

DEPARTAMENTO DE: **Ingeniería Eléctrica y Computadoras**

PROGRAMA DE:

Procesamiento Digital de Señales

CÓDIGO: 2803

ÁREA N°: 1 - Campos y Circuitos

DÍAS DE CLASE

PROFESOR RESPONSABLE.

TEÓRICAS (hs)		PRÁCTICAS (hs)		LABORATORIO (hs)	
Por semana	N° semanas	Por semana	N° semanas	Por semana	N° semanas
6	16	1.5	16	0.5	16

Ing. Eduardo E. Paolini

ASIGNATURAS CORRELATIVAS PRECEDENTES

PLAN 1998: APROBADAS

PLAN 1998: CURSADAS

Para aprobar: (2502) Análisis de Circuitos y Sistemas

Para cursar: (2502) Análisis de Circuitos y Sistemas

PLAN 2006: APROBADAS

PLAN 2006: CURSADAS

Para cursar: (2502) Análisis de Circuitos y Sistemas
Para aprobar: (2502) Análisis de Circuitos y Sistemas

PROGRAMA SINTÉTICO

- Capítulo 1:** Introducción.
- Capítulo 2:** Transformada de Fourier de señales de tiempo continuo.
- Capítulo 3:** Señales y sistemas discretos.
- Capítulo 4:** Transformada de Fourier de señales de tiempo discreto.
- Capítulo 5:** Análisis espectral de señales sinusoidales.
- Capítulo 6:** Métodos rápidos para el cálculo de la TDF.
- Capítulo 7:** Muestreo de señales de tiempo continuo.
- Capítulo 8:** Transformada Z.
- Capítulo 9:** Análisis de sistemas lineales e invariantes en el tiempo en el campo transformado.
- Capítulo 10:** Diseño de filtros: por ubicación de polos y ceros, filtros IIR, filtros FIR.
- Capítulo 11:** Algunos aspectos de implementación con hardware dedicado.
- Capítulo 12:** Algunas aplicaciones del PDS

OBJETIVOS DEL CURSO Y SU RELACIÓN CON EL PROGRAMA Y LOS OBJETIVOS EDUCATIVOS DE LA CARRERA

El objetivo de la materia es brindar al alumno un panorama amplio y exhaustivo de las posibilidades y alcances del procesamiento digital de señales. La exposición es matemáticamente rigurosa, pero al mismo tiempo se presentan gran variedad de ejemplos de aplicaciones reales, y se desarrollan experiencias prácticas demostrativas que permiten la comprensión de la estrecha relación entre las aplicaciones y los conceptos teóricos propios de esta disciplina. Se fomenta la aplicación de los métodos y las técnicas expuestas en la resolución de problemas típicos o prácticos utilizando software para cálculo matemático, de modo de fomentar en el estudiante la experimentación, observación y análisis de los resultados, y su contraste con las predicciones teóricas. Además se muestran algunos ejemplos de aplicación utilizando hardware de propósito especial (DSP).

Los contenidos constituyen el fundamento teórico de un sinnúmero de desarrollos tecnológicos tales como audio digital, compresión de información, etc. El programa cubre tres grandes áreas: fundamentos matemáticos de series y transformadas de Fourier, análisis espectral de señales unidimensionales y filtrado digital.

La asignatura forma parte del cuerpo común de la carrera de Ingeniería Electrónica, y proporciona herramientas básicas para las asignaturas que abordan temas de comunicaciones y control digitales. (*Objetivos 1, 2, 4, 5*)

Se principia introduciendo al alumno al procesamiento de señales de *tiempo discreto* y al análisis y diseño de sistemas discretos, destacando las similitudes y diferencias con las señales y sistemas de *tiempo continuo*. Se estudian detalladamente los conceptos de serie y transformada de Fourier de señales continuas y discretas, periódicas y aperiódicas, respectivamente, enfatizando el empleo de señales especiales, como el impulso y el tren de impulsos, para permitir la interpretación de la representación frecuencial de manera unificada. Como ejemplo de la interrelación entre los diferentes tipos de transformadas, se estudia el caso especial del análisis espectral de señales sinusoidales, tanto desde el punto de vista teórico como de aplicación, con prácticos demostrativos de laboratorio. De esta forma se destaca la importancia de la Transformada de Fourier de señales discretas (TDF) como herramienta para el análisis de sistemas, y se justifica la presentación de métodos de cálculo eficiente, englobados bajo la designación FFT.

Vigencia Años	2007				
---------------	------	--	--	--	--

DEPARTAMENTO DE: **Ingeniería Eléctrica y Computadoras**

PROGRAMA DE:

Procesamiento Digital de Señales

CÓDIGO: 2803

ÁREA N°: I - Campos y Circuitos

OBJETIVOS DEL CURSO Y SU RELACIÓN CON EL PROGRAMA Y LOS OBJETIVOS EDUCATIVOS DE LA CARRERA (Continuación)

Este mismo enfoque permite abordar el procesamiento discreto de señales continuas en el tiempo de una manera natural, de forma que el Teorema del Muestreo de Nyquist se deduce a partir de los conceptos desarrollados previamente. Los procesos de aumento y disminución de la tasa de muestreo (oversampling y downsampling) se presentan como casos particulares del muestreo de una señal continua, y los fenómenos de interpolación y decimación se explican desde el punto de vista frecuencial. El efecto de la discretización temporal se complementa con el de discretización en amplitud, comentando similitudes y diferencias entre ambos fenómenos. Esto conduce a la presentación del modelo de ruido, y también al desarrollo de técnicas que permiten mitigar su efecto en la conversión de señales de tiempo continuo a discreto y viceversa (convertidores A/D y D/A con oversampling, modulación sigma delta, etc.).

