



PRESENTACIÓN

Breve descripción: Esta asignatura es una introducción al procesamiento de señales analógicas y digitales, un tema que forma parte integral de los sistemas de ingeniería en muchas áreas diversas, incluido el procesamiento de datos, comunicaciones, procesamiento de voz, procesamiento de imágenes, electrónica para productos de consumo, etc.

El curso presenta e integra los conceptos básicos para señales y sistemas tanto en tiempo continuo como en tiempo discreto, así como señales deterministas y aleatorias. Las representaciones de señales y sistemas se desarrollan tanto para el dominio del tiempo como para el de la frecuencia. Estas representaciones se relacionan a través de la transformada de Fourier y sus generalizaciones, las cuales se exploran en detalle.

Titulación (Módulo/Materia):

- Ingeniería en Sistemas de telecomunicación (Bloque Especializado de Sistemas de Telecomunicación/Teoría de la Señal)

Detalles:

- **ECTS:** 4 ECTS
- **Curso, semestre:** 2.º curso, 2.º semestre
- **Carácter:** Obligatorio
- **Idioma:** Castellano e Inglés

Profesores de la asignatura:

- Insausti Sarasola, Xabier/Profesor titular
- Podhorski, Adam/Profesor contratado doctor

COMPETENCIAS

INGENIERÍA EN SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN

CG3 - Conocimiento en materias básicas y tecnológicas, que les capacite para el aprendizaje de nuevos métodos y teorías, y les dote de versatilidad para adaptarse a nuevas situaciones.

CG9 - Capacidad de trabajar en un grupo multidisciplinar y en un entorno multilingüe y de comunicar, tanto por escrito como de forma oral, conocimientos, procedimientos, resultados e ideas relacionadas con las telecomunicaciones y la electrónica.

CE21 - Capacidad para construir, explotar y gestionar las redes, servicios, procesos y aplicaciones de telecomunicaciones, entendidas éstas como sistemas de captación, transporte, representación, procesado, almacenamiento, gestión y presentación de información multimedia, desde el punto de vista de los sistemas de transmisión.



CE22 - Capacidad para aplicar las técnicas en que se basan las redes, servicios y aplicaciones de telecomunicación tanto en entornos fijos como móviles, personales, locales o a gran distancia, con diferentes anchos de banda, incluyendo telefonía, radiodifusión, televisión y datos, desde el punto de vista de los sistemas de transmisión.

CE26 - Capacidad para analizar, codificar, procesar y transmitir información multimedia empleando técnicas de procesamiento analógico y digital de señal.

PROGRAMA

Tema 1. Conjuntos e Integración de Señales

En este capítulo se estudian desde un punto de vista matemático las operaciones básicas que realizan los componentes que forman los sistemas de comunicaciones como filtros, mezcladores, amplificadores, osciladores, etc. En particular, se exponen la convolución, el producto escalar y las características de los sistemas de transmisión con distintos anchos de banda (finitos):

- Conjuntos
 - Funciones Integrables: Medidas sobre una σ -álgebra, Medida de Lebesgue, Funciones medibles, Integral de Lebesgue, Teoremas de convergencia, Teorema de Fubini.
- Producto escalar de señales y convolución
- Transformada de Fourier
- Estudio de señales de ancho de banda finito

Tema 2. Análisis temporal y frecuencial de señales

En este capítulo se estudian las señales desde el punto de vista temporal y frecuencial:

- Transformada de Fourier
- Teoremas de Parseval y convolución
- Estudio de señales de ancho de banda finito
- Limitaciones prácticas de la transformada de Fourier
- Transformada de Fourier de tiempo corto
- Espectrograma

Tema 3. Análisis de espacios vectoriales normados

En este capítulo se recuerdan los conceptos algebraicos de espacio vectorial y producto escalar:

- Espacios métricos
- Convergencia y continuidad
- Espacios vectoriales
- Espacios vectoriales normados
- Espacios vectoriales con producto interno
- Espacios vectoriales con producto interno y dimensión finita

