



UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA  
DE MADRID

PROCESO DE  
COORDINACIÓN DE LAS  
ENSEÑANZAS PR/CL/001



E.T.S. de Ingenieros de  
Telecomunicacion

# ANX-PR/CL/001-01

## GUÍA DE APRENDIZAJE

### ASIGNATURA

**95000042 - Transmision Digital**

### PLAN DE ESTUDIOS

09TT - Grado En Ingenieria De Tecnologias Y Servicios De Telecomunicacion

### CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2021/22 - Primer 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.....	4
6. Cronograma.....	7
7. Actividades y criterios de evaluación.....	10
8. Recursos didácticos.....	12
9. Otra información.....	12

## 1. Datos descriptivos

---

### 1.1. Datos de la asignatura

<b>Nombre de la asignatura</b>	95000042 - Transmision Digital
<b>No de créditos</b>	6 ECTS
<b>Carácter</b>	Optativa
<b>Curso</b>	Cuarto curso
<b>Semestre</b>	Séptimo semestre
<b>Período de impartición</b>	Septiembre-Enero
<b>Idioma de impartición</b>	Castellano
<b>Titulación</b>	09TT - Grado en Ingenieria de Tecnologias y Servicios de Telecomunicacion
<b>Centro responsable de la titulación</b>	09 - Escuela Tecnica Superior De Ingenieros De Telecomunicacion
<b>Curso académico</b>	2021-22

## 2. Profesorado

---

### 2.1. Profesorado implicado en la docencia

<b>Nombre</b>	<b>Despacho</b>	<b>Correo electrónico</b>	<b>Horario de tutorías *</b>
Santiago Zazo Bello	C-326	santiago.zazo@upm.es	Sin horario. Concertar cita por correo electrónico
Jose Ignacio Ronda Prieto (Coordinador/a)	C-323	joseignacio.ronda@upm.es	Sin horario. Concertar cita por correo electrónico

Juan Parras Moral		j.parras@upm.es	Sin horario. Concertar cita por correo electrónico
-------------------	--	-----------------	--

\* 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

- Teoria De La Comunicacion
- SeÑales Y Sistemas
- SeÑales Aleatorias
- Teoria De La Informacion
- Tratamiento Digital De SeÑales
- Sistemas De Transmision

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

El plan de estudios Grado en Ingenieria de Tecnologias y Servicios de Telecomunicacion no tiene definidos otros conocimientos previos para esta asignatura.

## 4. Competencias y resultados de aprendizaje

---

### 4.1. Competencias

CE-ST2 - 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

CE-ST3 - Capacidad de análisis de componentes y sus especificaciones para sistemas de comunicaciones guiadas y no guiadas

CG1 - Que los estudiantes hayan demostrado poseer y comprender conocimientos en un área de estudio que parte de la base de la educación secundaria general, y se suele encontrar a un nivel que, si bien se apoya en libros de texto avanzados, incluye también algunos aspectos que implican conocimientos procedentes de la vanguardia de su campo de estudio

CG2 - Que los estudiantes sepan aplicar sus conocimientos a su trabajo o vocación de una forma profesional y posean las competencias que suelen demostrarse por medio de la elaboración y defensa de argumentos y la resolución de problemas dentro de su área de estudio

### 4.2. Resultados del aprendizaje

RA431 - Conocer la transmisión en espectro ensanchado mediante modulación por secuencia directa: Concepto de ganancia de codificación. Detección multiusuario según los criterios ZF, MMSE.

RA425 - Conocer la arquitectura básica, tipos y prestaciones básicas de un sistema de comunicaciones.

RA427 - Conocer los fundamentos de la codificación de canal: Codificadores bloque y convolucionales. Estrategia de decodificación basada en el algoritmo de Viterbi. Modernos esquemas de codificación tipo turbo-códigos.

RA430 - Conocer los aspectos básicos de la modulación OFDM. Representación del proceso de modulación / demodulación en tiempo discreto. Transmisión en canales dispersivos. Efecto del prefijo cíclico. Modelado matricial. Problemática de la igualación.

RA429 - Estar familiarizado con la metodología de igualación: criterio ZF, MMSE. Arquitecturas lineales y realimentadas. Fundamentos de igualación adaptativa.

RA433 - Dominar los conceptos de la comunicación MIMO punto a punto: conformación de haz, codificación

espacio ? tiempo y multiplexación espacial.

