



UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA  
DE MADRID

PROCESO DE  
COORDINACIÓN DE LAS  
ENSEÑANZAS PR/CL/001



E.T.S. de Ingeniería y Sistemas  
de Telecomunicación

# ANX-PR/CL/001-01

## GUÍA DE APRENDIZAJE

### ASIGNATURA

**595000025 - Procesado Digital De La Señal**

### PLAN DE ESTUDIOS

59EC - Grado En Ingeniería Electronica De Comunicaciones

### CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2022/23 - Segundo semestre

## Índice

---

### Guía de Aprendizaje

1. Datos descriptivos.....	1
2. Profesorado.....	1
3. Conocimientos previos recomendados.....	2
4. Competencias y resultados de aprendizaje.....	2
5. Descripción de la asignatura y temario.....	4
6. Cronograma.....	6
7. Actividades y criterios de evaluación.....	8
8. Recursos didácticos.....	13
9. Otra información.....	14

## 1. Datos descriptivos

---

### 1.1. Datos de la asignatura

<b>Nombre de la asignatura</b>	595000025 - Procesado Digital de la Señal
<b>No de créditos</b>	4.5 ECTS
<b>Carácter</b>	Obligatoria
<b>Curso</b>	Segundo curso
<b>Semestre</b>	Tercer semestre Cuarto semestre
<b>Período de impartición</b>	Febrero-Junio
<b>Idioma de impartición</b>	Castellano
<b>Titulación</b>	59EC - Grado en Ingeniería Electronica de Comunicaciones
<b>Centro responsable de la titulación</b>	59 - Escuela Tecnica Superior De Ingeniería Y Sistemas De Telecomunicacion
<b>Curso académico</b>	2022-23

## 2. Profesorado

---

### 2.1. Profesorado implicado en la docencia

<b>Nombre</b>	<b>Despacho</b>	<b>Correo electrónico</b>	<b>Horario de tutorías *</b>
Cesar Diaz Martin (Coordinador/a)	D8210	cesar.diazm@upm.es	Sin horario. Cita previa
Jose Manuel Pardo Martin	D8414	josemanuel.pardo@upm.es	Sin horario. Cita previa
Juan Carlos Gonzalez De Sande	A7005	juancarlos.gonzalez@upm.es	Sin horario. Cita previa

Jose David Oses Del Campo	A7006	josedavid.oses@upm.es	Sin horario. Cita previa
---------------------------	-------	-----------------------	-----------------------------

\* Las horas de tutoría son orientativas y pueden sufrir modificaciones. Se deberá confirmar los horarios de tutorías con el profesorado.

### 3. Conocimientos previos recomendados

---

#### 3.1. Asignaturas previas que se recomienda haber cursado

- Algebra Lineal
- Calculo I
- Calculo Ii
- Señales Y Sistemas

#### 3.2. Otros conocimientos previos recomendados para cursar la asignatura

El plan de estudios Grado en Ingeniería Electronica de Comunicaciones no tiene definidos otros conocimientos previos para esta asignatura.

### 4. Competencias y resultados de aprendizaje

---

#### 4.1. Competencias

CE B4 - Comprensión y dominio de los conceptos básicos de sistemas lineales y las funciones y transformadas relacionadas, teoría de circuitos eléctricos, circuitos electrónicos, principio físico de los semiconductores y familias lógicas, dispositivos electrónicos y fotónicos, tecnología de materiales y su aplicación para la resolución de problemas propios de la ingeniería.

CE TEL04 - Capacidad de analizar y especificar los parámetros fundamentales de un sistema de comunicaciones.

CE TEL08 - Capacidad de utilizar herramientas de procesado para el modelado de sistemas y el análisis y tratamiento de señales.

CG 02 - Capacidad de búsqueda y selección de información, de razonamiento crítico y de elaboración y defensa

de argumentos dentro del área.

CG 03 - Capacidad para expresarse correctamente de forma oral y escrita y transmitir información mediante documentos y exposiciones en público.

CG 04 - Capacidad de abstracción, de análisis y de síntesis y de resolución de problemas.