La Transformada Z se presenta como herramienta de análisis y diseño de sistemas de tiempo discreto, similar a la Transformada de Laplace para sistemas de tiempo continuo. Se deducen las propiedades de la transformada a partir de su definición. Se destacan las ventajas del empleo de la Transformada Z frente a la Transformada de Fourier, y se aplica para analizar diferentes sistemas a partir de la *función de sistema*. Para el caso especial de funciones de sistema *racionales* se deducen las propiedades de polos y ceros, y la respuesta en frecuencia. A partir de estos conceptos se introduce el diseño de filtros. Se trata en primer lugar el diseño de filtros simples (por ubicación de polos y ceros, tales como resonadores, notch, pasabandas y eliminabandas sencillos), para abordar posteriormente el diseño sistemático de filtros, tanto a partir de prototipos analógicos (filtros IIR: métodos de la invariación al impulso y de la transformada bilineal) como a partir de la utilización de técnicas y métodos propios de los sistemas discretos (filtros FIR). Se estudia la propiedad de fase lineal generalizada, y se presentan métodos de diseño que permiten satisfacer este requerimiento, utilizando ventanas temporales, muestreo en frecuencia, filtros derivados, etc. Finalmente, se describen algunos efectos que la precisión numérica finita introduce en la respuesta de los filtros y la forma de atenuar dichos efectos en base a la elección de estructuras de implementación apropiadas. También se describen otros efectos de naturaleza no lineal, tales como ciclos límite de pequeña y gran amplitud, que tienen origen en la forma de implementar las operaciones aritméticas suma y producto.

RESULTADOS DEL CURSO Y SU RELACIÓN CON EL PROGRAMA Y LOS OBJETIVOS EDUCATIVOS DE LA CARRERA.

El estudiante que completa el curso adquiere conocimientos de series y transformadas de Fourier para señales de tiempo discreto (b,c), ampliando los conocimientos de este temas pero aplicados para el caso de señales de tiempo continuo adquiridos en los cursos dictados por el Departamento de Matemática. Además, adquieren habilidades para:

1. comprender, analizar y diseñar sistemas discretos (c, f);
2. abordar el análisis espectral de señales a partir de la Transformada Discreta de Fourier (m, j);
3. determinar propiedades fundamentales de los sistemas, tales como linealidad, invariación temporal, causalidad, estabilidad, etc. a partir de distintos puntos de vista (a, c, f);
4. diseñar filtros digitales de propósito general (pasabajos, pasaaltos, eliminabanda, rechazabandas) y especializado (diferenciadores, transformadores de Hilbert), tanto IIR (respuesta infinita al impulso) como FIR (respuesta finita al impulso) (c, f, h, j).
5. utilizar software de propósito general para analizar, diseñar e implementar sistemas discretos (b, h, g, m).
6. evaluar las influencias del tipo de implementación en la respuesta del sistema (b, c, g, h, j).

OBJETIVOS DE LOS TRABAJOS DE LABORATORIO

1. Análisis espectral de señales: ondas sinusoidales y cuadradas con diferentes ciclo de trabajo (*Resultados f, j, m*).
2. Muestreo de señales analógicas. Réplicas ("aliasing") (*Resultados c, f, g*).
3. Espectro de señales muestreadas. Réplicas ("aliasing") (*Resultados c, f, g*).
4. Análisis espectral de señales sinusoidales usando la TDF. Aplicación de osciloscopios con cálculo de TDF y algoritmos implementados en un equipo de desarrollo usando DSPs (*Resultados c, f, g, m*).
5. Implementación de filtros FIR e IIR en un equipo de desarrollo usando DSPs (*Resultados c, g, j, l, m*).

Vigencia Años

2007

DEPARTAMENTO DE: **Ingeniería Eléctrica y Computadoras**

PROGRAMA DE:

Procesamiento Digital de Señales

CÓDIGO: 2803

ÁREA N°: 1 - Campos y Circuitos

OBJETIVOS DE LOS TRABAJOS PRÁCTICOS**Práctico 1: Serie y transformada de Fourier de señales continuas** (Resultados b, f).

- SF de señales periódicas y continuas en tiempo.
- TF de señales aperiódicas y continuas en tiempo.
- Propiedades de la SF y TF de señales pares e impares.
- Antitransformada de Fourier.
- Cálculo de transformadas y series aplicando propiedades.
- Reconstrucción de señales periódicas a partir de un número finito de armónicos: efecto Gibbs (con MATLAB).

Práctico 2: Señales y sistemas discretos (Resultados a, c, f, j).

- Propiedades: sistemas lineales, invariantes en el tiempo, estables, causales.
- Señales discretas periódicas y cuasi periódicas.
- Interconexión de sistemas discretos.
- Respuesta impulsiva de sistemas discretos.
- Convolución discreta.
- Cálculo de la convolución discreta usando MATLAB.

Práctico 3: Serie y transformada de Fourier de señales discretas (Resultados b, c, f, j).

- Cálculo de la SF de señales discretas periódicas.
- Cálculo de la TF de señales discretas aperiódicas.
- Cálculo de la TF usando la TDF.
- Propiedades de la SF-TF-TDF.
- Convolución circular.
- Filtrado por bloques: convolución lineal a partir de la convolución circular.

Práctico 4: Análisis frecuencial de señales sinusoidales discretas (Resultados c, g, j, m).

- Señales sinusoidales de frecuencia igual a un factor racional/no racional de 2π .
- Cálculo de la TDF: efecto "picket fence".
- Señales multifrecuentes: resolución.
- Análisis de señales sinusoidales inmersas en ruido.

Práctico 5: Métodos rápidos para el cálculo de la TDF (Resultados b, c, j, m).

