



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

**95000041 - Radiocomunicaciones**

### PLAN DE ESTUDIOS

09TT - Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicacion

### CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2019/20 - Primer 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.....	7
7. Actividades y criterios de evaluación.....	10
8. Recursos didácticos.....	14
9. Otra información.....	15

## 1. Datos descriptivos

### 1.1. Datos de la asignatura

<b>Nombre de la asignatura</b>	95000041 - Radiocomunicaciones
<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>	2019-20

## 2. Profesorado

### 2.1. Profesorado implicado en la docencia

<b>Nombre</b>	<b>Despacho</b>	<b>Correo electrónico</b>	<b>Horario de tutorías *</b>
Luis Mendo Tomas	C-425	luis.mendo@upm.es	Sin horario. Concertar cita por correo electrónico
Jose Manuel Riera Salis (Coordinador/a)	C-430	jm.riera@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

- Señales Aleatorias
- Teoria De La Comunicacion
- Radiacion Y Propagacion

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

- Distribuciones estadísticas
- Antenas y propagación de ondas planas
- Modulación

## 4. Competencias y resultados de aprendizaje

---

### 4.1. Competencias

CE-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

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-ST4 - Capacidad para la selección de circuitos, subsistemas y sistemas de radiofrecuencia, microondas, radiodifusión, radioenlaces y radiodeterminación

CE-ST5 - Capacidad para la selección de antenas, equipos y sistemas de transmisión, propagación de ondas guiadas y no guiadas, por medios electromagnéticos, de radiofrecuencia u ópticos y la correspondiente gestión del espacio radioeléctrico y asignación de frecuencias

CG10 - Creatividad

CG11 - Liderazgo de equipos

CG12 - Organización y planificación

CG3 - Que los estudiantes tengan la capacidad de reunir e interpretar datos relevantes (normalmente dentro de su área de estudio) para emitir juicios que incluyan una reflexión sobre temas relevantes de índole social, científica o ética

CG5 - Que los estudiantes hayan desarrollado aquellas habilidades de aprendizaje necesarias para emprender estudios posteriores con un alto grado de autonomía

CG6 - Uso de la lengua inglesa

CG7 - Trabajo en equipo

CG8 - Comunicación oral y escrita

CG9 - Uso de Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones

## 4.2. Resultados del aprendizaje

RA66 - Conocimientos para la selección de antenas, equipos y sistemas de transmisión, propagación de ondas guiadas y no guiadas, por medios electromagnéticos, de radiofrecuencia u ópticos

RA65 - Conocimientos para la selección de circuitos, subsistemas y sistemas de radiofrecuencia, microondas, radiodifusión, radioenlaces y radiodeterminación.

RA601 - Ser capaz de diseñar un sistema de radiocomunicaciones utilizando los conceptos fundamentales de caracterización del enlace, propagación y normativa.

RA598 - Entender los conceptos fundamentales sobre los elementos que conforman un enlace radio: caracterización de antenas, balance energético, ruido e interferencia, así como los órdenes de magnitud de los principales parámetros técnicos.

RA597 - Conocer los fundamentos de los sistemas de radiocomunicaciones, el lugar que ocupan dentro de las redes de telecomunicación, los servicios que proporcionan y la normativa nacional e internacional que se les aplica.

RA599 - Conocer los diferentes aspectos que afectan a la propagación de ondas de radio y ser capaz de cuantificar su efecto, así como su influencia sobre el funcionamiento y el diseño de los sistemas.

RA603 - Conocer el funcionamiento general de herramientas informáticas de planificación radio, y tener destreza en el manejo de alguna.

RA67 - Conocimiento de los procedimientos de gestión del espacio radioeléctrico y asignación de frecuencias.

RA63 - 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.

RA600 - Ser capaz de evaluar las prestaciones de cobertura y de calidad de un sistema de radiocomunicaciones, y de relacionarlas con objetivos de calidad y disponibilidad de los servicios que prestan.

RA672 - Conocer los principales estándares técnicos y tecnologías utilizados en enlaces del servicio fijo, sistemas de radiodifusión y redes inalámbricas de acceso.

