



CAMPUS  
DE EXCELENCIA  
INTERNACIONAL

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

**595000324 - Procesado digital de la señal**

### PLAN DE ESTUDIOS

59SC - Grado En Ingeniería De Sistemas De Telecomunicación

### CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2018/19 - Segundo semestre

## Índice

---

### Guía de Aprendizaje

|  |    |
|--|----|
| 1. Datos descriptivos.....                       | 1  |
| 2. Profesorado.....                              | 1  |
| 3. Conocimientos previos recomendados.....       | 2  |
| 4. Competencias y resultados de aprendizaje..... | 3  |
| 5. Descripción de la asignatura y temario.....   | 6  |
| 6. Cronograma.....                               | 8  |
| 7. Actividades y criterios de evaluación.....    | 10 |
| 8. Recursos didácticos.....                      | 12 |
| 9. Otra información.....                         | 13 |

## 1. Datos descriptivos

---

### 1.1. Datos de la asignatura

|                                    |  |
|------------------------------------|--|
| <b>Nombre de la asignatura</b>     | 595000324 - 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  |
| <b>Período de impartición</b>      | Febrero-Junio  |
| <b>Idioma de impartición</b>       | Castellano   |
| <b>Titulación</b>                  | 59SC - Grado en ingeniería de sistemas de telecomunicación                 |
| <b>Centro en el que se imparte</b> | 59 - Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación |
| <b>Curso académico</b>             | 2018-19  |

## 2. Profesorado

---

### 2.1. Profesorado implicado en la docencia

| <b>Nombre</b>                          | <b>Despacho</b> | <b>Correo electrónico</b>  | <b>Horario de tutorías *</b> |
|--|-----------------|----------------------------|------------------------------|
| Juan Carlos Gonzalez De Sande          | 7005            | juancarlos.gonzalez@upm.es | Sin horario.<br>Cita previa  |
| David Luengo Garcia<br>(Coordinador/a) | 7011            | david.luengo@upm.es        | Sin horario.<br>Cita previa  |
| Cesar Benavente Peces                  | 7007            | cesar.benavente@upm.es     | Sin horario.<br>Cita previa  |

|                                 |      |                       |                             |
|---------------------------------|------|-----------------------|-----------------------------|
| Victor Jose Osma Ruiz           | 7007 | v.osma@upm.es         | Sin horario.<br>Cita previa |
| Juan Ignacio Godino<br>Llorente | 7004 | ignacio.godino@upm.es | Sin horario.<br>Cita previa |
| Juan Jimenez Trillo             | 7010 | juan.jimenez@upm.es   | Sin horario.<br>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 de Sistemas de Telecomunicación 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

RA96 - Caracterizar y analizar matemáticamente en el dominio del tiempo señales y sistemas LTI de tiempo continuo y tiempo discreto

RA111 - Ser capaz de caracterizar distintos tipos de sistemas según su discriminación en frecuencia

RA98 - Caracterizar y analizar señales y sistemas LTI de tiempo discreto, en el dominio de la frecuencia y en los dominios transformados.

RA105 - Realizar un análisis en frecuencia de señales de tiempo discreto

RA101 - Realizar operaciones básicas con señales y funciones

RA102 - Realizar la convolución de señales

RA107 - Calcular el espectro de señales muestreadas idealmente

RA108 - Ser capaz de caracterizar sistemas LTI de tiempo discreto en el dominio del tiempo (respuesta al impulso y ecuación en diferencias lineales de coeficientes constantes) y dominios transformados (respuesta en frecuencia y función de sistema)

RA112 - Ser capaz de describir el diagrama de bloques de un sistema de procesado digital de señal en tiempo real enumerando los parámetros significativos de cada bloque.

RA120 - Relacionar la DFT con otras transformadas: Transformada de Fourier, Desarrollo en Series de Fourier.

RA124 - Relacionar la convolución lineal con la convolución circular.

RA127 - Emplear la DFT para el análisis espectral de secuencias.

RA133 - Describir las utilidades de un filtro digital.

RA128 - Describir las propiedades de la DFT en el análisis espectral de secuencias.

RA129 - Describir las características de la estimación espectral de secuencias con el espectro de la señal de tiempo continuo de la que provienen.