- Algoritmo de Goertzel: aplicación a la decodificación DTMF.
- Evaluación del número de operaciones y tiempo de cálculo de diferentes implementaciones del algoritmo de cálculo de la TDF.

Práctico 6: Muestreo de señales de tiempo continuo (Resultados b, c, f, g).

- Muestreo de señales sinusoidales.
- Réplicas ("aliasing").
- Procesamiento discreto de señales de tiempo continuo.
- Procesamiento continuo de señales de tiempo discreto.
- Sobremuestreo (oversampling), interpolación.
- Submuestreo (downsampling), decimación.
- Ejemplos sencillos de sistemas polifásicos.
- Ejemplos de aplicación de procesamiento multirate utilizando MATLAB.

Práctico 7: Transformada Z (Resultados b, c, f).

- Cálculo de la transformada Z y de su región de convergencia por definición.
- Sucesiones estables, causales, etc.
- Cálculo de transformadas empleando propiedades.
- Cálculo de antitransformadas: usando tablas, integral de contorno, división larga, fracciones parciales, etc.

DEPARTAMENTO DE: **Ingeniería Eléctrica y Computadoras**

PROGRAMA DE:

Procesamiento Digital de Señales

CÓDIGO: 2803

ÁREA N°: I - Campos y Circuitos

Práctico 8: Análisis de sistemas lineales e invariantes en el tiempo en el campo transformado (Resultados b, c, h, j).

- Cálculo de la función de sistema.
- Cálculo de la respuesta en frecuencia a partir del diagrama de polos y ceros.
- Cálculo de la respuesta de un sistema ante excitaciones típicas: impulso, escalón, exponenciales, sinusoidales.
- Sistemas de fase lineal.
- Sistemas de mínima fase.
- Descomposición fase mínima/pasatodos.
- Filtro inverso (compensación).
- Inversores de espectro (usando MATLAB).
- Generadores de eco y de reverberación (usando MATLAB).

Práctico 9: Diseño de filtros por ubicación de polos y ceros (Resultados b, c, g, h, m).

- Filtros resonadores.
- Filtros notch.
- Filtros peine.
- Filtros pasatodos.
- Osciladores sinusoidales digitales.

Práctico 10: Diseño de filtros IIR (Resultados b, c, g, h, m).

- Diseño empleando el método de Transformación bilineal.
- Diseño empleando el método de Invariación al impulso.
- Comparación de ambos métodos de diseño.
- Diseño de filtros: pasabajos, pasaaltos, eliminabanda, pasabanda.

Práctico 11: Diseño de filtros FIR (Resultados b, c, g, h, m).

- Distintos tipos de filtros FIR (I, II, III, IV).
- Filtros FIR de fase lineal.
- Diseño de filtros FIR utilizando ventanas.
- Comparación con filtro IIR.
- Aplicaciones especiales: diferenciador, transformador de Hilbert.
- Filtrado multirate.

PROGRAMA ANALÍTICO

Capítulo 1: Introducción. Orígenes del Procesamiento Digital de Señales: Telecomunicaciones (multiplexado y compresión de señales, control de ecos, cancelación de ruido), Procesamiento de audio (música, compact disc, sistemas "surround", síntesis y reconocimiento de voz), Detección de ecos (radar, sonar, sismología de reflexión) Procesamiento de Imágenes (imágenes médicas, exploración espacial, productos comerciales). Clasificación de señales: multicanales y multidimensionales, continuas y discretas en tiempo, continuas y discretas en amplitud, determinísticas y aleatorias. Comparación entre el procesamiento analógico y el procesamiento digital de las señales. Procesamiento en tiempo real de señales analógicas. Procesadores digitales de señales (DSPs).

Capítulo 2: Transformada de Fourier de señales de tiempo continuo. Definición. Transformada directa e inversa. Existencia de la integral de Fourier. Condiciones de integrabilidad. Ejemplos. Propiedades del impulso. Transformada de funciones especiales: impulso, constante, funciones periódicas. Transformada de un tren de impulsos: diferentes puntos de vista. Propiedades de la transformada de Fourier: linealidad, desplazamiento temporal, escalado en tiempo y en frecuencia. Modulación. Formulación alternativa de la ecuación de síntesis. Propiedades especiales para funciones pares e impares. Aplicación a la descomposición de ondas. Diferenciación e integración de señales. Dualidad de los dominios transformados. Relación de Parseval. Propiedades especiales para funciones complejas: aplicación para el cálculo simultáneo de la TF de dos señales reales. Integral de convolución. Importancia para el análisis de sistemas lineales. Evaluación gráfica de la integral de convolución. Límites de integración. Forma alternativa de la integral de convolución. Convolución involucrando funciones impulsos. Ejemplos. Teorema de convolución temporal. Teorema de convolución frecuencial. Ejemplos. Señales periódicas y la transformada de Fourier: Relación entre los coeficientes de la serie de Fourier y la transformada de

Vigencia Años

2007

DEPARTAMENTO DE: **Ingeniería Eléctrica y Computadoras**

PROGRAMA DE:

Procesamiento Digital de Señales

CÓDIGO: 2803

ÁREA N°: 1 - Campos y Circuitos

PROGRAMA ANALÍTICO (Continuación)

Fourier. Transformada de Fourier de señales periódicas. Aplicación del teorema de Convolución para interpretar diferentes fenómenos. Análisis del efecto Gibbs en la reconstrucción de señales periódicas a partir de sus armónicos. Teorema del ancho de banda. Analizadores de espectros analógicos: efectos del ancho de banda de los filtros en el espectro resultante. Demostración con un analizador de espectros analógico. Ejemplo: lectura del canal de audio en las películas.

