



Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación 30317 - Propagación y medios de transmisión

Guía docente para el curso 2011 - 2012

Curso: 2, Semestre: 2, Créditos: 9.0

Información básica

Profesores

- **María Paloma García Ducar** paloma@unizar.es
- **Pedro Luis Carro Ceballos** plcarro@unizar.es
- **Jesús De Mingo Sanz** mingo@unizar.es
- **Iñigo Salinas Ariz** isalinas@unizar.es
- **César Sánchez Pérez**

Recomendaciones para cursar esta asignatura

El profesorado encargado de impartir la asignatura durante este curso, perteneciente al Área de Teoría de la Señal y Comunicaciones es:

Jesús de Mingo (mingo@unizar.es), Edificio Ada Byron, despacho D.3.10

Paloma García (paloma@unizar.es), Edificio Ada Byron, despacho D2.

Iñigo Salinas (isalinas@unizar.es), Edificio Ada Byron, despacho D2.

Pedro Luis Carro (plcarro@unizar.es), Edificio Ada Byron, despacho D2.

La asignatura PROPAGACIÓN Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN será impartida por profesorado del Área de Teoría de la Señal y Comunicaciones del Departamento de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones.

Para seguir con normalidad esta asignatura es recomendable que el alumno que quiera cursarla haya cursado previamente, a parte de las asignaturas básicas de primero (especialmente Matemática I,II y III y Fundamentos de Física), la asignatura de Electromagnetismo y Ondas.

Por otro lado se recomienda al alumno la asistencia activa a clase (tanto de teoría como de problemas). Del mismo modo se recomienda al alumno el aprovechamiento y respeto de los horarios de tutorías del profesorado para la resolución de posibles dudas de la asignatura y un correcto seguimiento de la misma. Además, la asignatura presenta un porcentaje de contenido práctico para cuya evaluación la asistencia es obligatoria.

Actividades y fechas clave de la asignatura

La asignatura se imparte en el segundo semestre del segundo curso de la titulación con un total de 9 créditos ECTS. Las actividades principales de la misma se dividen en clases teóricas, resolución de problemas o supuestos prácticos en clase, prácticas de laboratorio y la realización de seminarios y trabajos tutelados relacionados con contenidos de Infraestructuras Comunes de Telecomunicación. Esta distribución tiene como objetivo fundamental facilitar la comprensión y asimilación de todo aquel conjunto de conceptos que permitan cubrir las competencias a adquirir por esta asignatura y su relación con las telecomunicaciones. Por último existirá una prueba global dividida en dos partes, una parte teórica consistente en un test de respuesta múltiple y una prueba basada en problemas o supuestos prácticos. Estas dos pruebas promediarán con las prácticas de laboratorio desarrolladas a lo largo del curso. Para más detalles relativos al sistema de evaluación consultar el apartado destinado para tal fin en esta guía docente.

Las fechas de inicio y finalización del curso y las horas concretas de impartición de la asignatura así como las fechas de realización de las prácticas de laboratorio e impartición de seminarios se harán públicas atendiendo a los horarios fijados por la Escuela.

Inicio

Resultados de aprendizaje que definen la asignatura

El estudiante, para superar esta asignatura, deberá demostrar los siguientes resultados...

- 1:**
RA1- Conoce los mecanismos de propagación y transmisión de ondas electromagnéticas y acústicas. Conoce el funcionamiento y sabe utilizar sus correspondientes dispositivos emisores y receptores.
- 2:**
RA2- Sabe utilizar los conceptos de propagación de ondas en diferentes medios y sus parámetros fundamentales, así como su propagación en el espacio libre.
- 3:**
RA3- Domina los distintos soportes físicos de ondas guiadas o líneas de transmisión (incluidas las fibras ópticas) sus posibles modos de propagación y sus parámetros fundamentales.
- 4:**
RA4- Sabe interpretar la propagación de señales en régimen transitorio en medios discontinuos (reflectometría en el dominio del tiempo).
- 5:**
RA5- Sabe evaluar la variación de los parámetros fundamentales a lo largo de una línea de transmisión mediante el uso de la Carta de Smith así como su aplicación en adaptación de impedancias.
- 6:**
RA6- Comprende los fenómenos asociados a la radiación electromagnética
- 7:**
RA7- Conoce el mecanismo de la radiación y los diferentes parámetros básicos de las antenas.
- 8:**
RA8- Sabe diferenciar, en función de sus parámetros, las características de funcionamiento de una antena.
- 9:**
RA9- Conoce los fundamentos de las principales familias de antenas y su ámbito de aplicación.
- 10:**
RA10- Conoce el funcionamiento básico de los transductores optoelectrónicos.
- 11:**
RA11- Sabe identificar los diagramas de bloques y los parámetros característicos de los emisores y receptores.
- 12:**

RA12- Plantea correctamente el problema a partir del enunciado propuesto e identifica las opciones para su resolución. Aplica el método de resolución adecuado e identifica la corrección de la solución.