RA134 - Diferenciar los tipos de filtro digitales en función de las características de su respuesta al impulso: filtros FIR y filtros IIR.

RA143 - Caracterizar y describir matemáticamente filtros IIR.

RA100 - Análisis y caracterización de señales en tiempo discreto

RA135 - Describir los métodos básicos para el diseño de filtros FIR.

RA156 - Manejar herramientas matemáticas de análisis y diseño de sistemas de tiempo discreto.

RA123 - Describir, desarrollar y aplicar los métodos de convolución lineal para secuencias de duración larga.

RA153 - Determinar los parámetros de un interpolador.

RA151 - Definir un sistema multitasa.

RA154 - Determinar los parámetros de un diezmador.

RA115 - Relacionar los sistemas de tiempo continuo y los sistemas de tiempo discreto en el dominio del tiempo.

RA137 - Describir los filtros FIR de fase lineal.

RA106 - Caracterizar matemáticamente la operación de muestreo de señales de tiempo continuo

- RA113 - Relacionar las señales de tiempo continuo y las señales de tiempo discreto en el dominio del tiempo.
- RA119 - Definir la Transformada Discreta de Fourier (DFT).
- RA122 - Relacionar la convolución circular con la DFT.
- RA126 - Aplicar la DFT al caso de la convolución lineal con una secuencia de duración larga.
- RA132 - Definir qué es un filtro digital.
- RA114 - Relacionar las señales de tiempo continuo y las señales de tiempo discreto en el dominio de la frecuencia.
- RA116 - Relacionar los sistemas de tiempo continuo y los sistemas de tiempo discreto en el dominio de la frecuencia.
- RA121 - Determinar la convolución circular de secuencias.
- RA125 - Relacionar la convolución lineal con la DFT.
- RA136 - Caracterizar y describir matemáticamente filtros FIR.
- RA138 - Diferenciar los diferentes tipos de filtros FIR de fase lineal.
- RA141 - Diseñar filtros FIR mediante el método de la ventana.
- RA142 - Describir los principios del método de muestreo en frecuencia de diseño de filtros FIR y relacionarlo con la DFT.
- RA144 - Diseñar filtros IIR mediante el método de la Transformación Invariante de Impulso.
- RA145 - Diseñar filtros IIR mediante el método de la Transformación Bilineal.
- RA146 - Describir las diferencias, ventajas, inconvenientes y criterios de selección del método para el diseño de un filtro digital.
- RA150 - Representar el diagrama de flujo de filtros digitales en sus formas básicas.
- RA152 - Plantear la solución a problemas de cambio de velocidad de muestreo.
- RA155 - Aplicar el cambio racional de la velocidad de muestreo a la solución de problemas.
- RA103 - Determinar la relación entre las diferentes formas de caracterizar sistemas LTI

## 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 muestra el diagrama de bloques utilizado para tomar muestras de una señal continua con el fin de procesarla en un microprocesador digital, se revisa teorema de muestreo, se discute como diseñar un sistema discreto para que sea equivalente a otro continuo dado (y viceversa), 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 de filtros selectivos en frecuencia.** En este tema se proporcionan mecanismos de diseño 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 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 en la práctica (tanto en hardware como en software).

Además de estos tres temas, la asignatura dispone de un laboratorio (5 prácticas de simulación realizadas con Matlab) 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. Introducción al análisis espectral mediante la DFT
  - 2.4. Filtrado de señales mediante la DFT
3. Diseño 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. Estructuras para la implementación de filtros digitales