Capítulo 3: Señales y sistemas discretos. Introducción. Sucesiones. Sucesiones y operaciones básicas. Impulso unitario, escalón unitario, sucesiones exponenciales y sinusoidales. Frecuencia discreta. Sucesiones periódicas. Sistemas discretos: retardo ideal, acumulador, promediador ideal. Propiedades de sistemas: sin memoria, lineales, invariantes en el tiempo. Causalidad. Estabilidad. Propiedades de sistemas lineales e invariantes en el tiempo (SLIT). Suma convolución. Caracterización de los SLIT a través de la respuesta impulsiva. Estabilidad y causalidad en función de la respuesta impulsiva. Ejemplos. Ecuaciones a diferencias lineales con coeficientes constantes. Ejemplos. Importancia de las condiciones iniciales. Estructuras para implementar ecuaciones a diferencias. Sistemas recursivos y no recursivos. Solución homogénea y solución forzada. Cálculo recursivo de la ecuación a diferencias. Importancia de las condiciones iniciales para asegurar linealidad e invariación temporal. Representación frecuencial de señales y sistemas discretos. Ejemplo del retardo ideal. Filtros ideales selectivos en frecuencia. Respuesta en frecuencia del promediador ideal. Respuesta de sistemas lineales a entradas exponenciales complejas aplicadas abruptamente. Respuesta transitoria y respuesta de estado estacionario. Representación de sucesiones por transformadas de Fourier. (DTFT). Condiciones para la existencia de la DTFT. Propiedades de la DTFT. Transformadas de señales típicas: impulso, exponenciales complejas, tren de impulsos. Aplicación de propiedades para el cálculo de transformadas y antitransformadas. Cálculo de la respuesta impulsiva de un SLIT aplicando DTFT. Cálculo de la respuesta de estado estacionario de un SLIT ante entradas exponenciales complejas y/o sinusoidales.

Capítulo 4: Transformada Discreta de Fourier. Representación de sucesiones periódicas: la serie de Fourier discreta. SDF de un tren de pulsos periódico. Propiedades: linealidad, desplazamiento de una sucesión. Dualidad. Propiedades de simetría. Convolución periódica. Transformada de Fourier de señales periódicas. La transformada de Fourier de un tren de impulsos. Relación entre los coeficientes de la serie de Fourier y la Transformada de Fourier de un período. Muestreo de la Transformada de Fourier. Representación de Fourier de sucesiones de duración finita: la Transformada Discreta de Fourier (TDF). Ejemplos: TDF de un tren de pulsos. Propiedades: Linealidad, desplazamiento circular de una sucesión, dualidad, convolución circular. Convolución lineal a partir de la convolución circular. Convolución circular como convolución lineal con aliasing. Implementación de sistemas discretos lineales e invariantes en el tiempo usando la TDF: métodos "overlap-add" y "overlap-save".

Capítulo 5. Análisis espectral de señales sinusoidales usando TDF. Efecto del "ventaneo": fuga espectral. Efecto del muestreo espectral. Empleo de ventanas para mejorar el análisis espectral. Tipos de ventanas temporales. Características: ancho del lóbulo principal, amplitud de los lóbulos laterales, pérdidas por ondulación ("picket-fence" o "scalloping"), ancho de banda equivalente de ruido. Resolución frecuencial: "padding" de ceros."Padding" de ceros.

Capítulo 6: Métodos rápidos para el cálculo de la TDF. Número de operaciones necesarias para el cálculo de la TDF. Algoritmo de Goertzel. Métodos de cálculo rápido de la TDF: decimación en tiempo y en frecuencia. Aspectos de implementación: cálculo "en el lugar"; requerimientos de memoria; bit reversal. Formas alternativas. Métodos tipo "dividir y combinar". Algoritmo de Winograd. Transformada Chirp Z.

Capítulo 7: Muestreo de señales continuas. Muestreo periódico. Señales con ancho de banda limitado e ilimitado. Análisis mediante convolución. Análisis gráfico: el teorema del muestreo, aliasing. Representación frecuencial del muestreo. Teorema de Nyquist. Reconstrucción de una señal de banda limitada a partir de sus muestras. Conversores continuo/discreto y discreto/continuo ideales. Filtro interpolador o reconstructor. Muestreo con un tren de pulsos. Procesamiento discreto de señales continuas. Condiciones para asegurar linealidad e invariación temporal. Ejemplo: implementación discreta de un diferenciador Relación entre las respuestas impulsivas del sistema continuo y el sistema discreto: invariación al impulso. Implementación sencilla de filtros discretos a partir de filtros continuos: pasabajos ideal. Invariación al impulso aplicada a sistemas continuos con funciones de sistema racionales: efectos de la no limitación de banda. Procesamiento continuo de señales discretas: retardo fraccionario, promediador con retardo fraccionario. Cambio de la frecuencia de muestreo usando procesamiento digital. Reducción por un factor entero (decimador). Aumento de la frecuencia de muestreo por un factor entero (interpolador). Interpolador lineal. Cambio de la frecuencia de muestreo por un factor no entero. Procesamiento Multirate: Intercambio de filtrado y decimación/interpolación. Implementación polifásica de filtros. Ejemplos. Interpolador polifásico. Procesamiento Digital de Señales Analógicas. Prefiltrado para evitar aliasing. Disminución de las exigencias del filtro antialia-

Vigencia Años

2007

DEPARTAMENTO DE: **Ingeniería Eléctrica y Computadoras**

PROGRAMA DE:

Procesamiento Digital de Señales

CÓDIGO: 2803

ÁREA N°: I - Campos y Circuitos

PROGRAMA ANALÍTICO (Continuación)

sing usando oversampling. Conversión Analógica-Digital. Análisis de los errores de cuantización. Modelo de error. Ejemplo: error de cuantización para una señal sinusoidal. Conversión Digital-Analógica. Mantenedor de orden cero. . Demostración experimental del muestreo (con muestrador, analizador espectral y generador). Observación del fenómeno de aliasing. Consideraciones prácticas. Conversión A/D. Breve discusión de los problemas de la conversión A/D. Conversión D/A. Mantenedor de orden cero. Respuesta en frecuencia.

