



### 1. Datos Generales de la asignatura

<b>Nombre de la asignatura:</b>	Procesamiento de señales digitales
<b>Clave de la asignatura:</b>	IAD-2423
<b>SATCA<sup>1</sup>:</b>	2-3-5
<b>Carrera:</b>	Ingeniería en Inteligencia Artificial

### 2. Presentación

#### Caracterización de la asignatura

La asignatura de Procesamiento de Señales Digitales (DSP) aporta al perfil del ingeniero en Inteligencia Artificial la capacidad para realizar investigación científica y tecnológica, comprender el manejo de herramientas de DSP, y aplicar soluciones de dicha naturaleza para el análisis de datos de distinto origen y multidimensionales.

Esta asignatura es de gran importancia en la formación del Ingeniero en Inteligencia Artificial ya que permitirá el desarrollo de competencias relacionadas con el diseño e implementación de sistemas electrónicos para el análisis y procesamiento de señales.

En esta asignatura se desarrollan los conceptos de sistemas discretos necesarios para el diseño de filtros digitales, y realizar diseños específicos para señales de distinto origen, como, por ejemplo, biomédicas, instrumentación industrial, internet de las cosas o robótica, así como potenciales evocados e imágenes o datos multidimensionales.

El dominio de conceptos claves de materias como Sistemas Electrónicos para Inteligencia Artificial, Programación para Inteligencia Artificial y Algoritmia y Estructura de Datos son de gran importancia para el desarrollo de los temas de la materia. Estos son: Conversión analógica-Digital, operaciones algorítmicas de datos digitales, representación de señales en el dominio temporal y frecuencial, procesado de señales mediante SLIT, y obtención de su contenido espectral. Existen otros temas adicionales relevantes como implementación de sistemas para el acondicionamiento y la adquisición de señales, que se apoyan en materias como Sistemas Electrónicos para Inteligencia Artificial, y se reforzarán con materias posteriores como Visión Artificial, Internet de las Cosas y Robótica.

#### Intención didáctica

El procesamiento de señales digitales es actualmente una herramienta fundamental en el análisis y diseño de sistemas discretos en diversas áreas de la ingeniería.

El Tema 1 aborda el diseño, simulación e implementación de filtros FIR usando las técnicas de ventaneo, muestreo en frecuencia y óptimos. Presenta también las herramientas que facilitan el diseño de filtros digitales de respuesta finita al impulso.

<sup>1</sup> Sistema de Asignación y Transferencia de Créditos Académicos



Para reforzar el concepto de filtros digitales de respuesta finita, se proporcionarán ejemplos de aplicación en el procesamiento de señales biomédicas, donde se utiliza el filtrado para eliminar el ruido y mejorar la calidad de las mediciones. Se presentarán casos de estudio donde se analizarán electrocardiogramas (ECG) y se demostrará cómo diferentes técnicas de filtrado pueden ayudar a identificar y diagnosticar patologías cardíacas.

El Tema 2 trata sobre el diseño, simulación e implementación de filtros digitales IIR mediante Transformación Bilineal y respuesta al impulso. Adicionalmente aborda el empleo de las herramientas que apoyan el diseño de filtros digitales de respuesta infinita y se contrastan con los de respuesta finita.

Al comprender cómo estos filtros pueden eliminar selectivamente componentes de frecuencia de una señal, los estudiantes aplicarán este conocimiento en el procesamiento de señales para mejorar la calidad y el rendimiento de diversos sistemas. Por ejemplo, en el procesamiento de audio, un filtro de respuesta infinita puede utilizarse para eliminar ruido no deseado de una señal, mejorando así la claridad del sonido

El procesamiento estadístico de las señales es el objeto del Tema 3. El modelado estocástico de señales y la aplicación de los modelos ARMA, AR y MA son los principales aspectos para cubrirse. Se introducen las técnicas estadísticas para el procesamiento de señales, por ejemplo, la estimación espectral.

