



Universidad de Granada

Curso 2011-2012

Antenas y Propagación



*4º Curso de Ingeniero de
Telecomunicación*

Profesores: Ignacio Sánchez García y Sergio
Toledo Redondo
Departamento de Electromagnetismo y
Física de la Materia. Facultad de Ciencias

ETSIIT
Escuela Técnica Superior
de Ingenierías Informática
y de Telecomunicación



Datos Académicos de la Asignatura:

La asignatura de Antenas y Propagación corresponde a una asignatura de 6 créditos troncales en el Plan de Estudios del Ingeniero de Telecomunicación de la Universidad de Granada. Dentro de este plan, la asignatura se imparte en el segundo cuatrimestre de cuarto curso y es impartida por profesores del Área de Electromagnetismo (EM) del Departamento de Electromagnetismo y Física de la Materia (EMyFM). Este Departamento pertenece a la Facultad de Ciencias situado en el Campus de Fuentenueva.

Los créditos troncales de la asignatura se reparten en 4.5 créditos para contenidos teóricos (3 horas por semana durante un cuatrimestre) y 1.5 créditos para contenidos prácticos (1 hora por semana durante un cuatrimestre)

Profesor de la Asignatura:

Los profesores que impartirán la asignatura durante el curso 2011-2012 son:

<i>Asignatura</i>	<i>Profesor</i>	<i>Tutoría (cita previa)</i>	<i>E-mail</i>
Teoría	Ignacio Sánchez García Profesor Titular de Universidad	martes y jueves de 12 a 14 horas y viernes de 10 a 12	isanchez@ugr.es
	Sergio Toledo Redondo Becario predoctoral	Por fijar	sergiotr@ugr.es
Práctica	Ignacio Sánchez García Profesor Titular de Universidad	martes y jueves de 12 a 14 horas y viernes de 10 a 12	isanchez@ugr.es

Las tutorías se desarrollarán en el Departamento de Electromagnetismo y Física de la Materia de la Facultad de Ciencias (Campus de Fuentenueva), despacho 112 y 114 de la segunda planta del Edificio de Físicas. La petición de cita previa puede realizarse directamente a los profesores o mediante un e-mail a la dirección isanchez@ugr.es o sergiotr@ugr.es. También es posible realizar tutorías virtuales a través del e-mail o mediante los diferentes mecanismos (foros, chats, etc.) que se ofrecen en la plataforma docente de la asignatura, <http://freya.ugr.es/moodle>. Las tutorías virtuales (a través de la web de la asignatura o mediante correo electrónico) pueden realizarse sin horario establecido ni cita previa.

Justificación y Objetivos:

La justificación de esta asignatura en el actual plan de estudios del Ingeniero de Telecomunicación está en la necesidad de establecer un canal de comunicación radioeléctrico en una amplia banda de frecuencia. Para ello es necesario el estudio y

diseño de sistemas radiantes que nos permitan comprender y entender dicho enlace de comunicación en espacio libre. En este estudio se abordará la selección del tipo de antena óptima para cada tipo de enlace así como su adaptación a la alimentación de las mismas.

El objetivo principal de esta asignatura es dar una visión básica y general del fenómeno de la propagación y de la radiación electromagnética, estudiando por una parte, el fenómeno de la propagación en espacio libre (las regiones confinadas se estudian en la asignatura de Transmisión por Soporte Físico), y por otra parte, estudiando los parámetros básicos que se utilizan para especificar esta radiación, presentando por otra los tipos de antenas más comúnmente utilizados. Se introducen también los modelos físicos de propagación de las ondas de radio en diferentes entornos en los que tiene lugar la comunicación.

