



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

595300025 - Procesado Digital De La Señal

PLAN DE ESTUDIOS

59ET - Doble Grado En Ing.Electronica De Comunicaciones Y En Ing.Telematica

CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2023/24 - Segundo semestre

Índice

Guía de Aprendizaje

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

1. Datos descriptivos

1.1. Datos de la asignatura

| | |
|--|---|
| Nombre de la asignatura | 595300025 - Procesado Digital de la Señal |
| No de créditos | 4.5 ECTS |
| Carácter | Obligatoria |
| Curso | Tercero curso |
| Semestre | Quinto semestre Sexto semestre |
| Período de impartición | Febrero-Junio |
| Idioma de impartición | Castellano |
| Titulación | 59ET - Doble Grado en Ing.electronica de Comunicaciones y en Ing.telematica |
| Centro responsable de la titulación | 59 - Escuela Tecnica Superior De Ingenieria Y Sistemas De Telecomunicacion |
| Curso académico | 2023-24 |

2. Profesorado

2.1. Profesorado implicado en la docencia

| Nombre | Despacho | Correo electrónico | Horario de tutorías * |
|--------------------------------------|-----------------|-----------------------------|------------------------------|
| Jose Enrique Gonzalez Garcia | D8415 | joseenrique.gonzalez@upm.es | Sin horario. Cita previa |
| Cesar Diaz Martin (Coordinador/a) | D8210 | cesar.diazm@upm.es | Sin horario. Cita previa |

| | | | |
|-------------------------------|-------|----------------------------|-----------------------------|
| Juan Carlos Gonzalez De Sande | A7005 | juancarlos.gonzalez@upm.es | Sin horario. Cita previa |
| Jose Manuel Pardo Martin | D8414 | josemanuel.pardo@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. Competencias y resultados de aprendizaje

3.1. 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.

3.2. Resultados del aprendizaje

RA863 - Describir y calcular la DFT de una señal, así como conocer sus propiedades principales

RA865 - Realizar un análisis espectral de una señal mediante la DFT

RA859 - Caracterizar, analizar y relacionar señales y sistemas LTI en tiempo continuo y discreto tanto en el dominio del tiempo como de la frecuencia

RA868 - Diseñar y analizar filtros digitales IIR selectivos en frecuencia

RA867 - Diseñar y analizar filtros digitales FIR selectivos en frecuencia

RA861 - Describir y caracterizar la operación de muestreo de señales

RA864 - Relacionar la DFT con la transformada de Fourier y el desarrollo en serie de Fourier

RA870 - Relacionar las diferentes formas de caracterizar sistemas LTI

RA860 - Describir y analizar un sistema de procesamiento digital de señales continuas

RA862 - Realizar un cambio de la velocidad de muestreo del sistema en dominio discreto

RA866 - Realizar un filtrado de una señal mediante la DFT

RA869 - Conocer las principales estructuras utilizadas para la construcción de filtros digitales

4. Descripción de la asignatura y temario

4.1. 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.

4.2. 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

5. Cronograma

5.1. Cronograma de la asignatura *

| Sem | Actividad en aula | Actividad en laboratorio | Tele-enseñanza | Actividades de evaluación |
|-----|--|---|----------------|---|
| 1 | Presentación y revisión Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral Tema 1 - Muestreo Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral | | | |
| 2 | Tema 1 - Equivalencia de sistemas Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral Tema 1 - Interpolación y Diezmado Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral | | | |
| 3 | Tema 1 - Conversores analógico-digitales reales Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral Problemas del Tema 1 Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas | | | Evaluación Práctica 0 EP: Técnica del tipo Examen de Prácticas Evaluación continua Presencial Duración: 00:00 |
| 4 | Tema 2 - DFT & IDFT Duración: 01:30 LM: Actividad del tipo Lección Magistral | Práctica 1 de Laboratorio con Matlab Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio | | Evaluación Práctica 1 EP: Técnica del tipo Examen de Prácticas Evaluación continua Presencial Duración: 00:00 Test de teoría - Tema 1 EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Presencial Duración: 00:30 |
| 5 | Tema 2 - Análisis Espectral Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral | | | |
| 6 | Tema 2 - Filtrado Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral | Práctica 2 de Laboratorio con Matlab Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio | | Evaluación Práctica 2 EP: Técnica del tipo Examen de Prácticas Evaluación continua Presencial Duración: 00:00 |
| 7 | Problemas del Tema 2 Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas | | | |

| | | | | |
|----|---|---|--|--|
| 8 | Tema 3 - Introducción al filtrado Duración: 01:30 LM: Actividad del tipo Lección Magistral | Práctica 3 de Laboratorio con Matlab Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio | | Test de teoría - Temas 1 y 2 EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Presencial Duración: 00:30 Evaluación Práctica 3 EP: Técnica del tipo Examen de Prácticas Evaluación continua Presencial Duración: 00:00 |
| 9 | Tema 3 - Diseño de filtros FIR Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral | | | |
| 10 | Tema 3 - Diseño de filtros IIR Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral | Práctica 4 de Laboratorio con Matlab Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio | | Evaluación Práctica 4 EP: Técnica del tipo Examen de Prácticas Evaluación continua Presencial Duración: 00:00 |
| 11 | Tema 3 - Análisis de filtros Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral | | | |
| 12 | Tema 3 - Estructuras Duración: 01:30 LM: Actividad del tipo Lección Magistral | | | Test de teoría - Temas 1, 2 y 3 EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Presencial Duración: 00:30 |
| 13 | Problemas del Tema 3 Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas | | | Prueba global laboratorio EP: Técnica del tipo Examen de Prácticas Evaluación continua Presencial Duración: 01:00 |
| 14 | | | | |
| 15 | | | | |
| 16 | | | | |
| 17 | | | | Prueba global teoría EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación sólo prueba final Presencial Duración: 01:00 Prueba global problemas EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua y sólo prueba final Presencial Duración: 02:00 |

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.

6. Actividades y criterios de evaluación

6.1. Actividades de evaluación de la asignatura

6.1.1. Evaluación (progresiva)

| Sem. | Descripción | Modalidad | Tipo | Duración | Peso en la nota | Nota mínima | Competencias evaluadas |
|------|---------------------------------|--|------------|----------|-----------------|-------------|--|
| 3 | Evaluación Práctica 0 | EP: Técnica del tipo Examen de Prácticas | Presencial | 00:00 | 2% | / 10 | CE B4 CE TEL04 CG 04 |
| 4 | Evaluación Práctica 1 | EP: Técnica del tipo Examen de Prácticas | Presencial | 00:00 | 2% | / 10 | CG 04 CE B4 CE TEL04 |
| 4 | Test de teoría - Tema 1 | EX: Técnica del tipo Examen Escrito | Presencial | 00:30 | 4% | / 10 | CG 02 CG 03 CG 04 CE B4 CE TEL04 CE TEL08 |
| 6 | Evaluación Práctica 2 | EP: Técnica del tipo Examen de Prácticas | Presencial | 00:00 | 2% | / 10 | CG 04 CE B4 CE TEL04 |
| 8 | Test de teoría - Temas 1 y 2 | EX: Técnica del tipo Examen Escrito | Presencial | 00:30 | 6% | / 10 | CG 02 CG 03 CG 04 CE B4 CE TEL04 CE TEL08 |
| 8 | Evaluación Práctica 3 | EP: Técnica del tipo Examen de Prácticas | Presencial | 00:00 | 2% | / 10 | CE B4 CE TEL04 CG 04 |
| 10 | Evaluación Práctica 4 | EP: Técnica del tipo Examen de Prácticas | Presencial | 00:00 | 2% | / 10 | CG 04 CE B4 CE TEL04 |
| 12 | Test de teoría - Temas 1, 2 y 3 | EX: Técnica del tipo Examen Escrito | Presencial | 00:30 | 10% | / 10 | CG 02 CG 03 CG 04 CE B4 CE TEL04 CE TEL08 |

| | | | | | | | |
|----|---------------------------|--|------------|-------|-----|------|--|
| 13 | Prueba global laboratorio | EP: Técnica del tipo Examen de Prácticas | Presencial | 01:00 | 20% | / 10 | CG 04 CE B4 CE TEL04 |
| 17 | Prueba global problemas | EX: Técnica del tipo Examen Escrito | Presencial | 02:00 | 50% | / 10 | CG 02 CG 03 CG 04 CE B4 CE TEL04 CE TEL08 |

6.1.2. Prueba evaluación global

| Sem | Descripción | Modalidad | Tipo | Duración | Peso en la nota | Nota mínima | Competencias evaluadas |
|-----|-------------------------|-------------------------------------|------------|----------|-----------------|-------------|--|
| 17 | Prueba global teoría | EX: Técnica del tipo Examen Escrito | Presencial | 01:00 | 20% | / 10 | CG 02 CG 03 CG 04 CE B4 CE TEL04 CE TEL08 |
| 17 | Prueba global problemas | EX: Técnica del tipo Examen Escrito | Presencial | 02:00 | 50% | / 10 | CG 02 CG 03 CG 04 CE B4 CE TEL04 CE TEL08 |