- 13:** RA13- Sabe diseñar y verificar el funcionamiento de una Infraestructura Común de Telecomunicación (ICT)
- 14:** RA14- Conoce y utiliza correctamente las herramientas, instrumentos y aplicativos software disponibles en los laboratorios y lleva a cabo correctamente el análisis de los datos recogidos.
- 15:** RA15- Comprende los principios de generación de los campos acústicos de ondas planas así como su detección.
- 16:** RA16- Conoce el funcionamiento básico de los transductores electroacústicos

Introducción

Breve presentación de la asignatura

La asignatura *Propagación y Medios de Transmisión* se corresponde con una asignatura Obligatoria dentro de la Formación Común de la Rama de Telecomunicación. En la asignatura se pretende dar al estudiante una visión de los distintos medios de transmisión y propagación de ondas de distinta naturaleza, así como de sus mecanismos de generación y detección. Todo ello se complementará con un conjunto de prácticas de laboratorio y seminarios con el fin de afianzar los aspectos básicos presentados en las clases de teoría.

Contexto y competencias

Sentido, contexto, relevancia y objetivos generales de la asignatura

La asignatura y sus resultados previstos responden a los siguientes planteamientos y objetivos:

La asignatura Propagación y Medios de Transmisión tiene por objeto introducir al alumno en los aspectos relacionados con los medios de transmisión asociados a los sistemas de comunicaciones. Para tal fin el conjunto de objetivos fundamentales se pueden resumir en:

Conocer los mecanismos de propagación y transmisión de ondas electromagnéticas y acústicas en diferentes medios libres y guiados.

Conocer el funcionamiento y saber utilizar los dispositivos emisores y receptores relacionados con las ondas electromagnéticas y acústicas.

Saber identificar los diagramas de bloques y los parámetros característicos de un sistema de comunicaciones

Contexto y sentido de la asignatura en la titulación

La asignatura Propagación y Medios de Transmisión facilitará al alumno el conocimiento de las características de los diferentes medios físicos utilizados como canal de comunicaciones. Este conocimiento permitirá al alumno comprender la necesidad de adaptar la señal (información) a los diferentes medios de transmisión.

La asignatura dentro de la titulación mantiene una relación directa con asignaturas básicas previas por su necesidad para poder realizar un seguimiento normal de la misma, como se ha comentado en el apartado de recomendaciones para cursar la asignatura. Además, esta asignatura se puede entender como requisito necesario para poder hacer un seguimiento adecuado de asignaturas que se verán posteriormente en varios de los itinerarios de la titulación, como pueden ser:

Dentro del Itinerario de Sistemas Electrónicos:

Gestión de proyectos de Telecomunicación

Electrónica de radiofrecuencia

Electrónica de comunicaciones

Sistemas electrónicos en telecomunicaciones

Dentro del Itinerario de Sistemas de Telecomunicación:

Tecnologías de radiofrecuencia

Dispositivos y sistemas de transmisión óptica

Servicios y sistemas de Telecomunicación

Fundamentos de alta frecuencia

Sistemas de radiocomunicación

Equipos y sistemas de transmisión

Dentro del Itinerario de Sistemas de Sonido e Imagen:

Señales de audio y vídeo

Ingeniería acústica

Acústica ambiental y arquitectónica

Proyectos de instalaciones de audio y vídeo

Dentro del Itinerario de Sistemas de Telemática:

Redes de acceso

Redes de transporte

Redes móviles

Al superar la asignatura, el estudiante será más competente para...

