

**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:** Procesamiento Digital de Señales
5. **Clave:** 36165
6. **HC:** 01 **HL:** 02 **HT:** 02 **HPC:** 00 **HCL:** 00 **HE:** 01 **CR:** 06
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:** Ninguno



**Equipo de diseño de PUA**

Enrique René Bastidas Puga  
José Jaime Esqueda Elizondo  
Carlos Gómez Agis

**Firma**

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

Humberto Cervantes de Ávila  
Rocío Alejandra Chávez Santoscoy  
Alejandro Mungaray Moctezuma

**Firma**

**Fecha:** 21 de noviembre de 2018

## II. PROPÓSITO DE LA UNIDAD DE APRENDIZAJE

Este curso proporciona los conceptos y herramientas matemáticas necesarias para el análisis, manipulación e interpretación de señales y sistemas discretos. Su utilidad radica en que le permite al alumno interactuar con sistemas digitales presentes en la industria actual y que tomarán mayor relevancia en la industria 4.0.

Esta asignatura se encuentra en la etapa disciplinaria, pertenece al área de conocimiento Ingeniería Aplicada y es de carácter obligatoria. Requiere conocimientos de señales y sistemas, cálculo, números complejos y modelado de sistemas.

## III. COMPETENCIA DE LA UNIDAD DE APRENDIZAJE

Estimar los parámetros de señales provenientes de un convertidor y/o de sistemas discretos, para obtener información descriptiva del comportamiento de los mismos, mediante el uso de herramientas matemáticas como la convolución y correlaciones discretas, Transformada Z, Transformada Discreta de Fourier, Densidad Espectral de Potencia y el filtrado digital, con sentido crítico, responsabilidad y actitud proactiva.

## IV. EVIDENCIA(S) DE DESEMPEÑO

Realiza reportes técnicos del análisis de señales y sistemas discretos, en los que se incluya la metodología utilizada, la simulación con los algoritmos correspondientes, la interpretación de los resultados y las conclusiones.

- Caracteriza y describe el comportamiento de señales y sistemas discretos, mediante la selección de las herramientas adecuadas, a nivel simulación y en proyectos.
- Elabora reportes técnicos con el fundamento matemático correspondiente, la metodología específica para el caso proporcionado por el docente y los cálculos asociados con el comportamiento de señales o sistemas discretos, así como la interpretación de los resultados obtenidos.
- 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. Señales y sistemas en tiempo discreto

**Competencia:**

Analizar señales y sistemas en tiempo discreto, mediante las herramientas matemáticas de muestreo de señales, convolución, correlación, para interpretar el comportamiento en tiempo y frecuencia de los mismos, de manera responsable, ordenada y analítica.

**Contenido:****Duración:** 4 horas

- 1.1. Definición de procesamiento digital de señales
  - 1.1.1. Sistema básico de procesamiento digital de señales
- 1.2. Señales discretas
  - 1.2.1. Señales discretas elementales (impulso y escalón unitario)
  - 1.2.2. Operaciones básicas de señales discretas (desplazamiento, inversión, suma/resta y multiplicación)
  - 1.2.3. Discretización de señales continuas
  - 1.2.4. Conversión analógica-digital
    - 1.2.4.1. Muestreo de señales continuas
    - 1.2.4.2. Cuantificación de señales
    - 1.2.4.3. Codificación de señales
- 1.3. Respuesta a la frecuencia de señales y sistemas discretos
  - 1.3.1. Respuesta a la excitación cosenoidal
  - 1.3.2. Espectro de una señal continua muestreada
  - 1.3.3. Efecto Alias o de traslape
  - 1.3.4. Teorema del muestreo para señales en banda base
- 1.4. Sistemas discretos
  - 1.4.1. Descripción y representación
  - 1.4.2. Sistemas lineales
  - 1.4.3. Sistemas invariables en el tiempo
  - 1.4.4. Sistemas causales
  - 1.4.5. Sistemas estables
  - 1.4.6. Sistemas FIR e IIR
- 1.5. Análisis de sistemas lineales invariables en el tiempo
  - 1.5.1. Respuesta al impulso unitario
  - 1.5.2. Respuesta a entrada arbitraria (convolución discreta)
  - 1.5.3. Propiedades de la convolución

## 1.6. Autocorrelación y correlación cruzada

1.6.1. Definición

1.6.2. Propiedades

## UNIDAD II. Transformada Z

### **Competencia:**

Formular modelos de señales y sistemas discretos, mediante la herramienta de transformada Z, para describir el comportamiento de estos en el plano complejo Z, con actitud crítica y metódica.