## 6. Cronograma

### 6.1. Cronograma de la asignatura \*

| Sem | Actividad presencial en aula   | Actividad presencial en laboratorio   | Otra actividad presencial   | Actividades de evaluación   |
|-----|--|---|---|---|
| 1   | <b>Clase en Aula (Introducción)</b><br>Duración: 03:00<br>LM: Actividad del tipo Lección Magistral |   |   |   |
| 2   | <b>Clase en Aula (Tema 1)</b><br>Duración: 03:00<br>LM: Actividad del tipo Lección Magistral       |   |   |   |
| 3   | <b>Clase en Aula (Tema 1)</b><br>Duración: 03:00<br>LM: Actividad del tipo Lección Magistral       | <b>Práctica de Laboratorio con Matlab</b><br>Duración: 01:00<br>PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio |   |   |
| 4   |  | <b>Práctica de Laboratorio con Matlab</b><br>Duración: 01:00<br>PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio | <b>Problemas del Tema 1</b><br>Duración: 03:00<br>PR: Actividad del tipo Clase de Problemas |   |
| 5   | <b>Clase en Aula (Tema 2)</b><br>Duración: 02:30<br>LM: Actividad del tipo Lección Magistral       | <b>Práctica de Laboratorio con Matlab</b><br>Duración: 01:00<br>PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio |   | <b>Test del Tema 1</b><br>EX: Técnica del tipo Examen Escrito<br>Evaluación continua<br>Duración: 00:30                     |
| 6   | <b>Clase en Aula (Tema 2)</b><br>Duración: 02:00<br>LM: Actividad del tipo Lección Magistral       | <b>Práctica de Laboratorio con Matlab</b><br>Duración: 01:00<br>PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio |   |   |
| 7   | <b>Clase en Aula (Tema 2)</b><br>Duración: 02:00<br>LM: Actividad del tipo Lección Magistral       |   |   | <b>Examen Parcial del Laboratorio</b><br>EP: Técnica del tipo Examen de Prácticas<br>Evaluación continua<br>Duración: 01:00 |
| 8   |  | <b>Práctica de Laboratorio con Matlab</b><br>Duración: 01:00<br>PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio | <b>Problemas del Tema 2</b><br>Duración: 02:00<br>PR: Actividad del tipo Clase de Problemas |   |
| 9   | <b>Clase en Aula (Tema 3)</b><br>Duración: 01:30<br>LM: Actividad del tipo Lección Magistral       | <b>Práctica de Laboratorio con Matlab</b><br>Duración: 01:00<br>PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio |   | <b>Test de los Temas 1 y 2</b><br>EX: Técnica del tipo Examen Escrito<br>Evaluación continua<br>Duración: 00:30             |
| 10  | <b>Clase en Aula (Tema 3)</b><br>Duración: 02:00<br>LM: Actividad del tipo Lección Magistral       | <b>Práctica de Laboratorio con Matlab</b><br>Duración: 01:00<br>PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio |   |   |
| 11  | <b>Clase en Aula (Tema 3)</b><br>Duración: 02:00<br>LM: Actividad del tipo Lección Magistral       | <b>Práctica de Laboratorio con Matlab</b><br>Duración: 01:00<br>PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio |   |   |

|    |  |   |   |   |
|----|--|---|---|---|
| 12 |  | <b>Práctica de Laboratorio con Matlab</b><br>Duración: 01:00<br>PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio | <b>Problemas del Tema 3</b><br>Duración: 02:00<br>PR: Actividad del tipo Clase de Problemas |   |
| 13 | <b>Clase en Aula (Tema 3)</b><br>Duración: 02:00<br>LM: Actividad del tipo Lección Magistral | <b>Práctica de Laboratorio con Matlab</b><br>Duración: 01:00<br>PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio |   |   |
| 14 |  |   | <b>Problemas del Tema 3</b><br>Duración: 01:30<br>PR: Actividad del tipo Clase de Problemas | <b>Examen Final de Laboratorio</b><br>EP: Técnica del tipo Examen de Prácticas<br>Evaluación continua<br>Duración: 01:00<br><br><b>Test de los Temas 1-3</b><br>EX: Técnica del tipo Examen Escrito<br>Evaluación continua<br>Duración: 00:30   |
| 15 |  |   |   |   |
| 16 |  |   |   |   |
| 17 |  |   |   | <b>Examen Final de Evaluación Continua</b><br>EX: Técnica del tipo Examen Escrito<br>Evaluación continua<br>Duración: 02:00<br><br><b>Examen para Alumnos que soliciten Evaluación sólo mediante Prueba Final</b><br>EX: Técnica del tipo Examen Escrito<br>Evaluación sólo prueba final<br>Duración: 05:00 |

Las horas de actividades formativas no presenciales son aquellas que el estudiante debe dedicar al estudio o al trabajo personal.

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.