## 4.2. Resultados del aprendizaje

RA1215 - Realizar un filtrado de una señal mediante la DFT

RA1208 - Caracterizar, analizar y relacionar señales y sistemas LTI en tiempo continuo y discreto tanto en el dominio del tiempo como de la frecuencia

RA1213 - Relacionar la DFT con la transformada de Fourier y el desarrollo en serie de Fourier

RA1217 - Diseñar y analizar filtros digitales IIR selectivos en frecuencia

RA1220 - Conocer las principales estructuras utilizadas para la construcción de filtros digitales

RA1216 - Diseñar y analizar filtros digitales FIR selectivos en frecuencia

RA1209 - Describir y analizar un sistema de procesado digital de señales continuas

RA1210 - Describir y caracterizar la operación de muestreo de señales

RA1211 - Realizar un cambio de la velocidad de muestreo del sistema en dominio discreto

RA1212 - Describir y calcular la DFT de una señal, así como conocer sus propiedades principales

RA1214 - Realizar un análisis espectral de una señal mediante la DFT

RA1219 - Relacionar las diferentes formas de caracterizar filtros digitales

## 5. Descripción de la asignatura y temario

---

### 5.1. Descripción de la asignatura

En esta asignatura se introducen algunas de las principales técnicas de procesamiento digital de señales deterministas. En este sentido, la asignatura puede verse como una continuación de la asignatura Señales y Sistemas, profundizando en la parte de señales y sistemas en tiempo discreto que se comenzó a ver en dicha asignatura. En cuanto al temario, está dividido en tres grandes bloques:

1. **Muestreo y procesamiento digital de señales continuas.** En este tema se presenta el diagrama de bloques utilizado para tomar muestras de una señal continua con el fin de procesarla en un microprocesador digital, se revisa el teorema de muestreo, se discute cómo diseñar un sistema discreto para que sea equivalente a un sistema continuo dado (y viceversa), se analiza el ruido de cuantificación que aparece en convertidores continuo-discreto reales, y se realiza una introducción al procesamiento multi-tasa (esto es, al cambio de velocidad de muestreo sin salir del dominio digital).
2. **Transformada discreta de Fourier (DFT).** En este tema se presenta una de las principales herramientas utilizadas actualmente en los sistemas de procesamiento de señales: la transformada discreta de Fourier (DFT). La DFT permite calcular la transformada de Fourier de una secuencia discreta en un microprocesador de un modo sencillo y rápido (mediante su versión rápida, la FFT). Aquí se define la DFT, se discute su relación con la transformada y el desarrollo en serie de Fourier, y se presentan dos de las aplicaciones principales de la DFT: el análisis espectral y el filtrado.
3. **Diseño y análisis de filtros selectivos en frecuencia.** En este tema se proporcionan mecanismos de diseño y análisis de uno de los tipos de filtros más habituales en la práctica: filtros selectivos en frecuencia. Centrándonos en los filtros paso bajo, se proporcionan métodos para diseñar y analizar filtros de respuesta finita al impulso (FIR) y de respuesta infinita al impulso (IIR). Por último, se presentan algunas de las principales estructuras utilizadas para la construcción de filtros digitales en la práctica (tanto en *hardware* como en *software*).

Además de estos tres temas, la asignatura dispone de un laboratorio (cinco prácticas de simulación realizadas con Matlab, incluyendo una introductoria) en el que se revisarán los conceptos fundamentales de cada uno de los tres temas.

## 5.2. Temario de la asignatura

1. Procesado digital de señales continuas
  - 1.1. Introducción
  - 1.2. Muestreo de señales continuas
  - 1.3. Procesado en tiempo discreto de señales continuas
  - 1.4. Procesado en tiempo continuo de señales discretas
  - 1.5. Cambio de la velocidad de muestreo
2. La transformada discreta de Fourier (DFT)
  - 2.1. Introducción
  - 2.2. DFT: definición, cálculo, relaciones y propiedades
  - 2.3. Análisis espectral mediante la DFT
  - 2.4. Filtrado de señales mediante la DFT
3. Diseño y análisis de filtros
  - 3.1. Introducción
  - 3.2. Diseño de filtros FIR
  - 3.3. Diseño de filtros IIR
  - 3.4. Comparación entre métodos de diseño y tipos de filtros
  - 3.5. Análisis de filtros
  - 3.6. Estructuras para la implementación de filtros digitales

## 6. Cronograma

### 6.1. Cronograma de la asignatura \*

Sem	Actividad presencial en aula	Actividad presencial en laboratorio	Tele-enseñanza	Actividades de evaluación
1	<p><b>Presentación y revisión</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 1 - Muestreo</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			
2	<p><b>Tema 1 - Equivalencia de sistemas</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 1 - Interpolación y Diezmado</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			
3	<p><b>Tema 1 - Conversores analógico-digitales reales</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Problemas del Tema 1</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			
4	<p><b>Tema 2 - DFT &amp; IDFT</b> Duración: 01:30 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>	<p><b>Práctica 1 de Laboratorio con Matlab</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>		<p><b>Test de teoría - Tema 1</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Presencial Duración: 00:30</p>
5	<p><b>Tema 2 - Análisis Espectral</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			
6	<p><b>Tema 2 - Filtrado</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>	<p><b>Práctica 2 de Laboratorio con Matlab</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>		
7	<p><b>Problemas del Tema 2</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			
8	<p><b>Tema 3 - Introducción al filtrado</b> Duración: 01:30 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>	<p><b>Práctica 3 de Laboratorio con Matlab</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>		<p><b>Test de teoría - Temas 1 y 2</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Presencial Duración: 00:30</p>