Al finalizar la asignatura, el alumno será capaz de:

- ✓ Comprender los mecanismos por los que se produce el fenómeno de la radiación.
- ✓ Identificar y definir los principales parámetros que caracterizan a los sistemas radiantes (antenas transmisoras y receptoras)
- ✓ Conocer las bases físico-matemáticas que permiten la determinación de la forma de radiar de las antenas.
- ✓ Estudiar las condiciones que han de cumplir el sistema antena-alimentación para su correcta adaptación.
- ✓ Resolver problemas que requieren un manejo de conceptos básicos relacionados con el medio de propagación (espacio libre) así como de los propios sistemas radiantes.
- ✓ Realizar cálculos de pérdidas en los diferentes medios así como la realización de balances de potencia.
- ✓ Calcular los parámetros básicos de antenas.
- ✓ Adquirir las habilidades prácticas para la realización de medidas básicas a diferentes rangos de frecuencias.

Conocimientos previos y prerequisites:

Para poder cumplir estos objetivos y que el alumno pueda realizar un seguimiento adecuado de los conceptos y métodos que se desarrollarán en esta asignatura, es necesario que se haya cursado y comprendido los conocimientos básicos de las asignaturas contempladas en el actual Plan de Estudios y en particular el alumno ha de demostrar conocimientos y habilidades en:

- ✓ Cálculo vectorial: sistemas de coordenadas, su transformación, cálculo y manejo de operadores diferenciales vectoriales (gradiente, divergencia,

rotacional, etc.) así como identidades y teoremas relacionados con el cálculo vectorial.

- ✓ Conceptos elementales de Física
- ✓ Amplios conocimientos de campos electromagnéticos y en particular de las ecuaciones de Maxwell con variación armónica y condiciones de contorno que han de cumplir en las interfaces de diferentes medios. Ondas planas y su propagación en espacios ilimitados. Condiciones en la frontera de dos medios. Densidad de potencia y vector de Poynting, impedancia de onda, velocidad de fase y grupo, etc.
- ✓ Conceptos de teoría de circuitos y el tratamiento fasorial de las señales armónicas en el tiempo. Manejo del cálculo complejo.
- ✓ Análisis espectral (transformadas de Fourier)
- ✓ Concepto de medios de transmisión (coaxiales y guías de ondas) y en particular el problema de la adaptación de impedancias.

Estos conocimientos se deben haber adquirido o se adquieren, entre otras, en las siguientes asignaturas:

- ✓ Cálculo (Primer curso)
- ✓ Fundamentos Físicos de la Ingeniería (Primer curso)
- ✓ Análisis de Circuitos (Primer curso)
- ✓ Campos Electromagnéticos (Segundo curso)
- ✓ Fundamentos Matemáticos I (Segundo curso)
- ✓ Señales Digitales (Segundo curso)
- ✓ Transmisión por Soporte Físico (Cuarto curso)

Programa teórico de la asignatura:

Tema 1. Fundamentos de la Radiación. Ecuaciones de Maxwell

- 1.1. Introducción
- 1.2. Ecuaciones de Maxwell y vector de Poynting
- 1.3. Funciones potenciales de fuentes eléctricas y magnéticas. Potenciales retardados.
- 1.4. Ecuación de onda y sus soluciones
- 1.5. Campos electromagnéticos debido a corrientes eléctricas. Aproximación de campo lejano. Vector de radiación
- 1.6. Aproximación de campo lejano.
- 1.7. Radiación por corrientes magnéticas. Vector de radiación
- 1.8. Zonas de Fresnel y Fraunhofer

Tema 2. Parámetros básicos de radiación

- 2.1. Introducción.
- 2.2. Parámetros de antenas en transmisión.
 - 2.2.1. Impedancia de antena

- 2.2.2. Eficiencia de antena
- 2.2.3. Intensidad de radiación
- 2.2.4. Diagrama (patrón) de radiación
- 2.2.5. Ganancia directiva, directividad y ganancia de antena
- 2.2.6. Polarización
- 2.3. Parámetros de antenas en recepción
 - 2.3.1. Adaptación
 - 2.3.2. Área y longitud efectiva
 - 2.3.3. Temperatura de antena