## 5. Descripción de la asignatura y temario

---

### 5.1. Descripción de la asignatura

En esta asignatura se proporciona al alumno una formación en Radiocomunicaciones, que incluye diferentes aspectos, complementarios entre sí:

En los primeros temas se tratan aspectos generales, incluyendo la regulación y utilización del espectro radioeléctrico, los cálculos necesarios para el diseño de un enlace radioeléctrico, y un repaso de los modelos de propagación de uso más general.

En la segunda parte de la asignatura se presentan los sistemas de radiocomunicaciones más relevantes en relación al servicio fijo, las redes inalámbricas, las redes por satélite y el servicio de radiodifusión.

La asignatura tiene una orientación práctica, enfocada a proporcionar metodologías y procedimientos que pueden aplicarse en la realización de proyectos de sistemas de radiocomunicación. Para reforzar esta orientación, se realizan algunas prácticas de laboratorio y un breve proyecto de red de acceso radio, utilizando herramientas comerciales de planificación radioeléctrica.

## 5.2. Temario de la asignatura

1. Introducción a los sistemas de radiocomunicaciones
  - 1.1. Conceptos básicos sobre sistemas de radiocomunicaciones
  - 1.2. Normativa nacional e internacional
2. Fundamentos técnicos de los enlaces de radiocomunicaciones
  - 2.1. Caracterización de los elementos radiantes
  - 2.2. Modelo energético
  - 2.3. Variabilidad. Distribuciones estadísticas aplicadas en radiocomunicaciones
3. Propagación de ondas radioeléctricas
  - 3.1. Fundamentos de radiopropagación. Refracción
  - 3.2. Efectos del suelo
  - 3.3. Difracción
  - 3.4. Modelos empíricos
  - 3.5. Atenuación por gases, lluvia y vegetación
  - 3.6. Desvanecimiento
4. Radioenlaces terrenales del servicio fijo
  - 4.1. Generalidades
  - 4.2. Parámetros técnicos
  - 4.3. Calidad y disponibilidad. Proyecto de radioenlaces
  - 4.4. Técnicas de mitigación. Diversidad
  - 4.5. Interferencias
5. Redes inalámbricas de acceso fijo
  - 5.1. Conceptos básicos de redes inalámbricas. Transmisión OFDM
  - 5.2. Estándar IEEE 802.11. Tecnología Wi-Fi
  - 5.3. Estándar IEEE 802.16. Tecnología WiMAX
6. Fundamentos técnicos de las comunicaciones por satélite
  - 6.1. Aspectos generales. Servicios, bandas de frecuencias y órbitas
  - 6.2. Geometría de la órbita geoestacionaria

6.3. Balance de potencia en enlaces del servicio fijo por satélite

## 7. Sistemas de radiodifusión

7.1. Panorámica general. Bandas de frecuencias y sistemas

7.2. Sistemas analógicos en LF, MF y HF. Radiodifusión sonora con modulación de frecuencia en VHF

7.3. Redes de frecuencia única con OFDM

7.4. Sistema DVB-T. Planificación de DVB-T

7.5. Sistema DVB-S

7.6. Evolución de los sistemas DVB: DVB-H, DVB-T2, DVB-S2

## 8. Prácticas de laboratorio

8.1. Introducción a las herramientas de planificación radioeléctrica

8.2. Estudio de cobertura radioeléctrica y comparación de modelos

8.3. Planificación de radioenlaces del servicio fijo

8.4. Cobertura múltiple de una red WiMAX

8.5. Geometría de las órbitas de los satélites

8.6. Planificación de sistemas de radiodifusión

## 9. Proyecto de red de acceso fijo



## 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>Tema 1</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Tema 2</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
2	<b>Tema 2</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Tema 2. Problemas.</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas	<b>Práctica 1 de laboratorio</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		
3	<b>Tema 2</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Tema 2. Problemas.</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
4	<b>Tema 2. Problemas</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas  <b>Tema 3</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
5	<b>Tema 3</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Tema 3. Problemas.</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
6	<b>Tema 3</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Tema 3. Problemas.</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas  <b>Práctica 2 de laboratorio (en aula)</b> Duración: 01:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio			