9	<b>Tema 3 - Diseño de filtros FIR</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
10	<b>Tema 3 - Diseño de filtros IIR</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Práctica 4 de Laboratorio con Matlab</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		
11	<b>Tema 3 - Análisis de filtros</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
12	<b>Tema 3 - Estructuras</b> Duración: 01:30 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			<b>Test de teoría - Temas 1, 2 y 3</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Presencial Duración: 00:30
13	<b>Problemas del Tema 3</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			<b>Prueba progresiva laboratorio</b> EP: Técnica del tipo Examen de Prácticas Evaluación continua Presencial Duración: 01:00  <b>Evaluación de las prácticas de laboratorio</b> OT: Otras técnicas evaluativas Evaluación continua y sólo prueba final Presencial Duración: 01:00
14				
15				
16				
17				<b>Prueba global problemas</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua y sólo prueba final Presencial Duración: 02:30  <b>Prueba global teoría</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación sólo prueba final Presencial Duración: 01:00  <b>Prueba global laboratorio</b> EP: Técnica del tipo Examen de Prácticas Evaluación sólo prueba final Presencial Duración: 01:00

Para el cálculo de los valores totales, se estima que por cada crédito ECTS el alumno dedicará dependiendo del plan de estudios, entre 26 y 27 horas de trabajo presencial y no presencial.

\* El cronograma sigue una planificación teórica de la asignatura y puede sufrir modificaciones durante el curso derivadas de la situación creada por la COVID-19.

## 7. Actividades y criterios de evaluación

### 7.1. Actividades de evaluación de la asignatura

#### 7.1.1. Evaluación continua

Sem.	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
4	Test de teoría - Tema 1	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:30	4%	/ 10	CE B4 CE TEL04 CG 04
8	Test de teoría - Temas 1 y 2	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:30	6%	/ 10	CE B4 CE TEL04 CG 04
12	Test de teoría - Temas 1, 2 y 3	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:30	10%	/ 10	CG 04 CE B4 CE TEL04
13	Prueba progresiva laboratorio	EP: Técnica del tipo Examen de Prácticas	Presencial	01:00	20%	/ 10	CE B4 CE TEL08 CG 04
13	Evaluación de las prácticas de laboratorio	OT: Otras técnicas evaluativas	Presencial	01:00	10%	/ 10	CE B4 CE TEL04 CE TEL08 CG 02 CG 03 CG 04
17	Prueba global problemas	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:30	50%	/ 10	CE B4 CE TEL04 CE TEL08 CG 02 CG 03 CG 04

#### 7.1.2. Evaluación sólo prueba final

Sem	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
-----	-------------	-----------	------	----------	-----------------	-------------	------------------------

13	Evaluación de las prácticas de laboratorio	OT: Otras técnicas evaluativas	Presencial	01:00	10%	/ 10	CE B4 CE TEL04 CE TEL08 CG 02 CG 03 CG 04
17	Prueba global problemas	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:30	50%	/ 10	CE B4 CE TEL04 CE TEL08 CG 02 CG 03 CG 04
17	Prueba global teoría	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	01:00	20%	/ 10	CE B4 CE TEL04 CG 04
17	Prueba global laboratorio	EP: Técnica del tipo Examen de Prácticas	Presencial	01:00	20%	/ 10	CE B4 CE TEL04 CG 04

### 7.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
Prueba global problemas	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:30	50%	/ 10	CE TEL08 CG 02 CG 03 CG 04 CE B4 CE TEL04
Prueba global teoría	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	01:00	20%	/ 10	CG 04 CE B4 CE TEL04
Prueba global laboratorio	EP: Técnica del tipo Examen de Prácticas	Presencial	01:00	20%	/ 10	CE TEL04 CG 04 CE B4
Evaluación de las prácticas de laboratorio	OT: Otras técnicas evaluativas	Presencial	01:00	10%	/ 10	CE B4 CE TEL04 CE TEL08 CG 02 CG 03 CG 04

## 7.2. Criterios de evaluación

La asignatura se divide en tres bloques: teoría, problemas y laboratorio. La planificación de la asignatura prevé la realización de un conjunto de pruebas y actividades en el formato de evaluación progresiva que podrán recuperarse bajo ciertas condiciones en el formato de prueba global en ambas convocatorias (ordinaria y extraordinaria).

