clásica]

Shertukde, H. M. (2015). *Digital control applications illustrated with MATLAB®*. USA: CRC Press, Taylor & Francis Group.

X. PERFIL DEL DOCENTE

El docente que imparta esta asignatura debe contar con título en Ingeniería Electrónica o área afín, de preferencia con posgrado en ciencias o ingeniería. Es deseable que cuente con dos años de experiencia laboral o un año de experiencia docente impartiendo asignaturas de electrónica y control a nivel superior. Habilidad para conducir a los estudiantes en la apropiación del conocimiento a través de preguntas que lleven a la reflexión y al análisis. Tener conocimiento de las TIC's actuales que realicen cálculos y simulación de sistemas. Es deseable que cuente con experiencia en la aplicación de los contenidos a situaciones reales para despertar el interés y la motivación entre los estudiantes.