Capítulo 8: Transformada Z. Introducción. Transformada Z. Región de convergencia. Ejemplos. Propiedades de la región de convergencia. Determinación de estabilidad y causalidad según la región de convergencia. Métodos de antitransformación: por inspección, por fracciones parciales, expansión en series de potencias, integral de contorno. Propiedades de la transformada z: linealidad, desplazamiento temporal, multiplicación por una sucesión exponencial, diferenciación, conjugación de una sucesión compleja, inversión temporal, convolución de sucesiones. Teorema del valor inicial. Convolución temporal. Teorema de convolución compleja. Relación de Parseval.

Capítulo 9: Análisis de sistemas lineales e invariantes en el tiempo en el campo transformado. Respuesta en frecuencia de SLIT. Filtros ideales. Distorsión de fase y retardo. Funciones de sistema para sistemas caracterizados por ecuaciones a diferencias con coeficientes constantes. Causalidad y estabilidad. Determinación de la región de convergencia. Sistema inverso. Respuesta impulsiva para funciones de sistema racionales: sistemas IIR y FIR. Respuesta en frecuencia para funciones de sistema racionales. Método del punto explorador. Respuesta en frecuencia de un polo y de un cero. Ejemplos. Relación entre la magnitud y la fase. Sistemas pasatodos de primer y segundo orden. Sistemas de fase mínima. Descomposición pasatodo-sistema de mínima fase. Compensación de la respuesta en frecuencia. Propiedades de los sistemas de fase mínima. Sistemas con fase lineal generalizada. Sistemas con fase lineal generalizada causales: tipos de filtros FIR, ubicación de los ceros, propiedades de la respuesta en frecuencia.

Capítulo 10: Diseño de Filtros. I. Diseño de filtros por ubicación de polos y ceros. Resonadores, notch, peines, pasatodos, osciladores sinusoidales. Aplicaciones. **II. Diseño de filtros IIR.** Determinación de las especificaciones para filtros discretos. Diseño de filtros IIR a partir de filtros continuos: método de la invariación al impulso y de la transformación bilineal. Ejemplos. Comparación de ambos métodos de diseño. Breve descripción de otros métodos. **III. Diseño de filtros FIR.** Diseño de filtros FIR por el método de las ventanas. Truncación o método del mínimo error cuadrático. Necesidad de utilizar ventanas. Incorporación de los requisitos de fase lineal generalizada: causalización. Relaciones entre los distintos tipos de ventanas y la banda de transición y ondulación en la banda de paso y de atenuación del filtro. Ejemplos. Diseño utilizando la ventana de Kaiser. Diseño de filtros FIR con banda de transición suave. Ejemplos. Diseño de filtros FIR por el método de muestreo en frecuencia (TDF inversa). Diseño de filtros FIR "especiales" (tipo III y IV): diferenciador, transformador de Hilbert. Aplicación del transformador de Hilbert para la generación de BLU.

Capítulo 11: Aspectos de la implementación con hardware dedicado. Comentarios sobre la implementación de filtros discretos en hardware de propósito dedicado. Breve descripción de estructuras para filtros digitales. Estructuras para filtros FIR: estructura directa, cascada, forma polifásica. Estructuras especiales para filtros FIR de fase lineal. Estructuras para filtros IIR: forma directa, forma cascada, forma paralela. Otras estructuras usuales: variables de estados, red (lattice). Breve descripción de los efectos numéricos. Efecto de la longitud finita de palabra: redondeo, saturación. Efectos de cuantización de variables y de coeficientes. Influencia de la estructura en la distribución de los polos y ceros: ubicación de los polos de un sistema de segundo orden cuando se cuantizan los coeficientes. Ciclos límite de pequeña amplitud. Ciclos límites y oscilaciones de gran amplitud por efecto de la cuantización y el redondeo. Ejemplo. Demostración con MATLAB.

Capítulo 12: Algunas aplicaciones del PDS. Oversampling y moldeo de ruido en conversión A/D y D/A. Conversión A/D con oversampling y cuantización directa. Conversión A/D con oversampling y moldeo de ruido. Conversión D/A con oversampling y moldeo de ruido. Compresión de datos. Transformada coseno. Tipos I, II, III, IV. Comparación con la TDF. Aplicaciones a la compresión de datos. Nociones de audio digital. "Dithering". Procesado digital de audio en los Compact Disc. Consideraciones psicoacústicas para la compactación de la información: nociones básicas de la codificación MP3.