Se equipará a los estudiantes con las herramientas necesarias para analizar y manipular señales en entornos con incertidumbre y variabilidad. Al comprender cómo aplicar conceptos estadísticos como la estimación de parámetros y la teoría de la información a señales, los estudiantes pueden abordar una variedad de problemas del mundo real, desde la detección de señales débiles en presencia de ruido hasta la compresión eficiente de datos. Por ejemplo, al modelar estocásticamente el comportamiento de una señal de comunicación, los estudiantes pueden aplicar técnicas como el modelado de ruido aditivo blanco gaussiano para caracterizar la interferencia y diseñar sistemas de comunicación robustos que minimicen la degradación de la señal

El Tema 4 cubre el procesamiento de imágenes desde la perspectiva lineal bidimensional. Se integra también el procesamiento morfológico, la segmentación y la detección de bordes como herramientas para el análisis de imágenes.

Al comprender conceptos como filtrado espacial, transformaciones de dominio y técnicas de segmentación, los estudiantes pueden abordar una amplia gama de problemas en campos como la visión por computadora, el procesamiento de imágenes médicas y la fotografía digital. Por ejemplo, al aplicar métodos de modelado estocástico de imágenes, como los modelos de Markov ocultos, los estudiantes pueden segmentar automáticamente regiones de interés en imágenes médicas para facilitar el diagnóstico y el análisis de patologías



El Tema 5 involucra las competencias adquiridas en los temas anteriores para incluirlas en el desarrollo de un proyecto de aplicación. Proporcionar a los estudiantes una experiencia práctica y holística en el procesamiento de señales digitales. Al combinar la teoría y la aplicación práctica de filtros digitales con técnicas de procesamiento de imágenes, los estudiantes pueden desarrollar una comprensión profunda de cómo estas herramientas se utilizan en conjunto para resolver problemas del mundo real. Este enfoque interdisciplinario les permite abordar desafíos complejos, como la restauración de imágenes borrosas o ruidosas, la detección de bordes y la mejora de la calidad de la imagen mediante la aplicación de técnicas de filtrado adecuadas. Además, al trabajar en proyectos prácticos, los estudiantes pueden desarrollar habilidades de resolución de problemas, colaboración en equipo y comunicación efectiva, preparándolos para enfrentar desafíos en campos como la ingeniería de señales, la visión por computadora y la investigación en procesamiento de imágenes.

La materia de procesamiento digital de señales es una materia con una variedad amplia de aplicaciones. Por lo tanto, para obtener un aprendizaje efectivo deberá abordar los contenidos de tal manera que se desarrollen ejercicios prácticos, apoyados fuertemente con la computadora desde el inicio, pero reforzado posteriormente con la implementación en hardware específico con capacidad para Procesamiento Digital de Señales. Este enfoque permitirá desarrollar proyectos orientados al área biomédica de manera que puedan ser utilizados en un proyecto final de la carrera.

La extensión de cada tema deberá ser profunda, pero sin dejar los aspectos prácticos mencionados anteriormente. La orientación al logro de metas, a la gestión del autoaprendizaje, y a la capacidad de trabajo en equipo son competencias genéricas que se buscará desarrollar en todas las actividades planteadas dentro del curso. La lectura de documentación técnica en otro idioma es una competencia deseable para la realización de experiencias de laboratorio con sistemas de desarrollo basados en PDS. La habilidad de investigación y la capacidad de generar nuevas ideas son aspectos que se desarrollan en el proyecto final de la materia.

### 3. Participantes en el diseño y seguimiento curricular del programa

Lugar y fecha de elaboración o revisión	Participantes	Observaciones
Tecnológico Nacional de México del 4 al 06 de marzo del 2024.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Celaya, Chihuahua, Iztapalapa III, La Paz, Matehuala, Mérida, Minatitlán, Querétaro, Saltillo, Tijuana. Institutos Tecnológico Superior de Teziutlán. Tecnológico de Estudios Superiores de Ixtapaluca.	Propuesta sintética de la carrera de Ingeniería en Inteligencia Artificial.



Tecnológico Nacional de México del 22 al 26 de abril del 2024	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Celaya, Chihuahua, Iztapalapa III, La Paz, Matehuala, Mérida, Minatitlán, Querétaro, Saltillo, Tijuana. Institutos Tecnológico Superior de Teziutlán, Tecnológico de Estudios Superiores de Ixtapaluca.	Diseño y/o desarrollo curricular de la carrera de Ingeniería en Inteligencia Artificial.
Tecnológico Nacional de México del 27 al 31 de mayo del 2024.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Celaya, La Paz, Matehuala, Mérida, Minatitlán.	Consolidación curricular de la carrera de Ingeniería en Inteligencia Artificial.