- 1:** Resolver problemas y tomar decisiones con iniciativa, creatividad y razonamiento crítico (C4).
- 2:** Comunicar y transmitir conocimientos, habilidades y destrezas en castellano (C5)
- 3:** Usar las técnicas, habilidades y herramientas de la Ingeniería necesarias para la práctica de la misma (C6)

- 4: Gestionar de la información, manejo y aplicación de las especificaciones técnicas y la legislación necesarias para la práctica de la Ingeniería (C9)
- 5: Aprender de forma continuada y desarrollar estrategias de aprendizaje autónomo (C10)
- 6: Aplicar las tecnologías de la información y las comunicaciones en la Ingeniería (C11)
- 7: Aprender de manera autónoma nuevos conocimientos y técnicas adecuados para la concepción, el desarrollo o la explotación de sistemas y servicios de telecomunicación. (CRT1)
- 8: Utilizar aplicaciones de comunicación e informáticas (ofimáticas, bases de datos, cálculo avanzado, gestión de proyectos, visualización, etc.) para apoyar el desarrollo y explotación de redes, servicios y aplicaciones de telecomunicación y electrónica. (CRT2)
- 9: Utilizar herramientas informáticas de búsqueda de recursos bibliográficos o de información relacionada con las telecomunicaciones y la electrónica. (CRT3)
- 10: Analizar y especificar los parámetros fundamentales de un sistema de comunicaciones. (CRT4)
- 11: Comprender los mecanismos de propagación y transmisión de ondas electromagnéticas y acústicas, y sus correspondientes dispositivos emisores y receptores (CRT8)

Importancia de los resultados de aprendizaje que se obtienen en la asignatura:

La comprensión básica de la asignatura Propagación y Medios de Transmisión, así como de los principios en los que esta materia se sustenta, es totalmente imprescindible para el ejercicio de las competencias de un graduado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación. Todo el conjunto de capacidades adquiridas en esta asignatura será de gran utilidad para su formación.

Los conceptos y técnicas desarrollados en esta asignatura facilitarán la comprensión e interpretación de fenómenos físicos de propagación de ondas de distinta índole y naturaleza por sus respectivos medios de transmisión. La necesidad de acomodación de la señal de información al canal de propagación y medio de transmisión implica a su vez la necesidad de conocer los aspectos clave relacionados con los transductores, emisores y receptores necesarios y asociados a cada medio de transmisión. Adicionalmente, la asignatura pretende sentar las bases y conceptos indispensables para el desarrollo de posteriores asignaturas impartidas en dicho título, como se ha comentado en el apartado de Contexto y Sentido de la Asignatura en la Titulación.

Igualmente, adquiere gran importancia la formación práctica recibida tanto en las sesiones de problemas como en el laboratorio y en los seminarios y trabajos supervisados propuestos.

Evaluación

Actividades de evaluación

El estudiante deberá demostrar que ha alcanzado los resultados de aprendizaje previstos mediante las siguientes actividades de evaluación

- 1: El alumno dispondrá de una prueba global en cada una de las convocatorias establecidas a lo largo del curso. Las fechas y horarios vendrán determinadas por la Escuela. La calificación de dicha prueba se obtendrá de la siguiente forma:

- Un examen formado por dos partes, una parte teórica constituida por un test de respuesta múltiple (las respuestas incorrectas penalizarán como $1/(N-1)$ siendo N el nº de posibles respuestas) y una segunda parte formada por un conjunto de problemas o supuestos prácticos. Este examen tendrá un peso del 75% de la nota global distribuida en un 25% para la prueba tipo test y un 50% para los problemas.

- Un conjunto de prácticas y trabajos (desarrolladas en más detalle dentro del apartado de actividades de aprendizaje programadas dentro de esta misma guía docente) cuyo peso sobre la nota global es de un 25% (16% prácticas de laboratorio, 9% trabajo con tutoría en grupo). Dado el carácter excepcionalmente práctico de esta parte de la asignatura, su desarrollo continuado, así como la necesidad del uso de material específico de laboratorio, el sistema de evaluación de la misma se regirá por la modalidad de evaluación continua y su nota se trasladará a la convocatoria correspondiente.

Para superar la asignatura es condición necesaria aprobar el examen.

EVALUACIÓN GRADUAL LIBERATORIA DE LA PARTE DE TEORÍA:

A lo largo del curso se realizarán unas pruebas teóricas de tipo test de respuesta múltiple similares a la de la prueba global y con el nº de preguntas equivalente a la parte proporcional respecto a los temas de la asignatura. Acabado el curso el alumno podrá liberar la parte de teoría de la prueba global con la nota obtenida en la evaluación gradual si así lo desea. También podrá presentarse a la parte de teoría del examen de la prueba global guardándose la mejor de las dos notas.