DEPARTAMENTO DE: **Ingeniería Eléctrica y Computadoras**

PROGRAMA DE:

Procesamiento Digital de Señales

CÓDIGO: 2803

ÁREA N°: 1 - Campos y Circuitos

SISTEMA DE CURSADO (DESCRIPCIÓN)**Evaluaciones Parciales:**

- La materia se cursa presentando un par de trabajos a desarrollar durante el cuatrimestre, y superando exitosamente tres exámenes parciales, que incluyen temas teóricos y prácticos, calificados entre 0 y 10 puntos.
- El cursado se aprueba si el promedio de las notas de los parciales supera o iguala los 7 (siete) puntos.
- Si en alguno de los parciales el alumno obtiene una nota inferior a 4 (cuatro) puntos, o el promedio aritmético de los tres parciales es inferior a 7 (siete) puntos y mayor que 4 (cuatro) puntos, el alumno deberá rendir un examen recuperatorio (que abarca todos los contenidos de la materia) a fin de cuatrimestre.
- Si un alumno obtiene una nota inferior a 4 (cuatro) puntos en más de un parcial, o el promedio es menor que 4 (cuatro) puntos pierde el cursado de la materia.
- La inasistencia a un examen parcial se considerará justificada únicamente ante la presentación de un certificado médico emitido por el Departamento de Sanidad de la UNS en la clase siguiente al examen, o avisando por correo electrónico al profesor y presentando posteriormente el certificado. En toda otra circunstancia la inasistencia se considerará injustificada.
- En caso de inasistencia justificada, el alumno rendirá un examen equivalente, tentativamente en la semana posterior al parcial ausente.
- En caso de inasistencia injustificada, el parcial se calificará con 0 (cero) y el alumno deberá rendir el recuperatorio.
- En caso de dos o más inasistencias injustificadas, el alumno no puede rendir el recuperatorio, y el cursado de los trabajos prácticos se calificará como Ausente.
- Como parte del cursado los alumnos deberán desarrollar y entregar un par de ejercicios de análisis y/o diseño que requieren conocimientos de MATLAB. Estos trabajos deberán presentarse antes del segundo parcial, y a fin de cuatrimestre (después del tercer parcial)

Aprobación:

- La materia se aprueba rindiendo un examen final, que incluye temas teóricos y prácticos.

BIBLIOGRAFÍA**Bibliografía básica**

- 1 OPPENHEIM, A., SCHAFER, R., *Discrete-Time Signal Processing*, 2da. Edición, Prentice Hall, 1998. ISBN: 0137549202.
- 2 OPPENHEIM, A., SCHAFER, R., *Discrete-Time Signal Processing*, 1ra. Edición, Prentice Hall, 1988. ISBN: 013216292X.

Bibliografía de consulta

3. BRACEWELL, N., *The Fourier Transform and Its Applications*, Mc Graw Hill, 1978. ISBN: 007007013X.
4. BRIGHAM, E., *The Fast Fourier Transform*, Prentice Hall, 1974. ISBN: 013307496X.
5. HAYKIN, S., *An Introduction to Analog and Digital Communications*, John Wiley & Sons, 1989. ISBN: 0471617164.
6. IFEACHOR, E. C., JERVIS, B. W., *Digital Signal Processing: A Practical Approach*, Addison-Wesley, 1993. ISBN: 020154413X.
7. PORAT, B. *A Course on Digital Signal Processing*. John Wiley & Sons, 1997. ISBN: 009638470.
8. PROAKIS, J., MANOLAKIS, D., *Digital Signal Processing: Principles, Algorithms and Applications*, Macmillan, 1992. ISBN: 002396815X.
9. RANDALL, R. B., *Application of B&K Equipment to Frequency Analysis*, 2da. Edición, Brüel & Kjaer, Denmark, 1977, ISBN: 878355140.

Bibliografía (ejercicios usando MATLAB)

10. BURRUS, C., McCLELLAN, J., OPPENHEIM, A., PARKS, T., SCHAFER, R., SCHUESSLER, H., *Computer-Based exercises for Signal Processing using MATLAB*. Prentice-Hall International Editions, 1994. ISBN: 0133648451.
11. INGLE, V. K., PROAKIS, J. G., *Digital Signal Processing using MATLAB*, Bookware Companion Series, Brooks/Cole, 2000. ISBN: 0534371744.

Vigencia Años

2007

DEPARTAMENTO DE: **Ingeniería Eléctrica y Computadoras**

PROGRAMA DE:

Procesamiento Digital de Señales

CÓDIGO: 2803

ÁREA N°: I - Campos y Circuitos

BIBLIOGRAFÍA (Continuación)

