

**ANX-PR/CL/001-01**  
**GUÍA DE APRENDIZAJE**

**ASIGNATURA**

Campos y ondas en telecomunicación

**CURSO ACADÉMICO - SEMESTRE**

2016-17 - Segundo semestre

## Datos Descriptivos

---

|  |   |
|--|---|
| <b>Nombre de la Asignatura</b>             | Campos y ondas en telecomunicacion  |
| <b>Titulación</b>                          | 09TT - Grado en Ingenieria de Tecnologias y Servicios de Telecomunicacion |
| <b>Centro responsable de la titulación</b> | Escuela Tecnica Superior de Ingenieros de Telecomunicacion                |
| <b>Semestre/s de impartición</b>           | Cuarto semestre   |
| <b>Módulos</b>                             | Comun rama  |
| <b>Materias</b>                            | Sistemas de transmision   |
| <b>Carácter</b>                            | Obligatoria   |
| <b>Código UPM</b>                          | 95000022  |
| <b>Nombre en inglés</b>                    | Fields and waves in telecommunications                                    |

## Datos Generales

---

|                              |            |                                     |               |
|------------------------------|------------|-------------------------------------|---------------|
| <b>Créditos</b>              | 4.5        | <b>Curso</b>                        | 2             |
| <b>Curso Académico</b>       | 2016-17    | <b>Período de impartición</b>       | Febrero-Junio |
| <b>Idioma de impartición</b> | Castellano | <b>Otros idiomas de impartición</b> |               |

## Requisitos Previos Obligatorios

---

### Asignaturas Previas Requeridas

El plan de estudios Grado en Ingenieria de Tecnologias y Servicios de Telecomunicacion no tiene definidas asignaturas previas superadas para esta asignatura.

### Otros Requisitos

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

## Conocimientos Previos

---

### Asignaturas Previas Recomendadas

Análisis vectorial

Electromagnetismo

### Otros Conocimientos Previos Recomendados

Operaciones Básicas con expresiones complejas tanto escalares como vectoriales

Conceptos de Circuitos Eléctricos

Sistemas Lineales y Funciones y Transformadas relacionadas

Conceptos básicos de modulaciones

Conocimiento y capacidad de razonar y resolver problemas de campo eléctrico estático y de campo magnético estacionario a partir de las leyes básicas del electromagnetismo

Comprensión y dominio de los conceptos básicos circuitales obtenidos desde las ecuaciones de Maxwell: Resistencia, Conductancia, Capacidad, Inductancia, e Inducción mutua.

## Competencias

---

CECT4 - Capacidad de analizar y especificar los parámetros fundamentales de un sistema de comunicaciones

CECT5 - Capacidad para evaluar las ventajas e inconvenientes de diferentes alternativas tecnológicas de despliegue o implementación de sistemas de comunicaciones, desde el punto de vista del espacio de la señal, las perturbaciones y el ruido y los sistemas de modulación analógica y digital

CECT8 - Capacidad para comprender los mecanismos de propagación y transmisión de ondas electromagnéticas y acústicas, y sus correspondientes dispositivos emisores y receptores

CG12 - Organización y planificación

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

CG4 - Que los estudiantes puedan transmitir información, ideas, problemas y soluciones a un público tanto especializado como no especializado

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

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

## Resultados de Aprendizaje

---

RA58 - Conocimiento cualitativo y cuantitativo de los mecanismos básicos del fenómeno de propagación de ondas electromagnéticas y su interacción con obstáculos, tanto en el espacio libre como en los sistemas de guiado más simples.

RA192 - Comprender los conceptos asociados a la reflexión y transmisión (coeficiente de reflexión y transmisión, impedancia de onda y diagrama de onda estacionaria). Comprender los fenómenos de transmisión de energía.

