

Prólogo

La tendencia actual en el campo de la electrónica de procesar la mayoría de las señales en forma digital, hace necesario, para quien esté interesado en el tema, comprender los fundamentos en los que se basa dicho procesamiento. Para ello, en estos apuntes se realiza un ensayo sobre la presentación de los conceptos asociados con el procesamiento digital de señales, con un enfoque diferente a la de la mayoría de los textos relativos a este tema. Se ha tratado de enfatizar y aplicar en la mayoría de los temas y hasta donde ha sido posible, el empleo de imágenes (dibujos, gráficas, esquemas, etc.), para explicar visualmente la mayoría de los conceptos asociados y ubicarlos dentro de un contexto general del procesamiento de señales, con el fin de facilitar la comprensión de éstos y su interconexión con los demás temas desarrollados en estos apuntes.

El contenido de los apuntes está basado en el estudio de las *señales discretas* y los *sistemas discretos* en el *dominio del tiempo discreto* y en el *dominio de la frecuencia*. Se incluyen catorce capítulos que pueden agruparse de la siguiente manera:

INTRODUCCION

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

En el Capítulo 1 se presenta una introducción al procesamiento digital de señales, así como un panorama general de los temas que serán tratados en cada uno de los capítulos siguientes.

SEÑALES DISCRETAS

Capítulo 2

SEÑALES EN TIEMPO
DISCRETO

En el Capítulo 2 se definen las señales en tiempo discreto y se muestran las secuencias discretas básicas. Se analizan de manera especial la secuencia impulso unitario, las señales sinusoidales continuas y discretas y la función exponencial compleja discreta, ya que éstas constituyen el fundamento para el estudio de las señales y sistemas discretos en los dominios del tiempo discreto y de la frecuencia. Por último se da una clasificación de las señales en tiempo discreto en función de sus características.

Capítulo 3SISTEMAS EN TIEMPO
DISCRETO

En el Capítulo 3 se definen los sistemas discretos, se propone una forma de representarlos mediante diagramas a bloques y se clasifican en función de sus características. Se define el subconjunto de sistemas discretos conocidos como *sistemas lineales e invariantes en el tiempo* (LTI).

Capítulo 4RESPUESTA AL IMPULSO
DE LOS SISTEMAS LTI

En el Capítulo 4 se estudia la respuesta al impulso unitario de dichos sistemas como una forma de caracterizarlos, así como un método para obtener la respuesta de éste a cualquier tipo de entrada, mediante la *convolución* de su respuesta al impulso y la señal de entrada al sistema. Se presentan también algunas propiedades de los sistemas discretos basadas en el comportamiento de su respuesta al impulso y se definen los sistemas *IIR* y *FIR*.

Capítulo 5LAS ECUACIONES EN
DIFERENCIAS PARA
DESCRIBIR A LOS
SISTEMAS LTI

En el Capítulo 5 se estudian los sistemas discretos a través de su descripción mediante *ecuaciones en diferencias*. Se presentan algunos métodos de solución para un subconjunto de ecuaciones llamadas *ecuaciones en diferencias lineales de coeficientes constantes*.

Capítulo 6RESPUESTA EN
FRECUENCIA

En el Capítulo 6 se estudia la representación de las señales y sistemas discretos en el dominio de la frecuencia. Se presenta también una explicación sobre el concepto de la respuesta en frecuencia para sistemas discretos y la propiedad de la periodicidad de ésta.

Capítulo 7TRANSFORMADA DE
FOURIER DE TIEMPO
DISCRETO

En el Capítulo 7 se estudia la *Transformada de Fourier de Tiempo Discreto (DTFT)* tanto para señales como para sistemas discretos. Se presentan las propiedades de ésta y algunos ejemplos de aplicación.

Capítulo 14TRANSFORMADA DISCRETA
DE FOURIER (TDF)

El Capítulo 14 presenta la *Transformada Discreta de Fourier de Tiempo Discreto (TDF)* como una versión muestreada de la *DTFT* y como una alternativa de esta última para su implementación en sistemas de procesamiento digital. Se estudian algunas de sus propiedades, así como las operaciones de *convolución circular* y lineal basadas en la *TDF*.

Capítulo 8

PROCESAMIENTO
DIGITAL DE SEÑALES
CONTINUAS

En el Capítulo 8 se presenta un estudio detallado de un sistema completo de procesamiento digital de señales continuas, analizando cada uno de los bloques que lo constituyen. Se incluyen varios ejemplos de sistemas sencillos de procesamiento.

Capítulo 9

TRANSFORMADA Z

El Capítulo 9 muestra un enfoque distinto para analizar y estudiar las señales y sistemas discretos a través de la *Transformada Z*. Se define dicha transformada y se presentan sus propiedades más importantes, así como sus aplicaciones en la solución de ecuaciones en diferencias, en el análisis de la respuesta en frecuencia, en el estudio de la estabilidad de los sistemas discretos LTI y en la realización de los sistemas inversos.

Capítulo 10

FILTROS DIGITALES

En el Capítulo 10 se estudian los principales tipos de filtros digitales ideales: pasa-bajas, pasa-altas, pasa-banda y rechazo de banda. Se presentan además algunos ejemplos de filtros digitales reales como una primera aproximación a los filtros ideales: filtro de promedio móvil, filtro peine, filtro pasa-todo, filtro de fase cero, filtro de fase mínima, etc.

Capítulo 11

ESTRUCTURAS PARA
SISTEMAS DISCRETOS

En el Capítulo 11 se estudian las *estructuras* (algoritmos) para la implementación de los sistemas discretos. Se presentan las *estructuras canónicas* y *no- canónicas*, así como las formas de realización conocidas como *forma directa* y en *casca*.

Capítulo 12

DISEÑO DE FILTROS
DIGITALES

El Capítulo 12 presenta un método de diseño para filtros digitales *IIR* basado en la *transformación bilineal* de filtros analógicos. Para el diseño de los filtros digitales *FIR* se estudia un método de diseño basado en *ventanas* aplicadas a la respuesta impulsional del filtro.

Capítulo 13

DISEÑO DE FILTROS
ANALÓGICOS

El Capítulo 13 se incluye como un complemento del método de diseño de filtros digitales *IIR*. Se presenta un método de diseño para filtros analógicos basado en los principales tipos de respuesta, como son: Butterworth, Chebyshev, Bessel, Función Elíptica, etc.

En la mayoría de los capítulos se incluyen varios ejemplos ilustrativos y detallados que ayudan a la comprensión de los temas presentados. También se hace un uso intensivo de programas realizados en MATLAB, como una herramienta auxiliar para el análisis y diseño de señales y sistemas discretos y analógicos.

Se incluyen dos Apéndices: en el Apéndice A se muestran todos los programas en MATLAB utilizados en estos apuntes y en el Apéndice B se encuentra una serie de ejercicios propuestos para algunos de los capítulos.

Finalmente quiero agradecer de manera especial al Dr. René Aréchiga Martínez por sus notas del curso sobre Procesamiento Digital de Señales, las cuales fueron la base para la realización de estos apuntes. Asimismo le agradezco también por compartir su experiencia docente. El enfoque en la presentación de estos apuntes lo considero como el resultado de la contribución de muchos profesores y estudiantes de esta Universidad que durante el tiempo que he convivido con ellos, han contribuido (aún sin darse cuenta) a impulsar en mí una búsqueda de formas más simples y directas para que el estudiante descubra en sí mismo el conocimiento y la relación con su propia experiencia. Este enfoque fue el que intenté aplicar en la elaboración de estos apuntes.