#### 4. Competencia(s) a desarrollar

<b>Competencia(s) específica(s) de la asignatura</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Diseñar, simular e implementar sistemas señales digitales en el dominio del tiempo y la frecuencia.</li> <li>● Diseñar, simular e implementar sistemas de procesamiento de señales digitales empleando técnicas de filtrado digital uni y bidimensional.</li> </ul>

#### 5. Competencias previas

<ul style="list-style-type: none"> <li>● Utiliza software para representar gráficamente señales en tiempo continuo y discreto.</li> <li>● Modela sistemas continuos y discretos en el dominio de la frecuencia.</li> <li>● Utiliza software para la simulación de señales analógicas y digitales.</li> <li>● Utiliza software para simular el procesado de señales mediante sistemas lineales e invariantes en el tiempo, continuos y discretos.</li> <li>● Identifica las características estadísticas de una función</li> </ul>
---

#### 6. Temario

No.	Temas	Subtemas
1	Filtros digitales de respuesta finita.	1.1 Secuencias simétricas y fase lineal. 1.2 Convolución para filtrado espacial por ventanas. 1.3 Diseño de filtros FIR mediante el muestreo de frecuencia. 1.4 Diseño de filtros Remez. 1.5 Diseño de filtros de fase lineal óptima 1.6 Diferenciadores FIR y Transformadores de Hilbert. 1.7 Estructuras de implementación.



2	Filtros digitales de respuesta infinita.	<p>2.1. Respuestas de frecuencia.</p> <p>2.2. Estructuras de implementación de filtros IIR.</p> <p>2.3. Diseño por equivalencia de respuesta analógica.</p> <p>2.4. Diseño de filtros IIR por transformación bilineal.</p>
3	Procesamiento estadístico de señales.	<p>3.1. Naturaleza de las señales y sus características.</p> <p>3.2. Modelado estocástico de las señales</p> <p>3.3. Modelos ARMA, AR, MA.</p> <p>3.4. Análisis espectral de señales.</p>
4	Análisis espectral de señales.	<p>4.1. Fundamentos del análisis espectral.</p> <p>4.2. Transformada de Fourier discreta (DFT) y Transformada rápida de Fourier (FFT).</p> <p>4.3. Espectrogramas y análisis de tiempo-frecuencia.</p> <p>4.4. Análisis espectral avanzado.</p> <p>4.5. Métodos de estimación espectral.</p> <p>4.6. Aplicaciones y casos de uso.</p>
5	Proyecto de aplicación.	5.1. Realización de un proyecto de aplicación

## 7. Actividades de aprendizaje de los temas

1: Filtros digitales de respuesta finita	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p><i>Específica(s):</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Analiza, simular, diseñar e implementar</li> <li>Filtros Digitales de respuesta finita.</li> </ul> <p><i>Genéricas:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Capacidad de análisis y síntesis</li> <li>Pensamiento lógico, algorítmico, heurístico,</li> <li>analítico y sintético.</li> <li>Solución de problemas.</li> <li>Uso de software de simulación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identifica los diferentes tipos de respuesta de los filtros: Pasa bajas, pasa banda, rechaza banda, pasa altas, pasa todo.</li> <li>Utilizar la transformada Z para caracterizar un sistema con respuesta impulsiva finita.</li> <li>Diseñar filtros digitales FIR con las diferentes ventanas e identificar las ventajas y desventajas de cada una de ellas.</li> <li>Diseñar filtros digitales FIR, con la técnica de muestreo de frecuencia, comparar con la técnica de ventaneo para decir las ventajas y desventajas de ambos métodos.</li> <li>Simular en un software adecuado, los filtros digitales FIR</li> <li>Diseñar diferenciadores y filtros de Hilbert.</li> <li>Identificar estructuras de implementación de filtros FIR (Biquads, Paralelo)</li> </ul>



