

**Proyecto/Guía docente de la asignatura**

<b>Asignatura</b>	TRATAMIENTO AVANZADO DE SEÑALES		
<b>Materia</b>	SEÑALES Y SISTEMAS		
<b>Módulo</b>	MATERIAS ESPECÍFICAS DE LA MENCIÓN EN SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN		
<b>Titulación</b>	GRADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS ESPECÍFICAS DE TELECOMUNICACIÓN		
<b>Plan</b>	512	<b>Código</b>	46633
<b>Periodo de impartición</b>	1º CUATRIMESTRE	<b>Tipo/Carácter</b>	OPTATIVA DE LA MENCIÓN
<b>Nivel/Ciclo</b>	GRADO	<b>Curso</b>	4º
<b>Créditos ECTS</b>	6 ECTS		
<b>Lengua en que se imparte</b>	CASTELLANO		
<b>Profesor/es responsable/s</b>	LUIS MIGUEL SAN JOSÉ REVUELTA		
<b>Datos de contacto (E-mail, teléfono...)</b>	TELÉFONO: 983 423000 ext. 5543 E-MAIL: <a href="mailto:lsanjose@tel.uva.es">lsanjose@tel.uva.es</a>		
<b>Horario de tutorías</b>	Véase <a href="http://www.uva.es">www.uva.es</a> → Centros → Campus de Valladolid → Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación → Tutorías		
<b>Departamento</b>	TEORÍA DE LA SEÑAL Y COMUNICACIONES E INGENIERÍA TELEMÁTICA		



## 1. Situación / Sentido de la Asignatura

---

### 1.1 Contextualización

---

El estudio de los sistemas de telecomunicaciones actuales, especialmente los nuevos estándares de comunicaciones móviles (WiFi 802.11, WiMax, LTE, Bluetooth, etc.) requiere un profundo nivel de conocimientos de procesamiento de señal para la comprensión y el diseño de equipos eficientes de procesamiento de señal, específicamente a nivel de transmisores/receptores, a la hora de eliminar ruido, interferencias –ya sean estas co-canal, de canal adyacente, intersimbólicas o de acceso múltiple– y de procesar la propia señal de interés.

En los tres primeros cursos de los actuales estudios de grado los alumnos se encuentran con varias asignaturas donde se establecen las bases teórico-prácticas para el estudio de la teoría general de señales y sistemas lineales, tanto en su componente determinista (sistemas lineales) como aleatoria (señales aleatorias y ruido). Además, en Tratamiento de Señales, se profundiza en el procesamiento discreto a través del análisis en el dominio transformado, la estimación espectral y la simulación discreta de sistemas continuos. A parte de estos temas, en esta asignatura se introduce a los alumnos en el procesamiento selectivo en frecuencia de señales discretas, mediante el diseño básico de filtros de tiempo discreto.

En la presente asignatura profundizamos en el diseño de este tipo de sistemas, los filtros selectivos en frecuencia, realizando un estudio pormenorizado del diseño de filtros digitales y analógicos, en entornos tanto estacionarios como variantes en el tiempo. Dado que el diseño detallado de filtros digitales de tipo IIR requiere un conocimiento sólido del diseño de filtros en el dominio analógico, la asignatura Tratamiento Avanzado de Señales comienza con el estudio de la teoría clásica (o teoría de la aproximación) para la obtención de la función de transferencia de este tipo de filtros. A continuación, la asignatura se centra y profundiza en el diseño de filtros digitales, donde se comienza con el diseño en entornos estacionarios y se continúa explicando los fundamentos de la teoría de diseño de filtros adaptativos. Finalmente se completará el estudio de los filtros digitales mediante una introducción a las técnicas emergentes avanzadas de diseño de filtros digitales mediante técnicas de aprendizaje profundo (deep learning), concretamente los métodos basados en redes convolucionales 1D.

### 1.2 Relación con otras materias

---

Esta asignatura está especialmente relacionada con “Tratamiento de Señales”, pues es la continuación lógica de los contenidos relacionados con el diseño de filtros de tiempo discreto iniciado en dicha asignatura a través de los filtros FIR. Como conocimientos básicos podemos citar la asignatura “Sistemas Lineales”, ya que en “Tratamiento Avanzado de Señales” haremos uso de herramientas como la transformada de Fourier continua y discreta, la transformada de Laplace y la transformada Z.

### 1.3 Prerrequisitos

---

No existen condiciones previas excluyentes para cursar esta asignatura, aunque sí recomendaciones lógicas que el alumno debería tener en cuenta. Es recomendable haber cursado las materias “Sistemas Lineales” y “Tratamiento de Señales”, pues la materia que aquí se explica es continuación y ampliación de los contenidos de estas dos asignaturas.



Para la parte práctica es recomendable un nivel de conocimientos básico del entorno de simulación MatLab/Octave.