Actividades y recursos

Presentación metodológica general

El proceso de aprendizaje que se ha diseñado para esta asignatura se basa en lo siguiente:

1. Clases magistrales participativas (60 horas) en las que se presentan los fundamentos teóricos del contenido de la asignatura y en las que se propicia la participación del alumnado. Esta actividad se realizará en el aula de forma presencial. Se combinarán la presentación de material bibliográfico previamente entregado al alumno (o depositado en los medios informáticos facilitados por la Universidad para tal fin) como el uso de pizarra para su correcto seguimiento.
2. Clases de problemas y casos prácticos de aula (14 horas) en las que se realizan resolución de problemas y casos prácticos propuestos por el profesor de los fundamentos presentados en las clases magistrales, con posibilidad de exposición de los mismos por parte de los alumnos de forma individual o en grupos autorizada por el profesor. Esta actividad se realizará en el aula de forma presencial.
3. Prácticas de laboratorio (16 horas) en las que los alumnos realizarán 8 sesiones de prácticas de 2 horas de duración en los Laboratorio de Prácticas L.3.06 (Laboratorio de Alta Frecuencia) y L.3.0.2 (Laboratorio de Óptica) del Edificio Ada Byron. En grupos pequeños, se realizan una serie prácticas en las cuales se utilizarán equipos específicos relacionados con la propagación de ondas guiadas y ondas radiadas que permitan consolidar el conjunto de conceptos teóricos desarrollados a lo largo de las clases magistrales. Esta actividad se realizará en el Laboratorio de forma presencial.
4. Realización de un trabajo práctico en grupo, y tutorizado por el profesor, basado en los contenidos de la asignatura y relacionado con las Infraestructuras Comunes de Telecomunicación (ICTs) y su Normativa de Aplicación. Asistencia a seminarios relacionados con la mencionada temática con la posibilidad de la participación de Invitados Externos a los mismos (6 horas).
5. Atención personalizada al alumno a través de las tutorías.

Actividades de aprendizaje programadas (Se incluye programa)

El programa que se ofrece al estudiante para ayudarle a lograr los resultados previstos comprende las siguientes actividades...

1:

Tema 0. Introducción a Sistemas de Telecomunicación. Panorama de la asignatura. Necesidad de acomodar las señales a los medios de propagación. Transductores necesarios para cada uno de los medios de propagación. Identificación de los diagramas de bloques y los parámetros característicos de los emisores, receptores y medios de transmisión.

Tema 1. Propagación de Ondas Electromagnéticas en Líneas de Transmisión

1.1 Propagación en Líneas de Transmisión

1.1.1 Introducción.

1.1.2 Ondas TEM en líneas de transmisión. Parámetros Fundamentales.

1.1.3 Ecuaciones Generales en Líneas de Transmisión.

1.1.4 Líneas finitas.

1.1.5 Parámetros S.

1.1.6 Líneas de Transmisión más frecuentes en comunicaciones (Par trenzado, cable coaxial, líneas microtira y *stripline*)

1.2 Análisis transitorio en líneas de transmisión.

1.3 Circuitos con líneas de transmisión. Adaptación de Impedancias.

1.3.1 La carta de Smith.

1.3.2 Análisis de líneas de transmisión con terminación arbitraria.

1.3.3 Adaptación de impedancias.

Tema 2. Propagación en guías de onda. Fibras y transceptores ópticos.

2.1 Propagación en Guías de Ondas

2.1.1 Concepto de guía de onda.

2.1.2 Ondas TEM, TE y TM.

2.1.3 Guías de Ondas Rectangulares.

2.1.4 Guías de Ondas de Cilíndricas.

2.2 Fibra Óptica

2.2.1 Introducción.

2.2.2 Reflexión total. Guía de onda óptica plana y cilíndrica.

2.2.3 Características de la fibra óptica como medio de transmisión. Fibras monomodo y multimodo.

- 2.2.4 Principios de propagación en fibra óptica.
- 2.2.5 Estándares de fibra óptica.
- 2.2.6 Transductores optoelectrónicos. Elementos que intervienen en un enlace de fibra óptica.

Tema 3. Elementos básicos de Transmisión y Recepción Radio.