Bibliografía complementaria

12. ALKIN, O., "Digital Signal Processing. A Laboratory Approach Using PC-DSP", Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1994. ISBN: 01307595429.
13. ANTONIOU, A., "Digital Filters: analysis and design", Prentice-Hall, 1979. ISBN: 0071126007.
14. BATEMAN, A., PATERSON-STEPHENS, I. "The DSP Handbook: Algorithms, Applications and Design Techniques", Prentice-Hall-Pearson Education, Harlow, England, 2002. ISBN: 0201398516.
15. BIGGS, W. L., HENSON, V. E., "The DFT: An Owner's manual for the Discrete Fourier Transform", SIAM, Philadelphia, 1995. ISBN: 0898713420.
16. CADZOW, J., "Discrete Time Systems: An introduction with interdisciplinary applications", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1973. ISBN: 0132159961.
17. CARSLAW, H. S., "An Introduction to the Theory of Fourier's Series and Integrals", Dover Publications, Inc., Mineola, New York, 1950. ISBN: 0486600483.
18. CHASSAING, R. "Digital Signal Processing: Laboratory Experiments Using C and the TMS320C31 DSK", John Wiley and Sons, Inc. New York, New York, 1999. ISBN: 0471293628.
19. CHASSAING, R. "DSP Applications Using C and the TMS320C6x DSK", John Wiley and Sons, Inc. New York, New York, 2002. ISBN: 0471207543.
20. CHEN, C. T., "One Dimensional Signal Processing", Marcel Dekker, 1979. ISBN: 0824768779.
21. CHEN, C. T., "System and Signal Analysis", Saunders College Publishing, Orlando, Florida, 1994. ISBN: 0030977096.
22. CHURCHIL, R., "Series de Fourier y Problemas de Contorno", McGraw Hill, 1966. ISBN: 8476157304.
23. CROCIERE, R., RABINER, L. R., "Multirate Digital Signal Processing", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1988. ISBN: 0136051626.
24. DAVIS, H. F., "Fourier Series and Orthogonal Functions", Dover Publications, Inc., Mineola, New York, 1989. ISBN: 0486659739.
25. DE FATTA, D. J., LUCAS, J. G., HODGKISS, W. S., "Digital Signal Processing: A System Design Approach", John Wiley & Sons, New York, 1988. ISBN: 0471637653.
26. EMBREE, P., KIMBLE, B., "C language Algorithms for Digital Signal Processing", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1991. ISBN: 0131334069.
27. GABEL, R. A., ROBERTS, R. A., "Signals and Linear Systems", John Wiley & Sons, Inc., New York, 1980. ISBN: 0471086401.
28. GOLD, B., RADER, C. N., "Digital Processing of Signals", Mc Graw Hill, 1969. ISBN: 070236429.
29. GOLDBERG, S., "Introduction to Difference Equations", Dover Publications, Inc., Mineola, New York, 1986. ISBN: 0486650847.
30. HAMMING, R. W. "Digital Filters", 3ra Ed., Dover Pub. Inc., Mineola, New York, 1989. ISBN: 048665088X.
31. HAYES, M. H. "Schaum's Outline of Theory and Problems of Digital Signal Processing", McGraw-Hill Co. Inc., New York, New York, 1999. ISBN: 0070273898.
32. IEEE Digital Signal Processing Committee, "Programs for Digital Signal Processing", IEEE Press, New York, 1979. ISBN: 0879421282.
33. JACKSON, L., "Digital Filters and Signal Processing", Kluwer Academic Publishing, 1986. ISBN: 079239559X.
34. KAMMLER, D. "A First Course in Fourier Analysis", Prentice-Hall Inc., Upper Saddle River, New Jersey, 2000. ISBN: 0135787823.
35. KWAKERNAK, H., SIVAN, R., "Modern Signals and Systems", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1991. ISBN: 0138092524.
36. LIM, J. S., OPPENHEIM, A., "Advanced Topics in Signal Processing", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1988. ISBN: 0130131296.
37. LYONS, R., "Understanding Digital Signal Processing", Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, New Jersey, 2001. ISBN: 0201634678.
38. MADISSETTI, V. K., WILLIAMS, D. B., "The Digital Signal Processing Handbook", CRC Press & IEEE Press, Boca Raton, Fl, 1998. ISBN: 0849385725.
39. MITRA, S., "Digital Signal Processing: A computer-based approach", Mc Graw Hill, 1998. ISBN: 0070429537.
40. NUSSBAUMER, H., "FFT and Convolution Algorithms", Springer Verlag, 1982. ISBN: 038711825X.
41. OPPENHEIM, A. V., "Applications of Digital Signal Processing", Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1978. ISBN: 0130391158.

Vigencia Años	2007				
---------------	------	--	--	--	--

DEPARTAMENTO DE: **Ingeniería Eléctrica y Computadoras**

PROGRAMA DE:

Procesamiento Digital de Señales

CÓDIGO: 2803

ÁREA N°: I - Campos y Circuitos

BIBLIOGRAFÍA (Continuación)

42. OPPENHEIM, A., SCHAFER, R., "Digital Signal Processing", Prentice Hall, 1975. ISBN: 0132141078.
43. OPPENHEIM, A., WILSKY, A., YOUNG, I., "Signals and Systems", Prentice-Hall International Editions, 1987. ISBN: 0138111758.
44. ORFANIDIS, S. J. "Introduction to Signal Processing", Prentice-Hall Signal Processing Series, Upper Saddle River, New Jersey, 1996. ISBN: 0132091720.
45. PAPOULIS, A., "The Fourier Integral and Its Applications", McGraw Hill, 1962. ISBN: 0070484473.
46. PELED, A., LIU, B., "Digital Signal Processing", Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1976. ISBN: 0471019410.
47. POULARIKAS, A. D., "The Transforms and Applications Handbook", CRC Press & IEEE Press, Boca Raton, Florida, 1995. ISBN: 0849383420.
48. POULARIKAS, A. D., "Handbook of Formulas and Tables for Signal Processing", CRC Press, Boca Raton, Florida, 1998. ISBN: 0849385792.
49. PROAKIS, J.G., RADER, C. M., LING, F., NIKIAS, C., "Advanced Digital Signal Processing", Macmillan, 1992. ISBN: 0023968419.
50. RABINER, L. R., GOLD, B., "Theory and Applications of Digital Signals Processing", Prentice Hall, 1975. ISBN: 0139141014.
51. RABINER, L. R., RADER, C. N., "Digital Signal Processing I", IEEE Press, New York, 1972. ISBN: 0879420170.
52. RABINER, L. R., RADER, C. N., "Digital Signal Processing II", IEEE Press, New York, 1976. ISBN: 0879420596.
53. ROBERTS, R., MULLIS, C. T., "Digital Signal Processing", Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts, 1987. ISBN: 0201163500.
54. SCHWARTZ, M., "Information Transmission, Modulation and Noise. An Unified Approach to Communication Systems", McGraw-Hill Kogakusha, Ltd., Tokio, 1970. ISBN: 070856516.
55. SHEINGOLD, D. H., "Analog-Digital conversion notes", Analog Devices, Norwood, Massachusetts, 1977. ISBN: 0916550036.
56. SMITH, S., "The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing", California Technical Publishing, San Diego, Ca., 2da. Ed., 1999. <http://www.dsp-guide.com> ISBN: 0966017668.
57. SNEDDON, I. N., "Fourier Transforms", Dover Publications, Inc., Mineola, New York, 1995, ISBN: 0486685225.
58. STANLEY, W., "Digital Signal Processing", Reston Pub., Reston, Virginia, 1975. ISBN: 0879091891.
59. STEIN, J. Y., "Digital Signal Processing: A Computer Science Perspective", John Wiley and Sons, New York, New York, 2000. ISBN: 0471295469.
60. STERNS, S. D., DAVIES, R. A., "Signal Processing Algorithms", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1988. ISBN: 0138094357
61. TRETTER, S. A., "Introduction to Discrete-Time Signal Processing", John Wiley & Sons, 1976, ISBN: 0471887609.
62. TRETTER, S. A., "Communication System Design Using DSP Algorithms", Kluwer Academic/Plenum Publishing, New York, New York, 2003. ISBN: 0306474298.
63. TOLSTOV, G. P., "Fourier Series", Dover Publications, Inc., Mineola, New York, 1976. ISBN: 0486633179.
64. WALKER, J. S. "Fast Fourier Transforms", 2da. Ed., CRC Press, Boca Raton, Florida, 1996. ISBN: 0849371635.
65. ZIEMER, R. E., TRANTER, W. H., FANNIN, D. R., "Signals and Systems: Continuous and Discrete", Macmillan, 1983. ISBN: 0024316504.