## 2. Competencias

### 2.1 Generales

- GB1. Capacidad de razonamiento, análisis y síntesis.
- GBE2. Capacidad para aplicar métodos analíticos y numéricos para el análisis de problemas en el ámbito de la ingeniería técnica de Telecomunicación.
- GBE3. Capacidad para resolver problemas con iniciativa, creatividad y razonamiento crítico.
- GBE4. Capacidad para diseñar y llevar a cabo experimentos, así como analizar e interpretar datos.
- GE2. Capacidad para trabajar en un grupo multidisciplinar y multilingüe, responsabilizándose de la dirección de actividades objeto de los proyectos del ámbito de su especialidad y consiguiendo resultados eficaces.
- GC1. Capacidad de organización, planificación y gestión del tiempo.
- GC2. Capacidad para comunicar, tanto por escrito como de forma oral, conocimientos, procedimientos, resultados e ideas relacionadas con las telecomunicaciones y la electrónica.
- B2. Conocimientos básicos sobre el uso y programación de los ordenadores, sistemas operativos, bases de datos y programas informáticos con aplicación en ingeniería.

### 2.2 Específicas

- T5. Capacidad para evaluar las ventajas e inconvenientes de diferentes alternativas tecnológicas de despliegue o implementación de sistemas de comunicaciones, desde el punto de vista del espacio de la señal, las perturbaciones y el ruido y los sistemas de modulación analógica y digital.
- ST1. 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.
- ST6. Capacidad para analizar, codificar, procesar y transmitir información multimedia empleando técnicas de procesado analógico y digital de señal.



### 3. Objetivos

Al finalizar la asignatura el alumno deberá ser capaz de:

- Conocer los conceptos fundamentales relacionados con el diseño de redes selectivas en frecuencia. Conocer algunos de los ámbitos de aplicación, así como ejemplos sencillos de sistemas prácticos con discriminación en frecuencia.
- Distinguir las particularidades de los filtros analógicos y digitales, y conocer sus ventajas e inconvenientes, así como la relación conceptual existente entre ambos.
- Conocer la caracterización de los sistemas selectivos en frecuencia a través de los diagramas de especificaciones, las tolerancias y los diagramas de bode.
- Conocer los fundamentos del diseño de filtros analógicos mediante el estudio de la teoría clásica de filtros, conocida habitualmente como teoría de la aproximación, y de las transformaciones en frecuencia más habituales. Conocer las características diferenciadoras de las diferentes aproximaciones clásicas: filtros de Butterworth, de Chebychev (Directos e Inversos) y Elípticos.
- Conocer y diferenciar los principales tipos de filtros digitales, FIR e IIR, enfatizando en las ventajas y limitaciones de cada uno de ellos. Conocer su descripción, tanto en el dominio del tiempo discreto a través de la respuesta impulsiva como en el dominio de la transformada Z mediante la función de transferencia.
- Describir y aplicar el método del enventanado para el diseño de filtros digitales de tipo FIR. Evaluar las soluciones de compromiso o *trade-off* entre las diferentes opciones de diseño disponibles en cada caso.
- Conocer los fundamentos de diseño de filtros digitales IIR y, de forma muy especial, su relación con el diseño de filtros analógicos clásicos. Conocer y comparar diferentes métodos de diseño.
- Conocer las principales estructuras y mecanismos de implementación de los filtros digitales, estudiando para ello las estructuras de línea de retardo ponderada (caso de filtros FIR) así como las implementaciones a través de las estructuras directa, en serie y en paralelo. Adquirir la capacidad de pasar de unas implementaciones a otras mediante la manipulación de la función de transferencia.
- Conocer los conceptos básicos del filtrado adaptativo, sus fundamentos de diseño y algunos de los campos o ejemplos de aplicación.
- Conocer un método emergente de diseño de filtros digitales como son las redes convolucionales 1D.



#### 4. Contenidos y bloques temáticos

##### Bloque único: Procesado Avanzado de Señales

Carga de trabajo en créditos ECTS: 

##### a. Contextualización y justificación

La asignatura se estructura en un único bloque pues toda ella se centra en el diseño de filtros selectivos en frecuencia. En el primer tema se presentan las herramientas básicas y los conceptos fundamentales relacionados con el análisis y diseño de redes eléctricas selectivas en frecuencia. El segundo tema introduce al alumno en el campo del diseño de filtros en su versión analógica mediante el estudio de la teoría clásica de filtros, –conocida habitualmente como *teoría de la aproximación*–, y de las transformaciones en frecuencia más habituales para la obtención de filtros con característica de amplitud-frecuencia selectiva. A continuación, los temas tres y cuatro abordan el diseño de filtros digitales, de tipo FIR e IIR respectivamente. Se presentan los diferentes tipos de filtros digitales, sus técnicas de diseño, así como su relación con la teoría clásica de síntesis filtros analógicos. El tema 5 consiste en una extensión de los contenidos previos al caso variante en el tiempo (filtrado adaptativo) realizando una introducción a los algoritmos básicos de estimación adaptativa de la respuesta al impulso del filtro (Wiener y LMS). La última parte de la asignatura pretende dar una visión sobre técnicas emergentes para diseño de filtros digitales, concretamente las que hacen uso de los recientes avances en *machine learning* dentro del campo de *deep learning*. Cada tema finaliza con ejemplos de aplicación de los conceptos estudiados en los mismos. Asimismo, irán acompañados de prácticas de laboratorio, donde el alumno podrá afianzar y visualizar el conocimiento adquirido en las sesiones teóricas.