7	<p><b>Tema 3</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 4</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			
8	<p><b>Tema 4</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			<p><b>Evaluación de los temas 1, 2 y 3.</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Duración: 02:00</p>
9	<p><b>Tema 4. Problemas</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p> <p><b>Tema 5</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Práctica 3 de laboratorio (en aula)</b> Duración: 01:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>			
10	<p><b>Tema 5</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 6</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Práctica 4 de laboratorio (en aula)</b> Duración: 01:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>			<p><b>Elaboración de las memorias de prácticas</b> TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo Evaluación continua Duración: 01:00</p>
11	<p><b>Temas 5 y 6. Problemas</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p> <p><b>Tema 7</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Prácticas 5 y 6 de laboratorio (en aula o laboratorio, a determinar)</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>			
12	<p><b>Tema 7</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 7. Problemas.</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			<p><b>Elaboración de las memorias de prácticas</b> TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo Evaluación continua Duración: 01:00</p>

13				<p><b>Evaluación de los temas 4, 5, 6 y 7.</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Duración: 02:00</p>
14				<p><b>Evaluación del proyecto en equipo</b> TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo Evaluación continua Duración: 01:00</p>
15				
16				
17				<p><b>Elaboración de las memorias de prácticas</b> TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo Evaluación sólo prueba final Duración: 01:00</p> <p><b>Evaluación del proyecto en equipo</b> TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo Evaluación sólo prueba final Duración: 01:00</p> <p><b>Elaboración de las memorias de prácticas</b> TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo Evaluación sólo prueba final Duración: 01:00</p> <p><b>Examen final</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación sólo prueba final Duración: 03:00</p>

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
8	Evaluación de los temas 1, 2 y 3.	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:00	37.5%	4 / 10	CG9 CG8 CE-ST1 CE-ST2 CE-ST4 CE-ST5
10	Elaboración de las memorias de prácticas	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	No Presencial	01:00	5%	4 / 10	CG7 CG9 CG12 CG8 CE-ST2 CE-ST4 CE-ST5
12	Elaboración de las memorias de prácticas	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	No Presencial	01:00	5%	4 / 10	CG7 CG9 CG12 CG8 CE-ST2 CE-ST4 CE-ST5
13	Evaluación de los temas 4, 5, 6 y 7.	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:00	37.5%	4 / 10	CG9 CG8 CE-ST1 CE-ST2 CE-ST4 CE-ST5
14	Evaluación del proyecto en equipo	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	No Presencial	01:00	15%	4 / 10	CG6 CG7 CG9 CG10 CG11 CG12 CG8 CE-ST1 CE-ST2 CE-ST4 CE-ST5 CG5 CG3

### 7.1.2. Evaluación sólo prueba final

Sem	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
17	Elaboración de las memorias de prácticas	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	No Presencial	01:00	2.5%	4 / 10	CG7 CG9 CG12 CG8 CE-ST2 CE-ST4 CE-ST5
17	Evaluación del proyecto en equipo	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	No Presencial	01:00	10%	4 / 10	CG6 CG7 CG9 CG10 CG11 CG12 CG8 CE-ST1 CE-ST2 CE-ST4 CE-ST5 CG5 CG3
17	Elaboración de las memorias de prácticas	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	No Presencial	01:00	2.5%	4 / 10	CG7 CG9 CG12 CG8 CE-ST2 CE-ST4 CE-ST5
17	Examen final	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	03:00	85%	4.5 / 10	CG6 CG9 CG8 CE-ST1 CE-ST2 CE-ST4 CE-ST5

### 7.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
Elaboración de las memorias de prácticas	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	Presencial	01:00	2.5%	4 / 10	CG7 CG9 CG12 CG8 CE-ST2 CE-ST4 CE-ST5
Elaboración de las memorias de prácticas	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	Presencial	01:00	2.5%	4 / 10	CE-ST4 CE-ST5 CG7 CG9 CG12 CG8 CE-ST2
Evaluación del proyecto en equipo	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	Presencial	01:00	10%	4 / 10	CG6 CG7 CG9 CG10 CG11 CG12 CG8 CE-ST1 CE-ST2 CE-ST4 CE-ST5 CG5 CG3
Examen final	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	03:00	85%	4.5 / 10	CG6 CG9 CG8 CE-ST1 CE-ST2 CE-ST4 CE-ST5

## 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 10 del semestre (la fecha concreta se anunciará en el Moodle).

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.