RA195 - Manejar los conceptos anteriores para la resolución de problemas de medios estratificados. Asimilar el concepto de adaptación

RA198 - Conocer la existencia de las líneas de transmisión y comprender y asimilar el concepto de modo TEM. Comprender los conceptos de onda de tensión y corriente a partir del campo electromagnético. Manejar la línea de transmisión y su descripción mediante diferentes parámetros. Comprender la representación mediante circuito equivalente para la línea corta y sus limitaciones. Adquirir capacidad para estimar las pérdidas en los conductores

RA194 - Conocer las propiedades de la Onda Plana Homogénea (OPH) y sus características transmitiendo energía. Comprender el fenómeno de la Polarización de las ondas y su importancia en Telecomunicación. Comprender los conceptos físicos asociados a las distintas velocidades de propagación y sus consecuencias en la transmisión de señales: distorsión y retardo.

RA193 - Conocer la descripción matemática del modelo macroscópico de los medios materiales. Conocer y manejar las expresiones que gobiernan la energía electromagnética y su transferencia: transmisión y pérdidas

RA196 - Asimilar el concepto de reflexión total en la incidencia normal sobre un conductor ideal. Asimilar el concepto de la incidencia normal sobre un conductor real. Asimilar la aproximación de Leontovich y el concepto de impedancia superficial en un conductor real. Asimilar la definición de impedancia de cuadro. Entender la generalización y uso del concepto de impedancia de cuadro en conductores con otras geometrías

RA62 - El aprendizaje de la materia proporciona al alumno los conocimientos requeridos para comprender los mecanismos de propagación y transmisión de ondas electromagnéticas y acústicas, y sus correspondientes dispositivos emisores y receptores.

## Profesorado

---

### Profesorado

| Nombre   | Despacho  | e-mail                       | Tutorías |
|--|-----------|------------------------------|----------|
| Lambeck Olgado, Manuel Maria                         | B-419     | manuel.lambeck.olgado@upm.es |          |
| Rebollar Machain, Jesus M.<br><b>(Coordinador/a)</b> | B-411     | jesusmaria.rebollar@upm.es   |          |
| Esteban Marzo, Jaime                                 | B-420     | jaime.esteban@upm.es         |          |
| Gonzalez De Aza, Miguel Angel                        | B-421Dcha | miguelangel.gonzalez@upm.es  |          |

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

## Descripción de la Asignatura

---

La asignatura introduce al estudiante en los conceptos básicos de la electrodinámica aplicada a la transmisión de energía/información. Tras un preámbulo dedicado a los aspectos de transferencia de energía, analiza las soluciones de las ecuaciones de Maxwell de tipo ondas planas y establece el conjunto de definiciones utilizadas habitualmente en transmisión (polarización, dispersión y atenuación, velocidad de propagación, coeficiente de reflexión e impedancia, etc.). Se analizan a continuación las características básicas del campo electromagnético en los conductores introduciéndose los conceptos de efecto pelicular, impedancia superficial e impedancia interna de hilo conductor. Finalmente se establecen las características generales de la comunicación por soporte físico introduciéndose el concepto de modo, sus diferentes tipos y características, desarrollando de forma particular el modo transversal electromagnético (TEM) y la línea de transmisión.

## Temario

---

1. Introducción a la Electrodinámica. Transferencia de Energía Electromagnética
  - 1.1. Modelo matemático de la electrodinámica en el tiempo y la frecuencia
  - 1.2. Relaciones constitutivas
  - 1.3. Teorema de Conservación de la Energía. Vector de Poynting. Energía en Electrodinámica
  - 1.4. Régimen Monocromático. Valores medios
2. Ondas Planas Homogéneas. Polarización
  - 2.1. Solución de la ecuación de onda. Onda Plana Homogénea (OPH)
  - 2.2. Características de los campos de la Onda Plana Homogénea: variación con  $z$ , relación entre campo eléctrico y campo magnético. Impedancia de la OPH, Constante de propagación
  - 2.3. Ondas Planas Homogéneas Monocromáticas (OPHM): Potencia transmitida, atenuación, longitud de onda, velocidad de fase, dispersión
  - 2.4. Polarización de la OPHM: Lineal, Circular, Elíptica. Relación Axial. Polarización Positiva y Negativa
  - 2.5. Velocidad de grupo. Retardo. Distorsión
3. Incidencia Normal de Ondas Planas Homogéneas
  - 3.1. Incidencia normal sobre obstáculo plano de la OPH: Onda incidente, reflejada y transmitida. Onda Estacionaria
  - 3.2. Coeficientes de reflexión y transmisión. Campos en función de ambos coeficientes
  - 3.3. Diagrama de onda estacionaria (DOE); coeficiente de onda estacionaria (COE). Impedancia de onda ( $Z$ ). Continuidad de  $Z$  en las discontinuidades
  - 3.4. Balance energético del problema
  - 3.5. Incidencia normal sobre el problema de los tres medios. Fórmula del traslado de impedancias. Propiedades de las láminas dieléctricas en  $\lambda/2$  y en  $\lambda/4$
  - 3.6. Eliminación de la reflexión: Adaptación
  - 3.7. Incidencia normal sobre  $N$  medios estratificados. Utilización de la fórmula de traslado de impedancias
  - 3.8. Incidencia normal de OPH sobre un medio conductor perfecto