##### b. Objetivos de aprendizaje

Véanse los objetivos en la sección 3.

##### c. Contenidos

###### TEMA 1: Herramientas de procesamiento de señal para diseño de filtros

- 1.1 Objetivos.
- 1.2 Transformada de Laplace: definición, interpretación y propiedades fundamentales.
- 1.3 Funciones de transferencia y ecuaciones en diferencias.
- 1.4 Tipos de filtros selectivos en frecuencia.
- 1.5 Plano complejo: polos y ceros, estabilidad.
- 1.6 Diagrama de Bode.

###### TEMA 2: Diseño de filtros de tiempo continuo

- 2.1 Teoría de la aproximación.
- 2.2 Diseño de prototipos analógicos normalizados con las aproximaciones de Butterworth, Chebychev Directa, Chebychev Inversa y Cauer.
- 2.3 Transformaciones en frecuencia en el plano de la frecuencia compleja.
- 2.4 Comparaciones entre filtros. Ejemplos de diseño.



**TEMA 3: Diseño de filtros de tiempo discreto I (MA)**

- 3.1 Particularidades de la respuesta frecuencial de los sistemas discretos.
- 3.2 DFT: definición y propiedades básicas.
- 3.3 Diagrama de especificaciones de filtros discretos.
- 3.4 Retardo de fase y retardo de grupo. Tipos de filtros discretos: FIR e IIR (MA, AR y ARMA).
- 3.5 Repaso del método de enventanado para el diseño de filtros FIR.
- 3.6 Otros métodos de diseño.
- 3.7 Estabilidad, estructuras de implementación y carga computacional.

**TEMA 4: Diseño de filtros de tiempo discreto II (ARMA)**

- 4.1 Introducción. Diagramas de especificaciones.
- 4.2 Función de transferencia y ecuación en diferencias.
- 4.3 Diseño de filtros IIR mediante la Transformada Z Bilineal.
- 4.4 Diseño de filtros IIR mediante el Método de la Invarianza al Impulso.
- 4.5 Estructuras de implementación y carga computacional.

**TEMA 5: Introducción al filtrado adaptativo**

- 5.1 Descripción del problema y motivación: cuándo y por qué utilizar esquemas adaptativos.
- 5.2 Filtro de Wiener.
- 5.3 Algoritmo de máxima pendiente (*steepest descent*).
- 5.4 Algoritmo LMS.
- 5.5 Aplicaciones prácticas.

**TEMA 6: Introducción al diseño de filtros mediante técnicas de *deep learning***

- 6.1 Introducción
- 6.2 Inteligencia artificial, *machine learning* y *deep learning*
- 6.3 Introducción a las redes convolucionales 1D y 2D
- 6.4 Ejemplos de aplicación al diseño de filtros digitales

---

**d. Métodos docentes**

Véase apartado 5.

---

**e. Plan de trabajo**

Véase el Anexo I.

---

**f. Evaluación**

La evaluación de la adquisición de competencias se basará en:

- Valoración de la actitud y participación del alumno en las actividades formativas.
- Informe realizado por grupos de alumnos sobre las prácticas del laboratorio.
- Evaluación continua en seminarios escritos (individuales o en grupo).



- Presentación de trabajos.
- Prueba escrita al final del cuatrimestre.

## **g. Material docente**

---

### **g.1 Bibliografía básica**

---

- L. M. San José Revuelta, *Introducción al diseño de circuitos eléctricos selectivos en frecuencia. Analógicos y digitales*, Secretariado de Publicaciones e Intercambio Editorial, Universidad de Valladolid, 2003.
- W. K. Chen (Editor), *Passive, active and digital filters*, 2<sup>nd</sup>. Edition, CRC Press, 2009.
- R. Schaumann, H. Xiao, M. E. Van Valkenburg, *Design of Analog Filters*, 2<sup>nd</sup>. Edition, Oxford University Press, 2009.
- E. C. Ifeachor, B. W. Jervis, *Digital Signal Processing: A Practical Approach*, 2<sup>nd</sup>. Edition, Prentice-Hall, 2002.