6.1.3. 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 | CG 02 CG 03 CG 04 CE B4 CE TEL04 CE TEL08 |
| Prueba global teoría | EX: Técnica del tipo Examen Escrito | Presencial | 01:00 | 20% | / 10 | CG 02 CG 03 CG 04 CE B4 CE TEL04 CE TEL08 |

| | | | | | | |
|---------------------------|--|------------|-------|-----|------|--|
| Prueba global laboratorio | EP: Técnica del tipo Examen de Prácticas | Presencial | 01:00 | 30% | / 10 | CG 02 CG 03 CG 04 CE B4 CE TEL04 CE TEL08 |
|---------------------------|--|------------|-------|-----|------|--|

6.2. Criterios de evaluación

La asignatura se divide en tres bloques: teoría, problemas y laboratorio. La modalidad de evaluación que seguirá la asignatura durante la convocatoria ordinaria es de tipo progresivo.

A continuación se muestra el esquema de evaluación general, que incluye la descripción de las actividades a realizar en cada bloque y sus pesos específicos en ambas convocatorias.

En la **convocatoria ordinaria**, la distribución es la siguiente:

- **Bloque de teoría**

El bloque de teoría tiene un peso del 20% en la nota final y se evalúa mediante la realización de exámenes tipo test. Estas pruebas incluyen cuestiones de opción múltiple tanto de índole más conceptual como más práctica (respuesta numérica).

Durante el semestre, se realizan tres test en el aula, uno al término de cada tema principal de la asignatura, que pueden incluir preguntas relacionadas tanto con el tema recién acabado como con los temas anteriores. Para tener en cuenta que la evaluación es acumulativa, el peso de cada test es distinto: 4% el primero, 6% el segundo y 10% el tercero.

Por otro lado, el día de la prueba global es posible realizar un único test que incluya preguntas relacionadas con el temario completo de la asignatura. A este examen pueden optar tanto alumnos que no se presentaron a los test realizados a lo largo del semestre como aquellos que sí lo hicieron pero no están satisfechos con la nota promedio que obtuvieron en este bloque. En el segundo caso, la nota final del bloque será la mayor entre la obtenidas durante el semestre y este nuevo intento.

- **Bloque de problemas**

El bloque de problemas tiene un peso del 50% en la nota final y se evalúa mediante un examen de problemas basado en la resolución de ejercicios prácticos de estructura y dificultad similar a los que se proponen y realizan durante el curso. Este bloque se evalúa únicamente a través de esta prueba a realizar el día del examen global.

- **Bloque de laboratorio**

El bloque de laboratorio tiene un peso del 30% en la nota final y se divide en dos partes:

- Examen de laboratorio (20%): a realizar al final del semestre en un aula informática (la fecha exacta dependerá de a qué grupo de laboratorio se pertenezca y se indicará en Moodle con la debida antelación). Por razones de organización, esta prueba únicamente se podrá realizar el día indicado para cada grupo de laboratorio. **NO se realizarán pruebas relacionadas con el laboratorio el día del examen global.**
- Evaluación de las prácticas de laboratorio (10%): la Práctica 0 se realiza y evalúa de forma telemática a través de la herramienta MATLAB Grader. El resto de prácticas se evalúan de la siguiente manera: en el último tramo de la sesión correspondiente a cada práctica, se planteará un pequeño ejercicio relacionado con la misma, que se entregará al finalizar la sesión. Todas las prácticas tienen el mismo peso en la nota final: un 2%.

En la **convocatoria extraordinaria**, la distribución es de la siguiente manera:

- **Bloque de teoría**

El bloque de teoría tiene un peso del 20% en la nota final y se evaluará mediante un único test que incluya cuestiones de opción múltiple tanto de índole más conceptual como más práctica (respuesta numérica) relacionadas con el temario completo de la asignatura.

- **Bloque de problemas**

El bloque de problemas tiene un peso del 50% en la nota final y se evalúa mediante un examen de problemas basado en la resolución de ejercicios prácticos de estructura y dificultad similar a los que se proponen y realizan durante el curso.

- **Bloque de laboratorio**

El bloque de laboratorio tiene un peso del 30% en la nota final y se evalúa mediante un único examen de programación que agrupa todo el peso del bloque.

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 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 entre cursos.
4. Cada bloque de la asignatura es independiente de los demás y liberable entre convocatorias. Es decir, se podrá conservar la nota obtenida en un bloque en la convocatoria ordinaria a la hora de realizar la extraordinaria, no siendo por tanto necesario volver a presentarse a este bloque. Es posible en cualquier caso volver a presentarse a cada bloque, si así se desea, obteniéndose como nota final la mayor entre la nota de la convocatoria ordinaria y el nuevo intento.
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.

7. Recursos didácticos

7.1. 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. |
|-------------------------------|--------------|---|

8. Otra información

8.1. Otra información sobre la asignatura

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