#### 4. Campos en Conductores. Efecto Pelicular

- 4.1. Incidencia normal de OPH sobre un medio conductor real. Balance energético: Potencia disipada en el conductor. Definición del elemento de unidad de longitud y anchura: Diferencia de potencial y corriente de dicho elemento. Impedancia de cuadro
- 4.2. Campos en el conductor: Efecto Pelicular, Condiciones de Leontovich: Concepto de Impedancia superficial
- 4.3. Impedancia interna del hilo conductor de sección arbitraria. Ejemplo: Hilo cilíndrico

#### 5. Comunicación por soporte físico: Líneas de Transmisión

- 5.1. Introducción: Modo TEM y existencia de otros modos. Líneas de transmisión básicas. Soluciones TEM guiadas. Modos q-TEM. Definición de las ondas de tensión y corriente. Impedancia Característica. Constante de propagación. Comentarios a q-TEM
- 5.2. Potencia transmitida. Circuito equivalente: realización en T. Aproximación de línea corta. Energías almacenadas y pérdidas en dieléctricos y en conductores
- 5.3. Ejemplos de líneas de transmisión: Cable coaxial y Línea bifilar
- 5.4. Los circuitos impresos: líneas planares. Línea microstrip y otras. Modelo simple de dispersión
- 5.5. Reflexiones en TEM Uso de los conceptos de coeficiente de reflexión e impedancia característica en líneas de transmisión. Líneas en  $\lambda/2$  y en  $\lambda/4$ . Adaptación

## Cronograma

**Horas totales:** 45 horas

**Horas presenciales:** 45 horas (38.5%)

**Peso total de actividades de evaluación continua:**  
100%

**Peso total de actividades de evaluación sólo prueba final:**  
100%

| Semana   | Actividad Presencial en Aula   | Actividad Presencial en Laboratorio | Otra Actividad Presencial | Actividades Evaluación |
|----------|--|-------------------------------------|---------------------------|------------------------|
| Semana 1 | <p><b>Presentación de la Asignatura</b><br/>Duración: 01:00<br/>LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 1. Introducción a la Electrodinámica. Transferencia de Energía Electromagnética</b><br/><b>1.1 Modelo matemático de la electrodinámica en el tiempo y la frecuencia. 1.2 Relaciones constitutivas</b><br/>Duración: 02:00<br/>LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> |                                     |                           |                        |
| Semana 2 | <p><b>1.3 Teorema de Conservación de la Energía. Vector de Poynting. Energía en Electrodinámica.</b><br/>Duración: 01:30<br/>LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Realización de ejercicios tema 1</b><br/>Duración: 01:30<br/>PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>   |                                     |                           |                        |
| Semana 3 | <p><b>1.4 Régimen Monocromático. Valores medios.</b><br/>Duración: 01:30<br/>LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Realización de ejercicios tema 1</b><br/>Duración: 01:30<br/>PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>   |                                     |                           |                        |
| Semana 4 | <p><b>Tema 2: Ondas Planas Homogéneas. Polarización. 2.1 y 2.2</b><br/>Duración: 02:00<br/>LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Realización de ejercicios tema 2</b><br/>Duración: 01:00<br/>PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>   |                                     |                           |                        |