Tema 3. *Introducción a la propagación de ondas en medio natural*

- 3.1. Ecuación de transmisión de Friis y ecuación del radar. Influencia del medio en la propagación de OEM
- 3.2. Efecto de la tierra sobre la propagación de OEM
 - 3.2.1. Reflexión en tierra plana
 - 3.2.2. Difracción
 - 3.2.3. Ondas de superficie
- 3.3. Efecto de la troposfera sobre la propagación de OEM
 - 3.3.1. Atenuación
 - 3.3.2. Refracción
 - 3.3.3. Difusión troposférica
- 3.4. Efecto de la ionosfera sobre la propagación de OEM
 - 3.4.1. Propagación en un medio ionizado
 - 3.4.2. Influencia del campo magnético terrestre
 - 3.4.3. Comunicaciones ionosféricas
- 3.5. Modelización de la propagación en entornos complejos. Modelos empíricos para el valor medio de las pérdidas de propagación. El modelo Okumura-Hata

Tema 4. *Radiación de Antenas Lineales*

- 4.1. Introducción
- 4.2. Antenas dipolos
 - 4.2.1. Dipolo eléctrico elemental
 - 4.2.2. Dipolo magnético elemental
 - 4.2.3. Dipolo corto
 - 4.2.4. Dipolo de longitud arbitraria
 - 4.2.5. Dipolo de media longitud de onda
- 4.3. Autoimpedancia e Impedancia mutua. Teorema de reciprocidad
- 4.4. Balunes
- 4.5. Dipolo doblado
- 4.6. Monopolos frente a planos conductores. Efecto de la tierra sobre el diagrama de radiación
- 4.7. Antena cargadas
- 4.8. Antenas de lazo
- 4.9. Otras antenas lineales

- 4.9.1. Antena Yagi-Uda
- 4.9.2. Antenas de Hélice

Tema 5. Agrupación de Antenas

- 5.1. Análisis de Agrupaciones de antenas
 - 5.1.1. Introducción
 - 5.1.2. Principio de multiplicación de diagramas. Factor de array
 - 5.1.3. Agrupación lineal uniforme
 - 5.1.4. Directividad de agrupaciones lineales
 - 5.1.5. Agrupaciones bidimensionales
- 5.2. Síntesis de agrupaciones
 - 5.2.1. Introducción
 - 5.2.2. Método de Schelkunoff
 - 5.2.3. Síntesis de Fourier
 - 5.2.4. Síntesis de Dolph-Chebyshev

Tema 6. Antenas de Apertura, Bocina y Reflectores

- 6.1. Introducción
- 6.2. Revisión de guías de ondas
- 6.3. Campos radiados por aperturas. Principio del campo equivalente
 - 6.3.1. Apertura elemental
 - 6.3.2. Apertura rectangular uniforme
- 6.4. Antenas de Bocina (horn antennas)
 - 6.4.1. Bocinas sectoriales
 - 6.4.1.1. Bocinas en Plano E
 - 6.4.1.2. Bocinas en Plano H
 - 6.4.2. Bocinas Piramidales
- 6.5. Reflectoras
 - 6.5.1. Reflectores planos
 - 6.5.2. Reflectores diédricos
 - 6.5.3. Reflectores parabólicos
 - 6.5.3.1. Análisis geométrico y electromagnético
 - 6.5.3.2. Tipos de alimentador
 - 6.5.3.3. Geometrías del reflector

Programa práctico de la asignatura:

- Práctica 1.** Medida de parámetros de antena
- Práctica 2.** Caracterización de antenas.
- Práctica 3.** Antenas Lineales. Medida de la impedancia de entrada y de la ganancia de la antena por el método de comparación.
- Práctica 4.** Por determinar

Práctica 5. Diseño de antenas lineales. Simulación por ordenador (práctica no presencial)

Práctica 6. Diseño de antenas de bocina y parabólicas (práctica no presencial)

Aspectos metodológicos de la asignatura:

Durante las clases se expondrán los contenidos teóricos de la materia que constituirán el núcleo central de los conocimientos que tiene que adquirir el alumno.