RA434 - Conocer la metodología de las modulaciones básicas, lineales y no lineales: Detectores óptimos y cálculo de detectores óptimos en ruido gaussiano. Análisis de prestaciones (BER, SNR). Detección de máxima verosimilitud.

RA428 - Conocer el planteamiento de la detección de modulaciones con memoria: fase continua y modulaciones codificadas en rejilla.

RA432 - Estar familiarizado con los fundamentos de la comunicación con múltiples antenas: Concepto de capacidad.

## 5. Descripción de la asignatura y temario

---

### 5.1. Descripción de la asignatura

La asignatura es una introducción a las modulaciones digitales, abarcando las más importantes en la teoría y en la práctica, con énfasis en los procesos de codificación, decodificación e igualación de canal.

El enfoque es el estándar en esta área clásica de las tecnologías de la comunicación, basando el análisis en un modelo matemático de las señales y el canal, que hace abstracción de los procesos físicos subyacentes.

### 5.2. Temario de la asignatura

#### 1. Receptores óptimos

1.1. Introducción. Modelo de sistema de transmisión digital.

1.2. Modelo de sistema de transmisión en banda base y paso banda. Representación paso bajo equivalente: señal, canal, ruido.

1.3. Señales de energía finita.

1.4. Receptor óptimo de símbolos aislados equiprobables en ruido blanco gaussiano. Filtro adaptado.

1.5. Condición de no interferencia entre símbolos (IES). Ancho de banda mínimo. Canal discreto equivalente sin IES.

#### 2. Análisis de prestaciones

2.1. Acotación de la probabilidad de error en ausencia de IES mediante la cota de la unión.

2.2. Modulaciones básicas: M-PAM, M-QAM, M-PSK, FSK. Prestaciones.

- 2.3. Capacidad del canal gaussiano.
- 2.4. Comparación capacidad vs prestaciones. Efecto de la codificación de canal.
- 3. Modulaciones con memoria
  - 3.1. Modulaciones con memoria.
  - 3.2. Detección óptima de modulaciones con memoria. Algoritmo de Viterbi
  - 3.3. Análisis de prestaciones de modulaciones con memoria
  - 3.4. Modulaciones CPFSK
- 4. Codificación
  - 4.1. Introducción. Decodificación dura y decodificación suave.
  - 4.2. Códigos convolucionales
  - 4.3. Turbocódigos
  - 4.4. Modulaciones codificadas en rejilla
- 5. Detección en canales con interferencia intersimbólica
  - 5.1. Introducción y fundamentos
  - 5.2. Detección de secuencia de máxima verosimilitud. Algoritmo de Viterbi
  - 5.3. Arquitecturas lineales. Criterios ZF y MMSE
  - 5.4. Arquitecturas realimentadas (DFE)
  - 5.5. Igualación con filtros FIR y criterio MMSE: soluciones bloque, iterativa y adaptativa
- 6. Modulaciones multiportadora
  - 6.1. Introducción y fundamentos
  - 6.2. Análisis en el dominio del tiempo continuo
  - 6.3. Análisis en el dominio del tiempo discreto
  - 6.4. Transmisión en canales con interferencia intersimbólica
  - 6.5. Igualación y estima del canal
  - 6.6. Conocimiento del canal en el transmisor
- 7. Modulaciones en espectro ensanchado por secuencia directa
  - 7.1. Introducción. Acceso múltiple. Fundamentos
  - 7.2. Análisis del canal AWGN
  - 7.3. Análisis del canal con ISI: procesador RAKE, detectores multiusuario

#### 7.4. Generación de códigos de ensanchamiento

### 8. Comunicaciones con múltiples antenas

#### 8.1. Introducción. Conceptos de diversidad / multiplexación espacial

#### 8.2. Modelo de canal MIMO

#### 8.3. Capacidad del canal MIMO

#### 8.4. Conformación de haz

#### 8.5. Diversidad en recepción y codificación espacio ? tiempo

#### 8.6. Multiplexación espacial



## 6. Cronograma

### 6.1. Cronograma de la asignatura \*

Sem	Actividad presencial en aula	Actividad presencial en laboratorio	Tele-enseñanza	Actividades de evaluación
1	<b>Tema 1</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
	<b>Tema 1</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
2	<b>Tema 1</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
	<b>Tema 1</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
3	<b>Tema 1</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
	<b>Tema 2</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
4	<b>Tema 2</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
	<b>Tema 3</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
5	<b>Tema 3</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
	<b>Temas 3 y 4</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
6	<b>Tema 4</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
7	<b>Tema 4</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
	<b>Tema 4</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			