<b>2. Filtros digitales de respuesta infinita</b>	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p><i>Específica(s):</i> Analiza, simula, diseña e implementa Filtros Digitales de respuesta infinita.</p> <p><i>Genéricas:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad de análisis y síntesis</li> <li>• Pensamiento lógico, algorítmico, heurístico,</li> <li>• analítico y sintético.</li> <li>• Solución de problemas.</li> <li>• Uso de software de simulación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definir los términos de aproximación, orden de un filtro, implementación.</li> <li>• Identificar estructuras de implementación de filtros IIR (Biquads, Paralelo)</li> <li>• Diseñar filtros digitales IIR mediante la técnica de respuestas equivalentes de sistemas analógicos usando la invarianza al impulso.</li> <li>• Diseñar filtros digitales IIR, con la técnica transformación bilineal, comparar con la técnica de ventaneo para decir las ventajas y desventajas de ambos métodos.</li> <li>• Simular en un software adecuado, los filtros digitales IIR</li> <li>• Hacer un estudio comparativo de ventajas y desventajas entre los filtros FIR e IIR.</li> </ul>
<b>3. Procesamiento estadístico de señales</b>	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p><i>Específica(s):</i> Utiliza las herramientas estadísticas más comunes en el análisis de las señales.</p> <p><i>Genéricas:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad de análisis y síntesis</li> <li>• Pensamiento lógico, algorítmico, heurístico,</li> <li>• analítico y sintético.</li> <li>• Solución de problemas.</li> <li>• Uso de software de simulación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar los conceptos proceso estocástico, de memoria y correlación, la densidad de probabilidad que caracterizan una señal probabilística.</li> <li>• Implementar modelos de señales mediante procesos MA, AR y ARMA de diferentes grados.</li> <li>• Simular procesos MA, AR y ARMA</li> <li>• Realizar análisis espectral de una señal del corazón para identificar una anomalía.</li> </ul>
<b>4. Análisis espectral de señales</b>	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p><i>Específica(s):</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementar procesamiento básico de imágenes de distinto origen.</li> </ul> <p><i>Genéricas:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad de análisis y síntesis</li> <li>• Pensamiento lógico, algorítmico, heurístico,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar transformadas de Fourier de señales simples utilizando software especializado para visualizar su espectro.</li> <li>• Analizar el efecto del tamaño de la ventana en la resolución espectral utilizando diferentes tamaños de FFT.</li> <li>• Analizar el espectrograma de una señal de voz para identificar diferentes componentes frecuenciales en el tiempo.</li> </ul>





<ul style="list-style-type: none"> <li>• analítico y sintético.</li> <li>• Solución de problemas.</li> <li>• Uso de software de simulación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar análisis espectral de datos reales de un sistema de comunicaciones para identificar y corregir posibles interferencias.</li> <li>• Estimar la PSD de una señal contaminada con ruido y evaluar la efectividad de diferentes métodos de estimación</li> </ul>
--	--

### 5. Proyecto de aplicación

Competencias	Actividades de Aprendizaje
<p><i>Específica(s):</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseñar e implementar un proyecto de aplicación que integre el procesamiento de señales digitales.</li> </ul> <p><i>Genéricas:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Habilidades de investigación</li> <li>• Búsqueda del logro.</li> <li>• Trabajo en equipo.</li> <li>• Uso de software de simulación.</li> <li>• Creatividad.</li> <li>• Expresión oral y escrita.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseñar las diferentes etapas del proyecto.</li> <li>• Simular las principales etapas del proyecto.</li> <li>• Implementación y pruebas.</li> <li>• Redactar informe técnico.</li> <li>• Exposición de sus resultados.</li> </ul>

### 8. Práctica(s)

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño y simulación de filtros digitales FIR pasabajas, pasabanda, rechazabanda, etc, en una herramienta computacional (Matlab, Labview, Julia, Python, etc).</li> <li>• Diseño y simulación de filtros digitales IIR pasa bajas, pasa banda, rechaza banda, etc, en una herramienta computacional (Matlab, Labview, Julia, Python, etc.).</li> <li>• Implementación de filtros digitales FIR, IIR en una tarjeta de procesamiento de señales digitales.</li> <li>• Eliminador de ruido de línea para un sistema de adquisición de datos.</li> <li>• Implementación de un estimador espectral de una señal.</li> <li>• Implementación de un modelo de señal utilizando filtros autorregresivos.</li> <li>• Utilizando datos de electroencefalografía (EEG) de una base de datos pública, realizar un análisis espectral para identificar bandas de frecuencia relevantes en diferentes estados mentales (por ejemplo, vigilia, sueño ligero, sueño profundo).</li> </ul>
---