### **g.2 Bibliografía complementaria**

---

- T. W. Parks, C. S. Burrus, *Digital filter design*, John Wiley & Sons, 1987.
- V. Oppenheim, R. W. Schaffer, *Discrete-time signal processing*, 3<sup>a</sup> edición, Pearson, 2014.
- W. D. Stanley, *Transform circuit analysis for engineering and technology*, 3rd. edition, Prentice-Hall, 1997.
- S. Haykin, *Adaptive filter theory*, Prentice-Hall International Edition, 2002.
- LesTede, *Practical Analog and Digital Filter Design*, Artech House; Har/Cdr edition, 2004.
- M. Gaston, *Practical introduction to digital filter design: basic FIR IIR filter design structures*, Independently published, 2021.
- F. Chollet, *Deep Learning con Python*, Anaya Multimedia, 2020.
- S. Venkatraman Iyer, *Digital Filter Design using Python for Power Engineering Applications: An open Source Guide*, Springer, 2020.

### **g.3 Otros recursos telemáticos**

---

- Material audiovisual complementario y de apoyo facilitado por el profesor y disponible en el Campus Virtual.

## **h. Recursos necesarios**

---

Serán necesarios los siguientes recursos, todos ellos facilitados por la UVa o el profesor:

- Pizarra, ordenador y cañón de proyección en las aulas para las clases magistrales participativas.
- Laboratorio con veinte ordenadores con el sistema operativo Windows® o Linux y licencia de Matlab® para la realización de las prácticas de laboratorio.
- Entorno de trabajo en la plataforma Moodle, ubicado en el Campus Virtual de la Universidad de Valladolid.



### i. Temporalización

BLOQUE TEMÁTICO	CARGA ECTS	PERIODO PREVISTO DE DESARROLLO
Bloque I	6 ECTS	Semanas 1 a 15

### 5. Métodos docentes y principios metodológicos

- Clase magistral participativa
- Aprendizaje colaborativo
- Estudio de casos, presentación y resolución de ejercicios en aula
- Simulación y resolución de problemas en el laboratorio
- Aprendizaje colaborativo

### 6. Tabla de dedicación del estudiante a la asignatura

ACTIVIDADES PRESENCIALES O PRESENCIALES A DISTANCIA <sup>(1)</sup>	HORAS	ACTIVIDADES NO PRESENCIALES	HORAS
Clases teórico-prácticas (T/M)	20	Estudio y trabajo autónomo individual	64
Clases prácticas de aula (A)	10	Estudio y trabajo autónomo grupal	30
Laboratorios (L)	16		
Prácticas externas, clínicas o de campo	0		
Seminarios (S)	7		
Tutorías grupales (TG)	0		
Evaluación (fuera del periodo oficial de exámenes)	3		
<b>Total presencial</b>	<b>56</b>	<b>Total no presencial</b>	<b>94</b>
<b>TOTAL presencial + no presencial</b>			<b>150</b>

- (1) Actividad presencial a distancia es aquella en la que un grupo de alumnos sigue una videoconferencia de forma síncrona a la clase impartida por el profesor



## 7. Sistema y características de la evaluación

INSTRUMENTO/PROCEDIMIENTO	PESO EN LA NOTA FINAL	OBSERVACIONES
Evaluación continua: Resolución de ejercicios en 4 seminarios evaluables a lo largo de la asignatura.	30%	Resolución individual o en grupo de ejercicios escritos. Al final de las temas 2, 3, 4 y 5.
Valoración de las prácticas y ejercicios de laboratorio.	15%	Se valorará tanto mediante observación sistemática en las propias sesiones de laboratorio y de las memorias que en su caso puedan solicitarse, como a través de preguntas escritas específicas incluidas en el examen final escrito.
Examen final escrito.	45%	Examen final de la asignatura. Consistirá en la resolución de dos problemas de los temas 2, 3 y 4, y una cuestión a desarrollar del tema 5.
Trabajo práctico	10%	Realización y/o exposición, individual o en grupo, de un trabajo práctico relacionado con el contenido del Tema 6.

Todas las actividades de evaluación mostradas en la tabla anterior son de carácter presencial.

### CRITERIOS DE CALIFICACIÓN

- **Convocatoria ordinaria:**  
De acuerdo con la tabla anterior.
- **Convocatoria extraordinaria:**  
Se mantiene la calificación obtenida tanto en la "evaluación continua" como en el "trabajo práctico" de la tabla anterior dentro del mismo curso académico. El 60% restante se obtendrá de la calificación del examen escrito en su convocatoria extraordinaria (45% de resolución de problemas y 15% de preguntas sobre las prácticas de laboratorio).

## 8. Consideraciones finales

- El Anexo I mencionado en la guía, donde se describe la planificación detallada, se facilitará al comienzo de la asignatura a través del campus virtual.