8	<b>Tema 5</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
9	<b>Tema 5</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Tema 5</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			<b>Examen parcial</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Presencial Duración: 02:00
10	<b>Tema 5</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Tema 5</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
11	<b>Tema 6</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
12	<b>Tema 6</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas  <b>Tema 7</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
13	<b>Tema 7</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Tema 7</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
14	<b>Tema 8</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Clase de problemas</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
15				
16				
17				<b>Examen parcial</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Presencial Duración: 02:00  <b>Examen final</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación sólo prueba final Presencial Duración: 04:00

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
9	Examen parcial	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:00	50%	3.5 / 10	CG1 CG2 CE-ST2 CE-ST3
17	Examen parcial	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:00	50%	3.5 / 10	CG2 CE-ST2 CE-ST3 CG1

#### 7.1.2. Evaluación sólo prueba final

Sem	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
17	Examen final	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	04:00	100%	5 / 10	CG1 CG2 CE-ST2 CE-ST3

#### 7.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
Examen extraordinario	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	04:00	100%	5 / 10	CG1 CG2 CE-ST2 CE-ST3

## 7.2. Criterios de evaluación

Los estudiantes serán evaluados, por defecto, mediante evaluación continua. El estudiante que desee renunciar a la evaluación continua y optar a la evaluación por prueba final (formada por una o más actividades de evaluación global de la asignatura) deberá completar en el Moodle de la asignatura la tarea titulada "Renuncia a la evaluación continua" antes de la semana 8 del semestre.

La evaluación comprobará si los estudiantes han adquirido las competencias de la asignatura. Por tanto, la evaluación mediante prueba final usará los mismos tipos de técnicas evaluativas que se usan en la evaluación continua (EX, ET, TG, etc.), y se realizarán en las fechas y horas de evaluación final aprobadas por la Junta de Escuela para el presente curso y semestre, salvo aquellas actividades de evaluación de resultados del aprendizaje de difícil calificación en una prueba final. En este caso, se podrán realizar dichas actividades de evaluación a lo largo del curso.

La evaluación en la convocatoria extraordinaria se realizará exclusivamente a través del sistema de prueba final.

Modalidad de evaluación continua:

NOTA FINAL = 50% examen caps. 1, 2, 3 y 4 + 50% examen caps. 5, 6, 7 y 8.

Es necesario obtener al menos 3.5 puntos sobre 10 en cada uno de los dos exámenes y 5.0 de nota media. Quienes no hayan alcanzado la calificación de 5.0 en el primer parcial pueden volver a presentarse a éste junto con el segundo parcial. La entrega del examen implica la renuncia a la nota anterior.

Modalidad de examen final y en convocatoria extraordinaria:

NOTA FINAL = 50% parte del examen correspondiente a los caps. 1, 2, 3 y 4 + 50% parte del examen correspondiente a los caps. 5, 6, 7 y 8.

Es necesario obtener al menos 3.5 puntos sobre 10 en cada una de los dos partes y 5.0 de nota media.

## 8. Recursos didácticos

---

### 8.1. Recursos didácticos de la asignatura

Nombre	Tipo	Observaciones
Página Moodle de la asignatura	Recursos web	
Apuntes de la asignatura	Bibliografía	
Presentaciones de la asignatura	Bibliografía	

## 9. Otra información

---

### 9.1. Otra información sobre la asignatura

Bibliografía general

- A. Artés Rodríguez, F. Pérez González. Comunicaciones Digitales. Prentice-Hall, 2007 (disponible en [www.tsc.uc3m.es/~antonio/libro\\_comunicaciones/](http://www.tsc.uc3m.es/~antonio/libro_comunicaciones/))
- J. R. Barry, E.A. Lee, D. G. Messerschmitt. Digital Communication. Springer, 2004
- U. Madhow. Fundamentals of Digital Communications, Cambridge Univ. Press, 2008
- J. Proakis. Digital Communications. Mc Graw-Hill, 2007

Bibliografía específica de ciertos temas

- A. Goldsmith. Wireless Communications. Cambridge University Press, 2005
- A. Paulraj. Introduction to Space-Time Wireless Communications. Cambridge University Press, 2003
- D. Tse, P. Viswanath. Fundamentals of Wireless Communications. Cambridge University Press, 2005
- S. Verdú. Multiuser detection. Cambridge University Press, 1998