### **Contenido:**

**Duración:** 4 horas

#### 2.1. Transformada Z

2.1.1. Definición y región de convergencia

2.1.2. Relación con la transformada de Laplace

2.1.3. Propiedades

2.1.4. Gráfica de polos y ceros

2.1.5. Transformada Z inversa

#### 2.2. Análisis de sistemas lineales invariantes en el tiempo en dominio Z

2.2.1. Diagrama a bloques del sistema

2.2.2. Ecuación en diferencias

2.2.3. Relación respuesta al impulso – función de transferencia

#### 2.3. Representación de funciones de transferencia discretas

2.3.1. Respuesta a la frecuencia de funciones de transferencia discretas

2.3.2. Sistemas de respuesta al impulso infinita (IIR)

2.3.3. Sistemas de respuesta al impulso finita (FIR)

## UNIDAD III. Transformada discreta de Fourier

### Competencia:

Estimar el espectro de frecuencia de señales discretas, a partir de la transformada discreta de Fourier, para determinar el comportamiento de estas en magnitud, fase, potencia y energía, con actitud analítica, voluntad y disposición para el trabajo en equipo.

### Contenido:

**Duración:** 4 horas

#### 3.1. Transformada de Fourier de funciones discretas

- 3.1.1. Definición
- 3.1.2. Espectro de frecuencia (magnitud y fase)
- 3.1.3. Densidad espectral de energía
- 3.1.4. Transformada inversa de Fourier

#### 3.2. Transformada discreta de Fourier

- 3.2.1. Muestreo de la transformada de Fourier
- 3.2.2. Método directo para calcular transformada discreta de Fourier y transformada discreta de Fourier inversa
- 3.2.3. Transformación lineal para calcular transformada discreta de Fourier y transformada discreta de Fourier inversa
- 3.2.4. Propiedades de la transformada discreta de Fourier

#### 3.3. Transformada rápida de Fourier

- 3.3.1. Transformada rápida de Fourier base 2
- 3.3.2. Diezmar en Tiempo
- 3.3.3. Diezmar en Frecuencia

#### 3.4. Limitaciones de la transformada discreta de Fourier

- 3.4.1. Efecto alias o traslape
- 3.4.2. Efecto fuga espectral o "leakage"
- 3.4.3. Efecto Barandal o "picket fence"

#### 3.5. Densidad Espectral de Potencia

- 3.5.1. Teorema de Wiener-Khinchine
- 3.5.2. Periodograma

## UNIDAD IV. Diseño de filtros digitales

### **Competencia:**

Diseñar filtros digitales de respuesta finita al impulso, mediante el método de ventanas y la convolución, para modificar el espectro de señales discretas, con actitud creativa, proactiva y de compromiso.

### **Contenido:**

- 4.1. Concepto de filtro ideal
- 4.2. Filtros digitales FIR
  - 4.2.1. Consideraciones generales
  - 4.2.2. Método de ventanas
  - 4.2.3. Filtros pasa bajas y pasa altas
  - 4.2.4. Filtros pasa bandas, rechaza bandas y de ranura

**Duración:** 4 horas

## VI. ESTRUCTURA DE LAS PRÁCTICAS DE TALLER

No. de Práctica	Competencia	Descripción	Material de Apoyo	Duración
1	Procesar señales y sistemas discretos, mediante el uso de herramientas matemáticas de muestreo de señales, convolución y correlación, para obtener información del comportamiento de estos, de manera responsable, ordenada y analítica.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Representa señales discretas a partir de funciones singulares.</li> <li>2. Convierte señales continuas a discretas.</li> <li>3. Identifica e ilustra sin una señal discreta presenta el efecto alias.</li> <li>4. Determina las características de un sistema discreto.</li> <li>5. Determina y grafica la convolución entre señales discretas.</li> <li>6. Determina y grafica la correlación entre señales discretas.</li> <li>7. Entrega los ejercicios, cálculos o reportes generados en cada actividad.</li> </ol>	Pizarrón, pintarrón, borrador, calculadora, proyector, computadora, software de cálculo y simulación.	8 horas
2	Modelar señales y sistemas discretos, a partir del uso de la transformada Z, para conocer su comportamiento en el plano complejo Z, con disciplina y actitud colaborativa.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Determina la transformada Z de secuencias discretas.</li> <li>2. Determina la transformada Z de sistemas discretos.</li> <li>3. Determina la transformada Z inversa de secuencias discretas.</li> <li>4. Determina la transformada Z inversa de sistemas discretos.</li> <li>5. Determina la función de transferencia de sistemas discretos y realiza el diagrama de polos y ceros.</li> <li>6. Representa funciones de transferencia discretas.</li> <li>7. Entrega los ejercicios, cálculos o reportes generados en cada actividad.</li> </ol>	Pizarrón, pintarrón, borrador, calculadora, proyector, computadora, software de cálculo y simulación.	8 horas