## 9. Proyecto de asignatura

### **Análisis y Filtrado de Señales EEG para la Detección de Patrones de Actividad Cerebral**

Este proyecto de asignatura tiene por objetivo la aplicación de los saberes adquiridos en las actividades de aprendizaje de la unidad 1 a 4, comprendiendo desde la adquisición o importación de datos, pasando por los procesamientos y análisis necesarios y por último la evaluación a partir de los resultados obtenidos

**Fundamentación:** El electroencefalograma (EEG) es una herramienta crucial en la neurociencia para estudiar la actividad eléctrica del cerebro. Sin embargo, las señales EEG suelen estar contaminadas por ruido y artefactos que pueden dificultar su análisis. Este proyecto se centra en aplicar técnicas de procesamiento de señales digitales para filtrar el ruido, realizar un análisis estadístico de los datos y llevar a cabo un análisis espectral para identificar patrones de actividad cerebral en señales EEG.

#### **Planeación:**

- Adquisición de datos EEG: Se sugiere utilizar conjunto de datos público Sleep-EDF de Physiobank el cual puede ser acesado en <https://www.physionet.org/content/sleep-edfx/1.0.0/>
- Preprocesamiento de Datos: Eliminación de artefactos y ruido de las señales EEG utilizando técnicas de filtrado digital.
- Análisis Estadístico: Aplicación de medidas estadísticas para caracterizar la actividad cerebral, como la media, la desviación estándar, la covarianza, entre otras.
- Análisis Espectral: Transformación de Fourier para analizar la distribución de frecuencias en las señales EEG y detectar patrones de actividad cerebral.

#### **Ejecución:**

- Adquisición de datos: Realizar importación de datos a partir de bases de datos públicas con señales de EEG.
- Preprocesamiento: Implementar algoritmos de filtrado digital, como el filtro de media móvil, el filtro de Wiener o el filtro de Kalman, para eliminar el ruido de las señales EEG.
- Análisis estadístico: Calcular medidas estadísticas relevantes sobre los datos preprocesados para describir la actividad cerebral.
- Análisis espectral: Aplicar la transformada de Fourier a las señales preprocesadas para obtener la distribución de frecuencias y detectar picos de actividad.

#### **Evaluación:**

- Validación de los resultados: Comparar los resultados obtenidos con la literatura científica para validar la eficacia de los métodos aplicados.
- Análisis de desempeño: Evaluar el rendimiento de los algoritmos de filtrado y análisis estadístico en términos de exactitud, precisión, sensibilidad y especificidad.
- Interpretación de resultados: Interpretar los hallazgos obtenidos en términos de patrones de actividad cerebral y su relevancia para la investigación en neurociencia.

Este proyecto proporciona una oportunidad para integrar los conceptos teóricos de procesamiento de señales digitales con aplicaciones prácticas en el campo de la neurociencia, lo que permite a los estudiantes adquirir habilidades prácticas y conocimientos en un área interdisciplinaria.





## 10. Evaluación por competencias

- Realización de un Portafolio de Evidencias bien estructurado por temas conformado con:
- Ejercicios de clase.
- Tareas con ejercicios.
- Mapas conceptuales.
- Reportes de simulaciones realizadas con software especializado
- Reportes de experiencias de laboratorio
- Reporte de proyecto final que incluya método de diseño, simulaciones, las experiencias de prueba realizadas y diapositivas de la presentación oral.
- Rúbricas.
- Listas de cotejo.

## 11. Fuentes de información

1. Mitra, S. (2007). Procesamiento Digital de señales, 2ª edición, Mc Graw Hill.
2. Proakis, J.G., Manolakis G. D. (2005). Tratamiento digital de señales.
3. Principios, algoritmos y aplicaciones, Prentice Hall.
4. Bruce Eugene, (2000). Biomedical Signal Processing and Signal Modeling, Wiley.
5. Interscience, 1st edition,
6. Li Tan, (2007). Digital Signal Processing, Fundamentals and Applications, Academic Press, 1st edition.
7. Lyons, R. G., (2010). Understanding Digital Signal Processing, Prentice Hall, 3rd edition.
8. Oppenheim, A. V., & Schafer, R. W. (2010). Procesamiento Digital de Señales. Pearson Educación.
9. Goldberger, A., Amaral, L., Glass, L., Hausdorff, J., Ivanov, P. C., Mark, R., ... & Stanley, H. E. (2000). PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a new research resource for complex physiologic signals. *Circulation [Online]*. 101 (23), pp. e215–e220.