|                 |   |  |  |  |
|-----------------|---|--|--|--|
| <p>Semana 5</p> | <p><b>2.3 Ondas Planas Homogéneas Monocromáticas (OPHM): Potencia transmitida, atenuación, longitud de onda, velocidad de fase, dispersión.</b><br/><b>2.4 Polarización de la OPHM: Lineal, Circular, Elíptica. Relación Axial. Polarización Positiva y Negativa</b></p> <p>Duración: 02:00</p> <p>LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Realización de ejercicios tema 2</b></p> <p>Duración: 01:00</p> <p>PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>  |  |  |  |
| <p>Semana 6</p> | <p><b>2.5 Velocidad de grupo. Retardo. Distorsión.</b></p> <p>Duración: 01:00</p> <p>LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Realización de ejercicios tema 2</b></p> <p>Duración: 01:00</p> <p>PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p> <p><b>Tema 3: Incidencia Normal de Ondas Planas Homogéneas.</b><br/><b>3.1 Incidencia normal sobre obstáculo plano de la OPH: Onda incidente, reflejada y transmitida. Onda Estacionaria.</b></p> <p>Duración: 01:00</p> <p>LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> |  |  |  |
| <p>Semana 7</p> | <p><b>3.2 Coeficientes de reflexión y transmisión. Campos en función de ambos coeficientes.</b><br/><b>3.3 Diagrama de onda estacionaria (DOE); coeficiente de onda estacionaria (COE). Impedancia de onda (Z). Continuidad de Z en las discontinuidades.</b></p> <p>Duración: 02:00</p> <p>LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Realización de ejercicios tema 3</b></p> <p>Duración: 01:00</p> <p>PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>   |  |  |  |
| <p>Semana 8</p> | <p><b>3.4 Balance energético del problema. 3.5 Incidencia normal sobre el problema de los tres medios. Fórmula del traslado de impedancias. Propiedades de las láminas dieléctricas en <math>\lambda/2</math> y en <math>\lambda/4</math>.</b></p> <p>Duración: 02:00</p> <p>LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Realización de ejercicios tema 3</b></p> <p>Duración: 01:00</p> <p>PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>  |  |  | <p><b>Prueba Parcial P_1A</b></p> <p>Duración: 01:00</p> <p>EX: Técnica del tipo Examen Escrito</p> <p>Evaluación continua</p> <p>Actividad presencial</p> |

|           |  |  |  |  |
|-----------|--|--|--|--|
| Semana 9  | <p><b>3.6 Eliminación de la reflexión: Adaptación. 3.7 Incidencia normal sobre N medios estratificados. Utilización de la fórmula de traslado de impedancias.</b></p> <p>Duración: 02:00</p> <p>LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Realización de ejercicios tema 3</b></p> <p>Duración: 01:00</p> <p>PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>  |  |  |  |
| Semana 10 | <p><b>3.8 Incidencia normal de OPH sobre un medio conductor perfecto.</b></p> <p>Duración: 01:00</p> <p>LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Realización de ejercicios tema 3</b></p> <p>Duración: 01:00</p> <p>PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p> <p><b>Tema 4: Campos en Conductores. 4.1 Efecto Pelicular. 4.2 Condiciones de Leontovich: Concepto de Impedancia superficial. 4.3 Impedancia interna del hilo conductor de sección arbitraria. Ejemplo: Hilo cilíndrico</b></p> <p>Duración: 01:00</p> <p>LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> |  |  |  |
| Semana 11 | <p><b>Tema 5: Comunicación por soporte físico: Líneas de Transmisión. 5.1</b></p> <p>Duración: 02:00</p> <p>LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Realización de ejercicios tema 5</b></p> <p>Duración: 01:00</p> <p>PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>  |  |  |  |
| Semana 12 | <p><b>5.2 Potencia transmitida. Circuito equivalente: realización en T. Aproximación de línea corta. Energías almacenadas y pérdidas en dieléctricos y en conductores.</b></p> <p>Duración: 02:00</p> <p>LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Realización de ejercicios tema 5</b></p> <p>Duración: 01:00</p> <p>PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>   |  |  |  |