A continuación se muestra el esquema de evaluación general, que incluye los pesos específicos de cada bloque y sus partes en todas las modalidades de evaluación:

### Convocatoria ordinaria

- **Evaluación progresiva:**

1. Teoría (20%): tres test con distintos pesos (el primero, del 4%, el segundo, del 6%, y el tercero, del 10%) a realizar en el aula en las fechas aproximadas incluidas en el cronograma (la fecha exacta de cada uno se indicará en Moodle con la debida antelación).
2. Laboratorio (30%). Se divide en dos partes:
  1. Prueba de laboratorio (20%): a realizar en un aula de prácticas en la fecha aproximada incluida en el cronograma (la fecha exacta se indicará en Moodle con la debida antelación).
  2. Evaluación de las prácticas de laboratorio (10%): realización y, en su caso, entrega de las cinco prácticas de laboratorio previstas (cuatro en el aula de prácticas y una de introducción a realizar telemáticamente). Estas actividades serán evaluadas por el/la profesor/a de grupo correspondiente, quien podrá considerar en la nota la asistencia del/de la estudiante al aula.
3. Problemas (50%): examen de problemas a realizar en la fecha aprobada en Junta de Escuela para la convocatoria ordinaria.

- **Evaluación por prueba global:**

1. Teoría (20%): test a realizar en la fecha aprobada en Junta de Escuela para la convocatoria ordinaria. La realización de esta prueba conlleva la renuncia a la nota obtenida en el bloque correspondiente de la evaluación progresiva, en caso de haberse realizado.
2. Laboratorio (30%). Se divide en dos partes:
  1. Prueba de laboratorio (20%): a realizar en un aula de prácticas en la fecha aprobada en Junta de Escuela para la convocatoria ordinaria. La realización de esta prueba conlleva la renuncia a la nota obtenida en la parte correspondiente de la evaluación progresiva, en

caso de haberse realizado.

2. Evaluación de las prácticas de laboratorio (10%).

- Si todas las prácticas fueron realizadas y, en su caso, entregadas en las fechas contempladas para la evaluación progresiva, la nota obtenida en aquella parte se trasladará íntegra a este apartado.
- Si no se hicieron las prácticas o se desea volver a hacer esta parte (previa renuncia a la nota obtenida en la evaluación progresiva), será necesario realizar y, en su caso, entregar las cinco prácticas de laboratorio previstas (cuatro en el aula de prácticas y una de introducción a realizar telemáticamente) en la fecha que se indique en Moodle con la debida antelación. Estas entregas serán evaluadas por el/la profesor/a de grupo correspondiente. En este caso, el/la estudiante tendrá una penalización del 50% en la calificación obtenida, por lo que solo podrá optar a la mitad de la nota reservada originalmente para esta parte, esto es, a un 5% del total de la asignatura en lugar de a un 10%.

3. Problemas (50%): examen de problemas a realizar en la fecha aprobada en Junta de Escuela para la convocatoria ordinaria.

### Convocatoria extraordinaria

• **Evaluación por prueba global:**

- Teoría (20%): test a realizar en la fecha aprobada en Junta de Escuela para la convocatoria extraordinaria.
- Laboratorio (30%). Se divide en dos partes:
  1. Prueba de laboratorio (20%): a realizar en un aula de prácticas en la fecha aprobada en Junta de Escuela para la convocatoria extraordinaria.
  2. Evaluación de las prácticas de laboratorio (10%).
    - Si todas las prácticas fueron realizadas y, en su caso, entregadas en las fechas contempladas para la evaluación progresiva, la nota obtenida en aquella parte se trasladará íntegra a este apartado.
    - Si no se hicieron las prácticas o se desea volver a hacer esta parte (previa renuncia a la nota obtenida en la convocatoria ordinaria), será necesario realizar y, en su caso, entregar las cinco prácticas de laboratorio previstas (cuatro en el aula de prácticas y una de introducción a realizar telemáticamente) en la fecha que se indique en Moodle con la debida antelación. Estas entregas serán evaluadas por el/la profesor/a de grupo correspondiente. En este caso, el/la estudiante tendrá una

penalización del 50% en la calificación obtenida, por lo que solo podrá optar a la mitad de la nota reservada originalmente para esta parte, esto es, a un 5% del total de la asignatura en lugar de a un 10%.