VIGENCIA DE ESTE PROGRAMA

AÑO	PROFESOR RESPONSABLE (firma aclarada)	AÑO	PROFESOR RESPONSABLE (firma aclarada)

V I S A D O

COORDINADOR AREA	SECRETARIO ACADÉMICO	DIRECTOR DE DEPARTAMENTO
Fecha:	Fecha:	Fecha:

INSTRUCTIVO

A fin de permitir una correcta tipificación de las asignaturas de los planes de estudio del DIEC y documentar su inserción y relevancia dentro del plan de estudios de las carreras de Ing. Eléctrica y Electrónica, se ha diseñado el siguiente esquema de clasificación basado principalmente en los objetivos y resultados planteados por los estándares de la CONEAU. La información recabada resultará fundamental para la comisión de acreditación del DIEC.

Los *resultados* esperados para cada asignatura se dividen en dos categorías: habilidades y conocimientos. La distinción entre ambas se basa en la necesidad de identificar las capacidades adquiridas que permiten directamente la resolución de problemas mediante procedimientos, técnicas, métodos matemáticos o tecnológicos de aquellos conocimientos que sirven de base para ésta u otras asignaturas o son de formación general.

Objetivos de la carrera

El Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Computadoras de la UNS ha adoptado los siguientes objetivos para sus carreras de Ingeniería Electricista y Electrónica.

1. **Ciencias básicas:** proporcionar a los estudiantes los conocimientos y habilidades necesarias para comprender, analizar y aplicar los conocimientos adquiridos para resolver los problemas típicos de la ingeniería, estimulando su capacidad analítica y deductiva.
2. **Núcleo de la ingeniería:** proporcionar a los estudiantes los conocimientos fundamentales de las tecnologías básicas y aplicadas necesarias para la práctica de la ingeniería electricista y electrónica, incluyendo: principios científicos, capacidades analíticas, habilidades para el diseño creativo y formación práctica y experimental.
3. **Formación complementaria:** proporcionar a los estudiantes una formación amplia, necesaria para su desenvolvimiento profesional en áreas productivas, privadas o públicas o para proseguir con su educación de postgrado.
4. **Desarrollo profesional:** desarrollar habilidades en comunicación oral y escrita, incluyendo idiomas extranjeros y capacidades para el trabajo en grupo. Desarrollar un comportamiento profesional ético que lo prepare para un ejercicio profesional responsable y comprometido con una actualización permanente.
5. **Desarrollo personal:** proporcionar al estudiante un ámbito donde se desarrollen sus potencialidades, en un contexto universalista y superador, basado en el análisis crítico, el respeto, el esfuerzo y el mérito.

Resultados a alcanzar por las asignaturas y su relación con los objetivos

A fin de preparar a los estudiantes para alcanzar los objetivos propuestos, se indican los resultados que deben conseguirse por el plan de estudios. Cada actividad de una asignatura tendrá como resultado un aporte total o parcial al cumplimiento de los objetivos propuestos.

Resultados	Objetivos				
	1	2	3	4	5
a. Conocimientos de matemática, física y ciencias básicas de la ingeniería eléctrica y de computadoras necesarios para el análisis y el diseño de sistemas eléctricos y de computación.	✓				✓
b. Conocimientos avanzados de ciencias básicas (matemáticas, física, química, computación)	✓		✓		✓
c. Conocimientos propios de la ingeniería electricista, electrónica y de computadoras.		✓	✓	✓	
d. Conceptos necesarios para comprender el impacto de la profesión en el contexto social y económico.			✓	✓	
e. Comprensión de las responsabilidades éticas y profesionales				✓	✓
f. Habilidades para aplicar conocimientos de ciencias básicas e ingeniería.	✓	✓			✓
g. Habilidades para diseñar y construir experimentos y analizar e interpretar sus resultados.		✓			✓
h. Habilidades para diseñar sistemas en base a requerimientos de ingeniería.	✓	✓		✓	
i. Habilidades para comunicarse con efectividad, trabajar en grupos y desarrollar tareas interdisciplinarias.			✓	✓	✓
j. Habilidades para identificar, formular, resolver y documentar problemas propios de la práctica de la ingeniería.	✓	✓	✓	✓	✓
k. Habilidades para organizar y administrar emprendimientos productivos.			✓	✓	✓
l. Habilidades para facilitar una actualización permanente postgraduación.			✓	✓	✓
m. Habilidades para utilizar tecnologías modernas necesarias para la práctica de la ingeniería.		✓	✓	✓	