3	Calcular y graficar el espectro de frecuencia de señales discretas, mediante los algoritmos de la transformada discreta de Fourier, para determinar su comportamiento en la frecuencia, con responsabilidad y actitud analítica.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Calcula y grafica la transformada discreta de Fourier de señales.</li> <li>2. Calcula y grafica la transformada inversa de Fourier de señales discretas.</li> <li>3. Aplica el algoritmo de la transformada rápida de Fourier para obtener el espectro de señales.</li> <li>4. Aplica el algoritmo de la transformada rápida de Fourier para obtener una señal discreta en el tiempo a partir de su espectro de frecuencia.</li> <li>5. Identifica las limitaciones de la transformada discreta de Fourier.</li> <li>6. Determina y grafica la densidad espectral de energía y potencia de señales discretas.</li> <li>7. Entrega los ejercicios, cálculos o reportes generados en cada actividad.</li> </ol>	Pizarrón, pintarrón, borrador, calculadora, proyector, computadora, software de cálculo y simulación.	8 horas
4	Elaborar el diseño de filtros digitales de respuesta al impulso finita, a partir del método de ventanas, para eliminar componentes de frecuencia no deseadas, con actitud creativa y analítica.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Plantea un filtro ideal a partir del análisis de requerimientos.</li> <li>2. Diseña un filtro FIR con el método de ventanas para las diferentes respuestas en frecuencia.</li> <li>3. Entrega los ejercicios, cálculos o reportes generados en cada actividad.</li> </ol>	Pizarrón, pintarrón, borrador, calculadora, proyector, computadora, software de cálculo y simulación.	8 horas

## VI. ESTRUCTURA DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO

No. de Práctica	Competencia	Descripción	Material de Apoyo	Duración
1	<p>Procesar señales y sistemas discretos, mediante el uso de herramientas matemáticas de muestreo de señales, convolución, correlación, herramientas computacionales y/o hardware especializado, para obtener información del comportamiento de estos, de manera responsable, ordenada y analítica.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Representa señales discretas a partir de funciones singulares, mediante herramientas computacionales y/o hardware especializado.</li> <li>2. Convierte señales continuas a discretas, mediante herramientas computacionales y/o hardware especializado.</li> <li>3. Identifica e ilustra sin una señal discreta presenta el efecto alias, mediante herramientas computacionales y/o hardware especializado.</li> <li>4. Determina las características de un sistema discreto, mediante herramientas computacionales y/o hardware especializado.</li> <li>5. Determina y grafica la convolución entre señales discretas, mediante herramientas computacionales y/o hardware especializado.</li> <li>6. Determina y grafica la correlación entre señales discretas, mediante herramientas computacionales y/o hardware especializado.</li> <li>7. Entrega los ejercicios, cálculos o reportes generados en cada actividad.</li> </ol>	<p>Pizarrón, pintarrón, borrador, calculadora, proyector, computadora, software de cálculo y simulación, tarjetas de adquisición de datos, procesadores digitales de señales y microcontroladores.</p>	8 horas
2	<p>Modelar señales y sistemas discretos, a partir del uso de la transformada Z, herramientas computacionales y/o</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Determina la transformada Z de secuencias discretas, mediante herramientas</li> </ol>	<p>Pizarrón, pintarrón, borrador, calculadora, proyector, computadora, software de</p>	8 horas

	hardware especializado, para conocer su comportamiento en el plano complejo Z, con disciplina y actitud colaborativa.	<p>computacionales y/o hardware especializado.</p> <p>2. Determina la transformada Z de sistemas discretos, mediante herramientas computacionales y/o hardware especializado.</p> <p>3. Determina la transformada Z inversa de secuencias discretas, mediante herramientas computacionales y/o hardware especializado.</p> <p>4. Determina la transformada Z inversa de sistemas discretos, mediante herramientas computacionales y/o hardware especializado.</p> <p>5. Determina la función de transferencia de sistemas discretos y realiza el diagrama de polos y ceros, mediante herramientas computacionales y/o hardware especializado.</p> <p>6. Representa funciones de transferencia discretas, mediante herramientas computacionales y/o hardware especializado.</p> <p>7. Entrega los ejercicios, cálculos o reportes generados en cada actividad.</p>	cálculo y simulación, tarjetas de adquisición de datos, procesadores digitales de señales y microcontroladores.	
3	Calcular y graficar el espectro de frecuencia de señales discretas, mediante los algoritmos de la transformada discreta de Fourier, herramientas computacionales y/o hardware especializado, para determinar su comportamiento en la frecuencia, con responsabilidad y actitud analítica.	<p>1. Calcula y grafica la transformada discreta de Fourier de señales, mediante herramientas computacionales y/o hardware especializado.</p> <p>2. Calcula y grafica la transformada inversa de Fourier de señales discretas, mediante herramientas computacionales</p>	Pizarrón, pintarrón, borrador, calculadora, proyector, computadora, software de cálculo y simulación, tarjetas de adquisición de datos, procesadores digitales de señales y microcontroladores.	8 horas