Las clases teóricas consistirán en el desarrollo de los diferentes temas del programa por parte del profesor, mediante transparencias en PowerPoint y demostraciones en la pizarra. Se proporcionarán a los alumnos todo el material necesario para el desarrollo de la asignatura (contenido de las transparencias, relaciones de problemas, programas de ordenador, etc.) en formato electrónico. Esta información estará accesible en la Web de la asignatura (<http://freya.ugr.es/moodle/> mediante acceso identificado). **Esta información no aparecerá ni en el tablón de docencia, ni en la plataforma SWAD.**

Las clases teóricas se impartirán en el aula 0-6 con el siguiente calendario

 Miércoles de 9 a 11 horas

 Jueves de 9 a 10 horas

Los créditos prácticos (15 horas lectivas) se dedicarán a la resolución de problemas en el aula 0-6 y a sesiones prácticas en el laboratorio 2-6.

Respecto a la resolución de problemas, se propondrán una relación de problemas, algunos de los cuales se desarrollarán en las clases prácticas. Se recomienda que el alumno se esfuerce en resolver dichos problemas ya que estos serán del mismo tipo del examen. Independientemente a la relación de problemas de cada tema, se pondrá a vuestra disposición una colección de problemas de toda la asignatura en la que se insertarán las soluciones finales de los mismos.

Al igual que en años anteriores, se propondrá como actividad docente la posibilidad de entregar algunos problemas seleccionados de las relaciones de problemas (en formato electrónico a través de la plataforma docente Moodle) para su corrección y evaluación. **Esta actividad es voluntaria y puede aumentar la nota final de la asignatura en un máximo de 1 punto.**

Las clases correspondientes a los créditos prácticos se desarrollarán, en el Laboratorio 2.6 para las prácticas presenciales y para las prácticas de diseño y simulación por ordenador las aulas de informática de la Escuela. El calendario de prácticas se fijará durante el transcurso de la asignatura.

De igual forma que los temas teóricos, se facilitará un guión de prácticas (por los mismos medios que las transparencias) en la que se expondrá una introducción y un pequeño resumen teórico así como una planilla donde reflejar los resultados obtenidos. El profesor contestará a las dudas que vayan surgiendo y realizará los comentarios oportunos a lo largo de la práctica. Al final de cada guión habrá una serie de cuestiones de autoevaluación que permitirá al alumno obtener una idea de los conocimientos adquiridos.

La realización de las prácticas se hará en sesiones de dos horas en semanas alternadas y el calendario de las mismas estará expuesto en la plataforma <http://freya.ugr.es/moodle>.

La práctica 5 y 6 son no presenciales por lo que la podréis desarrollar a lo largo del curso.

Evaluación de la asignatura:

Con respecto a la evaluación de la asignatura, ésta consistirá en un examen final donde se valorará el nivel de conocimientos adquiridos tanto en las sesiones teóricas, prácticas así como en los problemas.

Esta evaluación tendrá una primera parte compuesta de cuestiones tipo test y/o preguntas cortas en la cual no se podrá disponer de material de apoyo alguno y una segunda parte de ejercicios a la que se podrá llevar un **formulario básico** de la asignatura y el libro de tablas matemáticas. No se admiten libros de teoría, problemas, las transparencias de clase y/o cualquier otro tipo de apuntes.

La calificación de cada parte será de 0 a 10 puntos y la calificación final de la asignatura se obtendrá mediante la fórmula **$0.3 \cdot \text{nota de teoría} + 0.7 \cdot \text{nota de los ejercicios} + \text{nota obtenida por la entrega de problemas hasta un máximo de 1 punto}$** .

La calificación de las prácticas será apto o no apto

Para superar la asignatura, el alumno deberá obtener al menos un 5 en la nota global y tener compensadas ambas partes de la evaluación (teoría y problemas).