- Problemas (50%): examen de problemas a realizar en la fecha aprobada en Junta de Escuela para la convocatoria extraordinaria.

Adicionalmente, se especifican los siguientes criterios y pautas de evaluación:

### **Criterios generales de evaluación**

1. El/la estudiante deberá obtener una calificación mínima global de 5 puntos sobre 10 para poder superar la asignatura.
2. No existe nota mínima en ninguno de los apartados de ninguna de las modalidades de evaluación.
3. Si en una convocatoria se obtiene una nota de al menos 5 puntos sobre 10 en el bloque de laboratorio, se considerará que se han alcanzado los conocimientos mínimos y quedará liberado para todas las convocatorias futuras con la nota obtenida. Ni el bloque de teoría ni el de problemas se liberan en ningún caso, ni entre convocatorias ni entre cursos.
4. En la convocatoria ordinaria, cada bloque de la asignatura es independiente, de forma que un/a estudiante puede seguir (y, en su caso, superar) un bloque por evaluación progresiva y no hacer otro bloque dentro de la misma modalidad, presentándose directamente a la parte correspondiente de este último en la prueba global. En la convocatoria extraordinaria, para poder superar la asignatura, el/la estudiante deberá presentarse a las pruebas de todos los bloques, excepto a la correspondiente al laboratorio, en caso de tenerlo liberado. En caso de no hacerlo, obtendrá una calificación de 0 puntos en el apartado correspondiente.
5. La asignatura ha sido organizada para considerar el progreso del/de la estudiante a lo largo del semestre a través de diferentes actividades que le permitan alcanzar los resultados de aprendizaje previstos. Así, la evaluación será acumulativa, de forma que, según avance la asignatura, se evaluarán conocimientos adquiridos desde el primer día y hasta el momento en el que cada actividad de evaluación se lleve a cabo.
6. Las pruebas de teoría, problemas y laboratorio se realizarán de manera presencial en todas las modalidades de evaluación.
7. Todas las pruebas escritas deberán realizarse usando bolígrafo u otra herramienta similar con tinta azul o negra. En caso contrario (por ejemplo, si se realiza a lápiz), la prueba podrá ser evaluada con una calificación de 0 puntos.

### **Evaluación de teoría y problemas**

1. La asistencia a clase NO es obligatoria.
2. El formato exacto de los test de teoría se comunicará a los alumnos con la debida antelación usando el foro de la asignatura.
3. En los test y exámenes de problemas NO se permitirá el uso de teléfonos móviles, relojes inteligentes o similares, pero SÍ el de calculadoras.

### Evaluación en el laboratorio

1. La asistencia a las prácticas del laboratorio NO es obligatoria, pero el/la estudiante que no asista podrá perder total o parcialmente parte de la nota de evaluación de las prácticas (10% de la nota final) a discreción del/de la profesor/a de su grupo.
2. En los exámenes del laboratorio NO se permitirá el uso de teléfonos móviles, relojes inteligentes o similares, pero SÍ el de calculadoras.

### Estudiantes que tengan liberado el laboratorio

1. Para la evaluación de los bloques de teoría y problemas deberán realizar las mismas actividades que el resto de estudiantes, a menos que se indique expresamente lo contrario.
2. Los pesos aplicables en cada bloque serán los mismos que al resto de estudiantes.
3. Pueden volver a realizar las actividades correspondientes al bloque de laboratorio (prácticas y prueba) con el fin de subir nota. La nota final obtenida será la mayor entre la que obtuvo en el momento de liberarlo y la de la presente convocatoria.

## 8. Recursos didácticos

### 8.1. Recursos didácticos de la asignatura

Nombre	Tipo	Observaciones
Libro de Señales y Sistemas	Bibliografía	Alan V. Oppenheim and Alan S. Willsky , " Señales y Sistemas", Prentice- Hall Hispanoamericana , 2000.
Libro de Procesado de Señal	Bibliografía	Oppenheim, Schaffer, Buck. "Tratamiento de Señales en Tiempo Discreto", Prentice Hall, 2000.

Libro Alternativo de Procesado de Señal	Bibliografía	J.G. Proakis, D.G. Manolakis, "Tratamiento digital de señales. Principios, algoritmos y aplicaciones", Prentice Hall, 1997.
Material disponible en Moodle	Recursos web	Documentación, tutoriales de Matlab, exámenes resueltos de cursos pasados, etc.

## 9. Otra información

---

### 9.1. Otra información sobre la asignatura

La asignatura se relaciona directamente con el ODS9 y de forma indirecta con otros objetivos: ODS8, ODS11, ODS12, ODS13...