3.1 Introducción.

3.2 Parámetros de Antenas en Transmisión

- 3.2.1 Impedancia
- 3.2.2 Intensidad de Radiación y Densidad de Potencia Radiada
- 3.2.3 Diagrama de Radiación.
- 3.2.4 Directividad
- 3.2.5 Ancho de Banda
- 3.2.6 Polarización de una antena

3.3 Parámetros de Antena en Recepción.

- 3.3.1 Modelo Circuitual en Recepción (Adaptación).
- 3.3.2 Área Efectiva y Longitud Efectiva.

3.4 Parámetros de Antena en Transmisión y Recepción

- 3.4.1 Coeficiente de desacople de polarización
- 3.4.2 Ecuación de Transmisión.

3.5 Temperatura de Ruido de Antena (parámetro de antenas en recepción)

- 3.5.1 Modelado de ruido en receptores.
- 3.5.2 Factor de Ruido de un Receptor
- 3.5.3 Fuentes de ruido externo
- 3.5.4 Relación Señal-Ruido (S/N)
- 3.5.5 Sensibilidad de un Receptor
- 3.5.6 Fuentes de ruido interno
- 3.5.7 Factor de Mérito de una estación receptora

Tema 4. Propagación de Ondas en entornos Radio.

4.1. Propagación en el espacio libre y en el entorno terrestre.

4.2. Efecto de la Tierra.

- 4.2.1. Onda de Superficie.
- 4.2.2. Reflexión en Tierra Plana.

- 4.2.3. Difracción.
- 4.3. Efecto de la Troposfera.
 - 4.3.1. Atenuación atmosférica.
 - 4.3.2. Refracción y Difusión Troposférica.
- 4.4. Efecto de la Ionosfera
 - 4.4.1. Reflexión Ionosférica.
- 4.5. Modelos de propagación en entornos móviles.

Tema 5. Introducción al análisis de estructuras radiantes y agrupaciones de Antenas y Sensores.

- 5.1. Introducción a la radiación
 - 5.1.1. Expresiones básicas de los campos radiados.
 - 5.1.2. Campo Cercano y Campo Lejano.
- 5.2. Antenas básicas.
 - 5.2.1. Dipolos y Monopolos.
 - 5.2.2. Otros tipos de estructuras radiantes.
- 5.3. Introducción al análisis de Agrupación lineal de antenas.
 - 5.3.1. Factor de Array. Diagrama de Radiación de Agrupaciones
 - 5.3.2. Método Grafico de representación del Factor de Agrupación en polares.
 - 5.3.3. Agrupación Lineal Uniforme
 - 5.3.4. Directividad de Agrupaciones Lineales

Tema 6. Fundamentos de Transmisión y Recepción Acústica

- 6.1. Radiación de ondas Acústicas y Componentes Acústicos
- 6.2. Transductores Electroacústicos
 - 6.2.1. Altavoces
 - 6.2.2. Micrófonos

2: PROGRAMACIÓN DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO Y SEMINARIOS

Prácticas de Laboratorio:

PR1 - Líneas de Transmisión. Propagación de señales en régimen transitorio y estacionario senoidal. Reflectometría en el dominio del tiempo. (Laboratorio L3.06, planta 3, Ada Byron).

PR2 - El diagrama de Smith. Adaptación de impedancias. (Laboratorio L3.06, planta 3, Ada Byron)

PR3 - Introducción a las fibras ópticas. (Laboratorio L3.02, planta 3, Ada Byron)

PR4 - Medidas en fibras multimodo. (Laboratorio L3.02, planta 3, Ada Byron)

PR5 - Comprobación del funcionamiento de una Instalación de Antena Colectiva atendiendo a la normativa de ICT. (Laboratorio L3.06, planta 3, Ada Byron)

PR6 - Medidas de antenas: Diagrama de Radiación y Polarización. (Laboratorio L3.06, planta 3, Ada Byron)

PR7 - Medidas de propagación: transmisión en espacio libre, difracción y onda de espacio. (Laboratorio L3.06, planta 3, Ada Byron)

PR8 - Diseño y simulación electromagnética de una agrupación de antenas. (Laboratorio L3.06, planta 3, Ada Byron)

Seminarios y Trabajos supervisados (con tutoría)

- Seminarios de Introducción a las Infraestructuras Comunes de Telecomunicación.
- Planteamiento del diseño y desarrollo en grupos de alumnos de una Infraestructura Común de Telecomunicaciones según normativa actual.