Los exámenes se realizarán según el siguiente calendario

Periodo	Fecha	Aula	Hora
Junio-Julio	5 de Julio de 2012	A determinar	9:00
Septiembre	17 de Septiembre de 2012	A determinar	9:00

* La convocatoria oficial de las pruebas se pondrá en la plataforma Web de la asignatura, en la web de la Escuela, en el tablón de anuncios del Departamento y en la puerta del despacho del Profesor.

Información adicional:

Como se ha comentado anteriormente, todo el material necesario para el desarrollo de la asignatura se enviará en formato electrónico.

Las transparencias del curso se enviarán en formato PDF, por los que aquellos alumnos que no posean un visualizador de PDF lo podrán descargar, de forma gratuita, en la dirección de Internet <http://www.adobe.com/es/products/acrobat/readstep2.html>

Con respecto a las tutorías se pueden realizar de forma presencial en el despacho del profesor con cita previa o de forma electrónica mediante la plataforma virtual o envío de correo electrónico a la dirección isanchez@ugr.es.

Como se ha comentado la dirección electrónica de la plataforma de la asignatura es <http://freya.ugr.es/moodle> y tras acceder nos aparece una pantalla tal como la mostrada en la figura [1]



Figura 1

Guía Docente de la Asignatura de Antenas y Propagación 4º de Ingeniero de Telecomunicación

Si entramos por primera vez, necesitamos solicitar el alta en la misma. Esto se hace mediante el acceso “[Entrar](#)”. Situado en la esquina superior derecha. La pantalla que nos aparece es como la mostrada en la figura [2]

Usted no se ha autenticado. ([Entrar](#))

freya ▶ Entrar al sitio Español - Internacional (es)

Usuarios registrados

Entre aquí usando su nombre de usuario y contraseña
(Las 'Cookies' deben estar habilitadas en su navegador) ?

Nombre de usuario
Contraseña

¿Olvidó su nombre de usuario o contraseña?
[Sí, ayúdeme a entrar](#)

Registrarse como usuario

Hola. Para acceder al sistema tómese un minuto para crear una cuenta. Cada curso puede disponer de una "clave de acceso" que sólo tendrá que usar la primera vez. Estos son los pasos:

1. Rellene el [Formulario de Registro](#) con sus datos.
2. El sistema le enviará un correo para verificar que su dirección sea correcta.
3. Lea el correo y confirme su matrícula.
4. Su registro será confirmado y usted podrá acceder al curso.
5. Seleccione el curso en el que desea participar.
6. Si algún curso en particular le solicita una "contraseña de acceso" utilice la que le facilitaron cuando se matriculó. Así quedará matriculado.
7. A partir de ese momento no necesitará utilizar más que su nombre de usuario y contraseña en el formulario de la página para entrar a cualquier curso en el que esté matriculado.

Figura 2

Nueva cuenta - Windows Internet Explorer
http://freya.ugr.es/moodle/login/signup.php

freya ▶ Entrar ▶ Nueva cuenta Español - Internacional (es)

Crear un nuevo usuario y contraseña para acceder al sistema

Nombre de usuario*

Contraseña* ☐ Desenmascarar

The password must have at least 8 characters, at least 1 digit(s), at least 1 lower case letter(s), at least 1 upper case letter(s), at least 1 non-alphanumeric character(s)

Por favor, escriba algunos datos sobre usted

Dirección de correo*

Correo (de nuevo)*

Nombre*

Apellido*

Ciudad*

País* Seleccione su país

reCAPTCHA ?

Escriba las palabras de arriba

[Obtener otro CAPTCHA](#)
[Obtener un CAPTCHA de audio](#)

La cual rellenaremos con todos los datos que nos solicita. Para evitar altas enviadas por ordenadores se ha instalado un sistema de seguridad mediante la introducción de las dos palabras que se os muestran distorsionadas. Si alguna no se lee correctamente

podéis solicitar un nuevo conjunto de palabras pulsando el link GET ANOTHER CAPTCHA (os recomiendo usar el sistema de imagen y no el de audio ya que éste se escucha fatal).