Para aprobar la asignatura en la modalidad de evaluación continua es obligatorio realizar las prácticas y el proyecto, y entregar los correspondientes informes de prácticas y memoria del proyecto. Las notas de prácticas y proyecto se conservan para el curso siguiente en caso de suspender la asignatura, no siendo necesario realizarlos de nuevo. La calificación de la asignatura se realizará del siguiente modo:  $\text{NOTA FINAL} = 37,5\% \text{ Examen Cap. 1, 2 y 3} + 37,5\% \text{ Examen Cap. 4, 5, 6 y 7} + 10\% \text{ Nota de las prácticas} + 15\% \text{ Nota del proyecto}$ . La nota final así calculada se aplicará si la media de las notas de los dos exámenes supera el 4.0 sobre 10 puntos. En caso contrario no se aprobará la asignatura.

Para aprobar la asignatura en la modalidad de prueba final y en la convocatoria extraordinaria es obligatorio entregar los correspondientes informes de prácticas y memoria del proyecto, con anterioridad al acto de celebración del examen final, en la fecha fijada por Jefatura de Estudios para las convocatorias ordinaria y extraordinaria. Las notas de prácticas y proyecto, o de sus equivalentes, se conservan para el curso siguiente en caso de suspender la asignatura, no siendo necesario realizarlos de nuevo. La calificación de la asignatura se realizará del siguiente modo:  $\text{NOTA FINAL} = 85\% \text{ Examen Final} + 5\% \text{ Nota de las prácticas} + 10\% \text{ Nota del proyecto}$ . La nota final así calculada se aplicará si la nota del examen final supera el 4,5 sobre 10 puntos. En caso contrario no se aprobará la asignatura.

El examen final consta de dos partes, test y problemas. En cada una es necesario superar 3,5 puntos sobre 10. La

nota del examen es la media de las dos, y puede estar entre 0 y 10.

## 8. Recursos didácticos

### 8.1. Recursos didácticos de la asignatura

Nombre	Tipo	Observaciones
Transmisión por radio	Bibliografía	J.M. Hernando, J.M. Riera, L. Mendo, "Transmisión por radio", Editorial Ramón Areces, 7ª Edición, 2013.
Moodle-UPM	Recursos web	Documentación suministrada a los alumnos a través de la plataforma Moodle de la UPM: <a href="http://moodle.upm.es/titulaciones/oficiales">http://moodle.upm.es/titulaciones/oficiales</a>
Acceso a la herramienta de planificación Xirio-online	Recursos web	Acceso a la herramienta de planificación de radiocomunicaciones Xirio-online, para la realización de una práctica.
Estándares IEEE	Bibliografía	Estándares técnicos de IEEE, en particular los de la familia 802.
Recomendaciones UIT-R	Bibliografía	Recomendaciones del UIT-R, disponibles a través de su sitio web de forma gratuita.
Wireless Communications	Bibliografía	Andreas F. Molisch, "Wireless Communications", Editorial John Wiley & Sons, 2006.
Satellite Communications	Bibliografía	Louis J. Ippolito, "Satellite Communications Systems Engineering", Editorial John Wiley & Sons, 2008.



## 9. Otra información

---

### 9.1. Otra información sobre la asignatura

Las prácticas se realizarán en parejas y utilizarán herramientas de planificación y cálculo de enlaces disponibles via Internet. La organización se concretará cuando se conozca el número de alumnos matriculados. Se prevé una primera sesión de dos horas de duración, si es posible en horario de clase, que se dedicará fundamentalmente a aprender el uso de la principal herramienta software. Esta sesión será de asistencia obligatoria. El resto de prácticas serán de una hora de duración y se realizarán preferentemente en horario de clase y en el aula, con asistencia opcional.

Las entregas de las memorias se organizarán en dos bloques, correspondientes cada uno de ellos a varias prácticas.

Los proyectos se realizarán en equipos, típicamente de 6 alumnos. Se otorgará una valoración adicional a los equipos que opten por redactar la memoria en inglés. La nota media del proyecto se verá matizada por los resultados de la co-evaluación que cada alumno haga del trabajo realizado por cada uno de sus compañeros de equipo.