Planificación y calendario

Calendario de sesiones presenciales y presentación de trabajos

A lo largo del cuatrimestre se realizará la siguiente distribución de actividades:

- Sesiones semanales de clases magistrales integradas con clases de problemas.
- 8 sesiones de prácticas de laboratorio, en grupos reducidos, de 2 horas de duración desarrolladas en los Laboratorios de Alta Frecuencia (L3.06) y Laboratorio de Óptica (L3.02) situados en la tercera planta del Edificio Ada Byron del Campus Río Ebro.
- 2 sesiones de introducción a la Infraestructuras Comunes de Telecomunicación (ICT) de 2 horas de duración emplazadas en forma de Seminarios.

Los horarios de tutoría de trabajos serán flexibles y se fijarán a conveniencia entre los alumnos y el profesorado.

En cualquier caso, las clases magistrales y de problemas se imparten según el horario establecido por la Escuela, así como las sesiones de prácticas de laboratorio. El alumno, en este último caso, dispondrá de acceso a grupos de prácticas reglados.

Al respecto de las pruebas de evaluación gradual liberatoria de la parte de teoría se fijarán dentro del calendario establecido por La Escuela y en dos partes, una a mitad de curso y otra al final del curso avisando a los alumnos con suficiente antelación.

Al respecto de las pruebas de evaluación global se registrarán por las fechas establecidas por la Escuela.

Al respecto de la recogida de trabajos y guiones de prácticas las fechas límite de entrega de los mismos será el 2 de Mayo para las prácticas 1 a 4 y el 8 de Junio para las prácticas 5 a 8 y la ICT (Infraestructura Común de Telecomunicación).

Bibliografía y Recursos

- CHENG, D.K., "Field and wave electromagnetics", 2nd ed., Addison-Wesley, 1989.
- ELLIOT R.S., "An introduction to Guided Waves and Microwave Circuits", Prentice-Hall 1993.
- COLLING R.E.: Foundations for microwave engineering, Willey IEEE Press, December 2000.
- G. KEISER, "Optical Fiber Communicatons", 3rd ed., McGraw-Hill, 1999.
- J. GOWAR, "Optical Communications Systems", 2nd ed., Prentice Hall, 1993.

- CARDAMA A, y otros, "Antenas" Edicions UPC, 2ª Edición, Nov 2002.
- BALANIS C. A. "Antenna Theory Analysis and Design, John Wiley and Sons, 3rd edition.
- HERNANDO RÁBANOS J. M "Transmisión por radio" 6ª ed. Madrid : Editorial Universitaria Ramón Areces, 2008
- Kinsler L. E., Frey A. R., Coppers A. B., Sanders J. V. "Fundamentals of acoustics", John Wiley and Sons, 4th edition, 2005

Del mismo modo, y atendiendo a los soportes digitales facilitados por la Universidad de Zaragoza, se suministrará a los alumnos matriculados en la asignatura el acceso a un conjunto de NOTAS DE CLASE y COLECCIÓN DE PROBLEMAS elaborados por los profesores encargados.

Referencias bibliográficas de la bibliografía recomendada

- 1. Cheng, David K.. Field and wave electromagnetics / David K. Cheng . - 2nd. ed., 4th. printing Reading (Massachusetts) : Addison-Wesley, 1991
- 2. ELLIOT R.S. An introduction to Guided Waves and Microwave Circuits Prentice-Hall 1993.
- 3. Collin, Robert E.. Foundations for microwave engineering / Robert E. Collins. - 2nd ed. New York [etc.] : McGraw-Hill, cop. 1992
- 4. Keiser, Gerd. Optical Fiber communications / Gerd Keiser . - 2nd edition New York [etc.] : McGraw-Hill, cop. 1991
- 5. Gowar, John. Optical communication systems / John Gowar . - 2nd. ed. New York [etc.] : Prentice Hall, cop. 1993
- 6. Antenas / Angel Cardama Aznar ... [et al.] . - 2ª ed., reimp. Barcelona : UPC, 2005
- 7. Balanis, Constantine A.. Antenna theory : analysis and design / Constantine A. Balanis . - 2nd. ed. New York [etc.] : John Wiley, cop. 1997
- 8. Hernando Rábanos, José María. Transmisión por radio / José María Hernando Rábanos . - 3a. ed. Madrid : Centro de Estudios Ramón Areces, 1998
- 9. Fundamentals of acoustics / Lawrence E. Kinsler... [et al.] . - 3rd ed. New York : John Wiley & Sons, 1982