		<p>y/o hardware especializado.</p> <p>3. Aplica el algoritmo de la transformada rápida de Fourier para obtener el espectro de señales, mediante herramientas computacionales y/o hardware especializado.</p> <p>4. Aplica el algoritmo de la transformada rápida de Fourier para obtener una señal discreta en el tiempo a partir de su espectro de frecuencia, mediante herramientas computacionales y/o hardware especializado.</p> <p>5. Identifica las limitaciones de la transformada discreta de Fourier, mediante herramientas computacionales y/o hardware especializado.</p> <p>6. Determina y grafica la densidad espectral de energía y potencia de señales discretas, mediante herramientas computacionales y/o hardware especializado.</p> <p>7. Entrega los ejercicios, cálculos o reportes generados en cada actividad.</p>		
4	Elaborar el diseño de filtros digitales de respuesta al impulso finita, a partir del método de ventanas, herramientas computacionales y/o hardware especializado, para eliminar componentes de frecuencia no deseadas, con actitud creativa y analítica.	<p>1. Plantea un filtro ideal a partir del análisis de requerimientos, mediante herramientas computacionales y/o hardware especializado.</p> <p>2. Diseña un filtro FIR con el método de ventanas para las diferentes respuestas en frecuencia, mediante herramientas computacionales</p>	Pizarrón, pintarrón, borrador, calculadora, proyector, computadora, software de cálculo y simulación, tarjetas de adquisición de datos, procesadores digitales de señales y microcontroladores.	8 horas

		y/o hardware especializado. 3. Entrega los ejercicios, cálculos o reportes generados en cada actividad.		
--	--	--	--	--

## 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)**

- Exposición.
- Análisis de casos.
- Planteamiento de problemas y ejercicios.
- Desarrollo de simulaciones y prácticas de laboratorio.
- Propiciar la participación activa de los estudiantes.
- Apoyar el proceso de aprendizaje.
- Resolver dudas de los estudiantes.
- Aplicar exámenes.

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

- Resolver ejercicios.
- Desarrollar, diseñar e implementar proyectos.
- Investigación documental.
- Elaboración de reportes de taller y laboratorio.
- Participar en clase.
- Colaborar con compañeros en los proyectos.
- Exposiciones de casos o temas para ejemplificar temáticas.

## 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**

- Tres evaluaciones parciales.....	40%
- Prácticas de laboratorio.....	20%
- Actividades de taller .....	10%
- Evidencia de desempeño.....	30%
(Reportes técnicos del análisis de señales y sistemas discretos)	
Total.....	100%

## IX. REFERENCIAS

Básicas	Complementarias
<p>Alessio, S. M. (2016). <i>Digital Signal Processing and Spectral Analysis for Scientists</i>. Switzerland: Springer, Cham. (Recurso en línea, catálogo Cimarrón). Recovered from: <a href="https://libcon.rec.uabc.mx:4476/book/10.1007%2F978-3-319-25468-5">https://libcon.rec.uabc.mx:4476/book/10.1007%2F978-3-319-25468-5</a></p> <p>Ingle, V.K. &amp; Proakis, J.G. (2016). <i>Digital Signal Processing Using MATLAB: A Problem Solving Companion</i>. USA: Cengage Learning.</p> <p>Proakis, J.G. &amp; Manolakis, D.K. (2013). <i>Digital Signal Processing: Pearson New International Edition</i>. USA: Pearson. [clásica]</p> <p>Proakis, J.G. y Manolakis, D.K. (2007). <i>Tratamiento digital de señales</i>. (4ª ed.). USA: Pearson, Prentice Hall. [clásica]</p>	<p>Brigham, E.O. (1988). <i>FFT The fast Fourier transform and its applications</i>. (1<sup>st</sup> ed.). USA: Prentice Hall. [clásica]</p> <p>Hayes, M.H. (2011). <i>Schaum's outlines - Digital signal processing</i>. (1<sup>st</sup> ed.). USA: McGraw-Hill. [clásica]</p> <p>lowegian International (2017). <i>dspGuru</i>. Portal electrónico recuperado de: <a href="https://dspguru.com/">https://dspguru.com/</a></p> <p>Lyons, R.G. (2010). <i>Understanding digital signal processing</i>. (3<sup>st</sup> ed.). USA: Prentice Hall. [clásica]</p>

## X. PERFIL DEL DOCENTE

El docente de esta asignatura debe poseer formación inicial 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 de al menos dos años o docente de un año. Además, debe manejar software matemático vigente y las funciones correspondientes asociadas al análisis de señales y sistemas. 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 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.