|           |  |  |  |  |
|-----------|--|--|--|--|
| Semana 13 | <p><b>5.3 Ejemplos de líneas de transmisión: Cable coaxial y Línea bifilar. 5.4 Los circuitos impresos: líneas planares. Línea microstrip y otras. Modelo simple de dispersión.</b></p> <p>Duración: 02:00</p> <p>LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Realización de ejercicios tema 5</b></p> <p>Duración: 01:00</p> <p>PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>                              |  |  |  |
| Semana 14 | <p><b>5.5 Reflexiones en TEM Uso de los conceptos de coeficiente de reflexión e impedancia característica en líneas de transmisión. Líneas en <math>\lambda/2</math> y en <math>\lambda/4</math>. Adaptación</b></p> <p>Duración: 02:00</p> <p>LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Realización de ejercicios tema 5</b></p> <p>Duración: 01:00</p> <p>PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p> |  |  |  |
| Semana 15 |  |  |  |  |
| Semana 16 |  |  |  |  |
| Semana 17 |  |  |  | <p><b>Prueba P2</b></p> <p>Duración: 02:00</p> <p>EX: Técnica del tipo Examen Escrito</p> <p>Evaluación continua</p> <p>Actividad presencial</p> <p><b>Examen Final: Pruebas P_1B y P2</b></p> <p>Duración: 03:00</p> <p>EX: Técnica del tipo Examen Escrito</p> <p>Evaluación sólo prueba final</p> <p>Actividad presencial</p> |

**Nota.-** El cronograma sigue una planificación teórica de la asignatura que puede sufrir modificaciones durante el curso.

**Nota 2.-** Para poder calcular correctamente la dedicación de un alumno, la duración de las actividades que se repiten en el tiempo (por ejemplo, subgrupos de prácticas") únicamente se indican la primera vez que se definen.

## Actividades de Evaluación

| Semana | Descripción                     | Duración | Tipo evaluación              | Técnica evaluativa                  | Presencial | Peso | Nota mínima | Competencias evaluadas                        |
|--------|---------------------------------|----------|------------------------------|-------------------------------------|------------|------|-------------|---|
| 8      | Prueba Parcial P_1A             | 01:00    | Evaluación continua          | EX: Técnica del tipo Examen Escrito | Sí         | 30%  | 2 / 10      | CG9, CG12, CECT4, CECT5, CECT8, CG2, CG4, CG5 |
| 17     | Prueba P2                       | 02:00    | Evaluación continua          | EX: Técnica del tipo Examen Escrito | Sí         | 70%  | 2 / 10      | CG9, CG12, CECT4, CECT5, CECT8, CG2, CG4, CG5 |
| 17     | Examen Final: Pruebas P_1B y P2 | 03:00    | Evaluación sólo prueba final | EX: Técnica del tipo Examen Escrito | Sí         | 100% | 2 / 10      | CG9, CG12, CECT4, CECT5, CECT8, CG2, CG4, CG5 |

## Criterios de Evaluación

En convocatoria ordinaria, los alumnos podrán ser evaluados mediante evaluación continua, según los criterios especificados más abajo. Los alumnos que lo deseen podrán renunciar a la evaluación continua y ser evaluados en convocatoria ordinaria mediante un único examen final, para lo cual será suficiente con no acudir a la prueba P\_1A o presentarse a la parte correspondiente al primer parcial (prueba P\_1B) en el final.

### EVALUACIÓN CONTINUA:

La evaluación continua de la asignatura consta de dos pruebas parciales: P\_1A y P\_2.

La primera prueba parcial, P\_1A, se realizará en fecha a definir por Jefatura de Estudios. Su ponderación será de un 30%.

La segunda prueba parcial, P\_2, se realizará coincidente con la fecha señalada para el examen final de la convocatoria de junio. Su ponderación será de un 70%.

Para aprobar la asignatura debe cumplirse que su media ponderada sea mayor o igual a 5. Toda prueba con calificación inferior a 2 puntos sobre 10 supondrá el suspenso en la asignatura. En este caso, la calificación final será la menor entre la media ponderada de ambas pruebas (P\_1A y P\_2) y 4,5.