## 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                                   |
|------|-------------------------------------|--|------------|----------|-----------------|-------------|--|
| 5    | Test del Tema 1                     | EX: Técnica del tipo Examen Escrito      | Presencial | 00:30    | 4%              | / 10        | CE B4<br>CE TEL04<br>CE TEL08                            |
| 7    | Examen Parcial del Laboratorio      | EP: Técnica del tipo Examen de Prácticas | Presencial | 01:00    | 12%             | / 10        | CE B4<br>CE TEL04<br>CE TEL08<br>CG 02<br>CG 03<br>CG 04 |
| 9    | Test de los Temas 1 y 2             | EX: Técnica del tipo Examen Escrito      | Presencial | 00:30    | 6%              | / 10        | CE B4<br>CE TEL04<br>CE TEL08                            |
| 14   | Examen Final de Laboratorio         | EP: Técnica del tipo Examen de Prácticas | Presencial | 01:00    | 18%             | / 10        | CE B4<br>CE TEL04<br>CE TEL08<br>CG 02<br>CG 03<br>CG 04 |
| 14   | Test de los Temas 1-3               | EX: Técnica del tipo Examen Escrito      | Presencial | 00:30    | 10%             | / 10        | CE B4<br>CE TEL04<br>CE TEL08                            |
| 17   | Examen Final de Evaluación Continua | EX: Técnica del tipo Examen Escrito      | Presencial | 02:00    | 50%             | / 10        | CE B4<br>CE TEL04<br>CE TEL08<br>CG 02<br>CG 03<br>CG 04 |

#### 7.1.2. Evaluación sólo prueba final

| Sem | Descripción   | Modalidad                           | Tipo          | Duración | Peso en la nota | Nota mínima | Competencias evaluadas                                   |
|-----|---|-------------------------------------|---------------|----------|-----------------|-------------|--|
| 17  | Examen para Alumnos que soliciten Evaluación sólo mediante Prueba Final | EX: Técnica del tipo Examen Escrito | No Presencial | 05:00    | 100%            | / 10        | CE B4<br>CE TEL04<br>CE TEL08<br>CG 02<br>CG 03<br>CG 04 |

### 7.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

No se ha definido la evaluación extraordinaria.

## 7.2. Criterios de evaluación

La **Evaluación Continua** consta de los siguientes apartados:

- 1) 3 Test de teoría en el aula (con pesos del 4 %, 6 % y 10 % respectivamente).
- 2) 2 Exámenes de Laboratorio en el aula de prácticas (con pesos del 12 % y 18 % respectivamente).
- 3) 1 Examen Final de problemas (con peso del 50 %).

En cuanto a la **Evaluación sólo por Prueba Final**, esta constará única y exclusivamente del examen final. Dicho examen estará compuesto por tres apartados:

- 1) Test de teoría (20 %).
- 2) Examen de laboratorio en el aula de prácticas (30 %).
- 3) Examen de problemas (50 %).

Por último, el examen correspondiente a la **Evaluación Extraordinaria** tendrá exactamente la misma estructura y pesos que el examen correspondiente a la Evaluación sólo por Prueba Final.

Respecto a todas las evaluaciones, es importante hacer las siguientes aclaraciones:

1) No existe nota mínima para superar la asignatura en ninguno de los apartados de ninguna de las modalidades de evaluación.

2) Los alumnos que decidan llevar a cabo la evaluación sólo por prueba final, deberán notificarlo en el plazo y forma fijados al principio del curso.

3) Habiendo superado el laboratorio con una nota mínima de 5,0 puntos sobre 10, se considerará liberado para todas las convocatorias futuras. La teoría no se libera en ningún caso.

## 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. |

## 9. Otra información

---

### 9.1. Otra información sobre la asignatura

La **asistencia a clase** será **obligatoria** para aquellos alumnos que deseen seguir la **evaluación continua**. Esto implica lo siguiente:

- 1) **Laboratorio:** Aquellos alumnos que falten a una práctica de manera justificada deberán recuperarla. En caso contrario, su nota del laboratorio será un cero.
- 2) **Clases de Teoría:** Aquellos alumnos que falten a más del 20 % de las clases de teoría perderán la nota de los test de evaluación continua.