Tema 4. Espacio de Hilbert de las señales de energía finita

En este capítulo se introducen los conceptos básicos de los receptores que componen los sistemas de transmisión tanto cableados como inalámbricos. En particular, se estudia el



concepto de estimación óptima a partir del concepto algebraico de proyección sobre un subespacio vectorial:

- El espacio vectorial de las señales de energía finita
- Producto interno, convergencia y ortogonalidad en el espacio vectorial de señales de energía finita
- Transformada de Fourier de señales de energía finita

Tema 5. Espacios de señal de dimensión infinita y teorema de muestreo

En este capítulo se estudia la conversión analógico-digital y digital-analógica necesaria en todos los sistemas de comunicación digitales.

- Sistemas ortonormales completos
- Series de Fourier
- Teorema de muestreo
- Transformada de Fourier de una señal discreta

Tema 6. Ampliación de teoría de la probabilidad

En este capítulo se repasa y amplía la teoría de la probabilidad:

- El espacio muestral
- La probabilidad de un evento
- Familia de subconjuntos medibles
- Asignación de probabilidades a los subconjuntos de Borel
- Variables aleatorias y vectores aleatorios
- Esperanza de una (función) de una variable aleatoria
- Funciones de distribución
- Independencia y probabilidad condicionada

Tema 7. Procesos estocásticos

En este capítulo se estudia el ruido en los sistemas de comunicaciones desde un punto de vista matemático. Se hace especial hincapié en el ruido Gaussiano, ya que es el modelo de ruido habitual considerado en los sistemas de transmisión:

- Conceptos básicos
 - Descripción matemática de procesos estocásticos: Valor esperado y autocorrelación de un proceso estocástico, Procesos estacionarios, Procesos ergódicos.
- Procesos Gaussianos

Tema 8. Caracterización espectral de señales

En este capítulo se estudia el comportamiento del ruido en los distintos componentes que forman los sistemas de comunicaciones (filtros, mezcladores, receptores,...). Por último, se particulariza el estudio al caso del ruido Gaussiano blanco, por ser el modelo habitualmente considerado en los sistemas de comunicación.

- Densidad espectral de energía de señales de energía finita
 - Densidad espectral de potencia de señales de potencia finita: Señales periódicas, Procesos estocásticos de potencia finita, Procesos estacionarios en sentido amplio.
- Ruido blanco Gaussiano



Chapter 1. Sets and integration of signals

In this chapter, the basic operations performed by the components that make up communication systems such as filters, mixers, amplifiers, oscillators, etc., are studied from a mathematical point of view. In particular, the convolution, the inner product and the characteristics of transmission systems with different (finite) bandwidths are exposed:

- Sets
 - Integrable functions: Measure on σ -algebra, Lebesgue measure, Measurable functions, Lebesgue Integral, Convergence theorems, Fubini's theorem.
- Inner product and convolution
- Fourier transform
- Finite bandwidth signals

Chapter 2. Temporal and frequency analysis of signals

In this chapter, signals are studied from a time and frequency point of view:

- Fourier transform
- Parseval and convolution theorems
- Finite bandwidth signals
- Practical limitations of the Fourier transform
- Short time Fourier transform
- Spectrogram

Chapter 3. Analysis of normed vector spaces

This chapter recalls the algebraic concepts of vector space and inner product:

- Metric spaces
- Convergence and continuity
- Vector spaces
- Normed vector spaces
- Vector spaces with inner product
- Finite-dimensional vector spaces with inner product

Chapter 4. Hilbert space of energy-limited signals

This chapter introduces the basic concepts of the receivers that make up both wired and wireless transmission systems. In particular, the concept of optimal estimation is studied from the algebraic concept of projection on a vector subspace:

- The vector space of energy-limited signals
- Inner product, convergence and orthogonality in the vector space of energy-limited signals
- Fourier transform for energy-limited signals

Chapter 5. Infinite-dimensional vector spaces and the sampling theorem

This chapter studies the analog-digital and digital-analog conversion required in all digital communication systems.