### EVALUACIÓN MEDIANTE EXAMEN ÚNICO:

En la fecha señalada para el examen final de la convocatoria de junio, cualquier alumno podrá presentarse a la parte correspondiente al primer parcial (prueba P\_1B), lo que implicará la renuncia a la evaluación continua y, por lo tanto, a la nota obtenida anteriormente en la prueba parcial P\_1A.

En la convocatoria ordinaria de junio, los alumnos que han renunciado a la evaluación continua serán evaluados mediante un examen final consistente en dos pruebas:

P\_1B (ponderación: 30 %) y P\_2 (ponderación: 70 %).

Para aprobar la asignatura debe cumplirse que la media ponderada sea mayor o igual a 5. Toda prueba con calificación inferior a 2 puntos sobre 10 supondrá el suspenso en la asignatura. En este caso, la calificación final será la menor entre la media ponderada de ambas pruebas (P\_1B y P\_2) y 4,5.

### CONTENIDO DE LAS PRUEBAS:

El contenido de las pruebas P\_1A, P\_1B y P\_2 se dividirá en dos partes:

Una primera, con cuestiones de respuesta breve, carácter más teórico, y limitadas a conceptos básicos, con una valoración del 50 %.

Una segunda, de contenido fundamentalmente práctico (resolución de ejercicios), con una valoración del 50%.

**CONVOCATORIA EXTRAORDINARIA DE JULIO:**

En la convocatoria extraordinaria de julio los alumnos serán evaluados mediante una única prueba final.

El plagio total o parcial de ejercicios en cualquiera de las pruebas de evaluación supondrá el suspenso en esa prueba, con calificación 0 puntos.

En el caso de que en el desarrollo de las pruebas de evaluación se aprecie el incumplimiento de los deberes como estudiante universitario, el coordinador de la asignatura podrá ponerlo en conocimiento del Director o Decano del Centro, que de acuerdo con lo establecido en el artículo 74 (n) de los Estatutos de la UPM tiene competencias para "Proponer la iniciación del procedimiento disciplinario a cualquier miembro de la Escuela o Facultad, por propia iniciativa o a instancia de la Comisión de Gobierno" al Rector, en los términos previstos en los estatutos y normas.

## Recursos Didácticos

| Descripción   | Tipo         | Observaciones |
|---|--------------|---------------|
| V.V. Nikolski, "Electrodinámica y propagación de ondas de radio", <a href="http://www.urss.ru">http://www.urss.ru</a> . Editorial URSS, 1973.   | Bibliografía |               |
| S. Ramo, J.R. Whinnery, T. Van Duzer, "Fields and waves in communication electronics", John Wiley & Sons, Third Edition, 1994.  | Bibliografía |               |
| C.T.A. Johnk, "Teoría Electromagnética", Limusa, 1981.  | Bibliografía |               |
| J.D. Kraus, "Electromagnetismo", McGraw-Hill, 1986  | Bibliografía |               |
| C.R. Paul, "Transmission Lines in Digital and Analog Electronic Systems: Signal Integrity and Crosstalk", John Wiley and Sons, Inc., 2010.  | Bibliografía |               |
| C.W. Davidson, "Transmission lines for communications", MacMillan, 1989.  | Bibliografía |               |
| David K. Cheng, "Fundamentos de electromagnetismo para ingeniería", Addison-Wesley Iberoamericana, 1997.  | Bibliografía |               |
| L.Solymar, "Lectures on electromagnetic theory", Oxford University Press, 1984.   | Bibliografía | avanzada      |
| H.A. Haus, J.R. Melcher, "Electromagnetic fields and energy", Prentice-Hall, 1989.  | Bibliografía | avanzada      |
| C. Camacho Peñalosa, J.E. Page de la Vega, "Ecuaciones y relaciones energéticas de la electrodinámica", "Ondas Planas", "Ondas Guiadas".  | Bibliografía |               |
| "Problemas de Campos y Ondas en Telecomunicación", Departamento de Electromagnetismo y Teoría de Circuitos. E.T.S.I. de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid. Formato electrónico puesto a disposición de los estudiantes. | Bibliografía |               |
| Moodle de la asignatura en <a href="http://wad.etc.upm.es">http://wad.etc.upm.es</a>  | Recursos web |               |