Una vez rellenos todos los campos (todos son necesarios) pulsaremos la opción “Crear Cuenta”, tal y como se muestra en la imagen

Una vez que se solicita crear la cuenta, aparece un mensaje de error tal como el de la figura [3]

Una vez confirmado, hemos de identificarnos mediante el nombre de usuario y contraseña tal y como se muestra en la pantalla siguiente:

The screenshot shows the Moodle login interface in a Windows Internet Explorer browser. The address bar shows 'http://fiteya.ugr.es/moodle/'. The page features the Moodle logo at the top. On the left, there is a login form with fields for 'Nombre de usuario' (containing 'admin') and 'Contraseña', and an 'Entrar' button. Below the form, there is a link to 'Comience ahora creando una cuenta' and a note '¿Ha extraviado la contraseña?'. The main content area is titled 'Cursos disponibles' and lists two courses: 'Antenas y Propagación.- Curso 2011-2012' by Ignacio Sánchez García and Sergio Toledo, and 'Circuitos Eléctricos: Teoría e Instrumentación. Curso 2011-2012' by Ignacio Sánchez García. Each course has a brief description. On the right, there is a section for 'Docencia impartida por el Profesor Ignacio Sánchez' and a 'Calendario' for February 2012.

Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29			

Pulsaremos sobre la/s asignatura/s de la/s que estamos matriculados.

Seguidamente nos aparece una pantalla como la de la figura.

Guía Docente de la Asignatura de Antenas y Propagación
4º de Ingeniero de Telecomunicación



En ella podemos tener información sobre los alumnos que están conectados en este momento, acceso a un correo interno. Acceso a la administración de la información personal del alumno y calificaciones obtenidas en las actividades. Novedades, calendario en el que se marcaran los días importantes para la asignatura (entrega de trabajos, exámenes, etc), etc.

La primera vez que se accede a la plataforma, necesitamos introducir la ficha electrónica para el profesor. A esta ficha se accede mediante el botón de editar información en el cuadro de administración.

Es importante que en el apartado de teléfono pongáis vuestro móvil ya que el profesor suele enviar mensajes SMS con noticias importantes relacionadas con la asignatura (cambio de aula de última hora, convocatoria de prácticas, etc.). También es importante que coloquéis una fotografía vuestra para así poder identificaros mejor.

Bibliografía

BIBLIOGRAFÍA FUNDAMENTAL:

- Transparencias de clase. Disponibles en la página web.
- “Antennas. For All Applications”. J. D. Kraus. R. J. Marhefka. McGraw Hill. 3rd edition. 2002
- “Antenna Theory and Design”, W. Stutzman and G. Thiele, John Wiley & Sons, 1998.
- “Antenas”, A. Cardama y otros autores, Ed UPC, 2002.
- “Antenna Theory: Analysis and design”, C. A. Balanis, Ed. Wiley, 3 edition, 1997.
- “Antenna Theory and Design”, R. E. Elliot, Ed. IEEE Press, 2003.
- “Antennas and Radio wave Propagation”, R. E. Collin, Ed. McGraw Hill, 1985
- “Antennas: fundamentals, design, measurement”, L. V. Blake and M. W. Long, Ed. Scitech, 3 edition, 2009

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA:

- “Engineering Electromagnetics”, N. Ida, Ed. Springer Verlag, 2004
- “Elements of Electromagnetics”, M. Sadiku, Ed Oxford University Press, 2001
- “Propagation of radio waves”, M. Dolukhanov, Ed. MIR, 1995
- “Transmisión por Radio”, J. M. Hernando Rábanos, Ed. Centro de Estudios Ramón Areces, 3 Ed., 1998.
- “Advanced Engineering Electromagnetic”, C. A. Balanis, Ed. Wiley, 1989.
- “Fields and waves in communication electronics”, J. W. Simon Ramo and T. V. Duzer, Ed., Wiley, 1993.
- “Transaction on Antennas and Propagation”, publication of IEEE antennas and propagation society
- “Antennas and Propagation Magazine”, publication of IEEE antennas and propagation society