- Complete orthonormal system



Universidad de Navarra

- Fourier series
- Sampling theorem
- Fourier Transform of a discrete signal

Chapter 6. Probability theory

This chapter reviews and extends the theory of probability:

- The sample space
- The probability of an outcome
- Family of measurable subsets
- Assigning probabilities to Borel subsets
- Random variables and random vectors
- Expectation of a (function) of a random variable
- Distribution functions
- Independence and conditional probability

Chapter 7. Stochastic processes

In this chapter, noise in communication systems is studied from a mathematical point of view. Special emphasis is placed on Gaussian noise, since it is the usual noise model considered in transmission systems:

- Basic concepts
 - Mathematical description of a stochastic process: Expectation and autocorrelation function, Stationary processes, Ergodic processes.
- Gaussian processes

Chapter 8. Spectral characterization of signals

This chapter studies the behavior of noise in the different components that make up communication systems (filters, mixers, receivers, ...). Finally, the study is made specific to the case of white Gaussian noise, as it is the model usually considered in communication systems.

- Spectral density of energy-limited signals
 - Power spectral density of power-limited signals: Periodic signals, Power-limited stochastic processes, Wide sense stationary processes.
- White Gaussian noise

ACTIVIDADES FORMATIVAS

Los desarrollos teóricos irán acompañados por prácticas de Laboratorio con el programa Matlab, para que los estudiantes adquieran la capacidad de aplicar los conceptos teóricos en situaciones prácticas. Además, se plantearán problemas cada dos semanas para que los alumnos los resuelvan fuera del horario de clase.

Sesiones de teoría

Serán la columna vertebral de la asignatura y las que ocuparán las horas lectivas de la asignatura.



Universidad de Navarra

Problemas propuestos para el alumno

Se propondrá una lista de problemas por cada tema para que el alumno los resuelva en horario. Se recomienda encarecidamente trabajar personalmente en los problemas propuestos, ya que su correcta comprensión es la mejor garantía de superar la asignatura con éxito. Al acabar cada tema, se organizarán seminarios fuera del horario de clase para resolver los problemas propuestos con la intervención de los alumnos. Serán el complemento a las clases teóricas para afianzar los conceptos.

Prácticas de laboratorio

Las prácticas se realizan con el programa Matlab y el alumno debe presentar un informe al acabar cada práctica.

EVALUACIÓN

CONVOCATORIA ORDINARIA

- Prácticas de laboratorio: 20% de la calificación
- Resolución y presentación de los problemas planteados: 20% de la calificación
- Examen final: 60% de la calificación
- La participación activa en clase se valorará con hasta 0,5 puntos extra.

CONVOCATORIA EXTRAORDINARIA

- Examen final: 100% de la calificación

HORARIOS DE ATENCIÓN

Los profesores estarán disponibles para resolver dudas, previa petición de cita por correo electrónico.

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía básica recomendada:

- **X. Insausti**, "Señales y Sistemas", Apuntes de la asignatura.
- **A. Lapidith**, "A foundation in Digital Communication", Cambridge University Press, 2017. [Localízalo en la Biblioteca](#). (versión electrónica)
- **A. Papoulis and S.U. Pillai**, "Probability, random variables and stochastic processes", McGraw-Hill, 2002. [Localízalo en la Biblioteca](#).

Bibliografía complementaria sobre teoría de la señal y comunicaciones:

- **R.G. Gallager**, "Principles of Digital Communication", Cambridge University Press, 2008. [Localízalo en la Biblioteca](#).
- **J.M. Wozencraft and I.M. Jacobs**, "Principles of Communication Engineering", Wiley, 1990. [Localízalo en la Biblioteca](#).



Universidad
de Navarra

- **B. Boashash**, "Time-Frequency Signal Analysis and Processing. A comprehensive reference", Amsterdam ; Boston : Elsevier, 2016. [Localízalo en la Biblioteca.](#) (versión electrónica)

Bibliografía complementaria sobre análisis matemático:

- **W. Rudin**, "Principles of Mathematical Analysis", McGraw-Hill, 1976.
- **W. Rudin**, "Real and Complex analysis", McGraw-Hill, 1974.