

## **Identificación de la asignatura**

Asignatura: **ELECTROMAGNETISMO**

Créditos: 9

Curso: Tercer curso de la Licenciatura en FÍSICAS

Departamento: ELECTRÓNICA Y ELECTROMAGNETISMO

Área de Conocimiento: ELECTROMAGNETISMO

Profesores: Rafael Rodríguez Boix (e-mail: [boix@us.es](mailto:boix@us.es)) y Ricardo Marqués Sillero (e-mail: [marques@us.es](mailto:marques@us.es))

Año académico: 2003-2004

**OBJETIVOS:** De acuerdo con los descriptores de la Licenciatura de Física, esta asignatura tiene como objetivo proporcionar a los estudiantes un conocimiento de las leyes básicas del electromagnetismo. La teoría clásica del electromagnetismo es la primera "teoría de campos" con la que los estudiantes se enfrentan a lo largo de sus estudios de Física, lo que constituye quizás la barrera conceptual más importante a superar a lo largo de esta asignatura. Los contenidos de esta asignatura se complementan con los impartidos en la parte adscrita al Área de Electromagnetismo de la Asignatura "Técnicas Experimentales II" y con la asignatura optativa "Electromagnetismo en la Materia"

## **PROGRAMA:**

### **Tema 1: ELECTROSTÁTICA EN EL VACÍO**

1.a.- Fundamentos de electrostática: Carga eléctrica y sus propiedades. Ley de Coulomb: enunciado, discusión y rango de validez. Principio de superposición. Campo eléctrico de cargas puntuales. Energía potencial electrostática. Leyes de conservación: conservación del momento, de la energía y de la carga. Circulación y flujo del campo electrostático: ley de Gauss. Potencial electrostático de un sistema de cargas puntuales. Líneas de campo y superficies equipotenciales

1.b.- El campo de distribuciones continuas de carga: Densidades de carga y de corriente. Ecuación de continuidad. Campo y potencial de una distribución de carga. Ecuaciones diferenciales y condiciones de contorno para el campo y el potencial. Singularidades del campo y el potencial en cargas puntuales; función Delta de Dirac. Teorema de reciprocidad. Energía de una distribución continua de carga. Energía almacenada en el campo. Autoenergía y energía de interacción.

1.c.- Desarrollos multipolares: Desarrollo multipolar del potencial. Condición de invariancia de los momentos multipolares. El dipolo eléctrico. Campo y potencial de un dipolo. Interacción de un dipolo con un campo externo: energía, fuerzas y par sobre un dipolo

1.d.- Límites de validez de la electrostática: limitaciones en distancia, velocidad y aceleración de las cargas en interacción.

1.e.- Problemas: Cálculo del campo y el potencial de distribuciones de carga conocidas. Cálculo de los momentos dipolares de distribuciones de carga conocidas.

## **Tema 2: SISTEMAS DE CONDUCTORES EN EQUILIBRIO:**

2.a.- Conductores en equilibrio: Carga, campo y potencial en un conductor en equilibrio electrostático. Condiciones de contorno en la superficie de un conductor en equilibrio.

2.b.- Teoría de potencial: Teorema de existencia y unicidad para el potencial electrostático. Teorema de existencia y unicidad para contornos conductores. Teorema del valor medio. Teorema de reciprocidad para sistemas de conductores. Teoremas variacionales para la carga (Teorema de Thompson) y el potencial.

2.c.- Energía y fuerzas: Energía electrostática de un sistema de conductores. Trabajo y fuerzas: principio de los trabajos virtuales. Cálculo de fuerzas aplicando el principio de los trabajos virtuales.

2.d.- Coeficientes de Capacidad y Potencial: Definición. Propiedades. Condensadores. Interconexión de condensadores. Cálculo de la energía usando los coeficientes de capacidad y potencial. Energía de un condensador. Cálculo de fuerzas por el principio de los trabajos virtuales.

2.e.- Problemas: Problemas de potencial con contornos conductores: método de las imágenes, método de separación de variables, métodos aproximados y numéricos. Cálculo de las matrices de capacidad; simetrías. Cálculo de fuerzas.

### **Tema 3: POLARIZACIÓN, CONDUCCIÓN Y RELAJACIÓN AL EQUILIBRIO:**

3.a.- Polarización: Cargas inducidas y de polarización. Vectores de polarización y desplazamiento eléctrico. Ecuaciones diferenciales y condiciones de contorno. Relaciones constitutivas; dieléctricos lineales e isótropos. Trabajo necesario para crear un campo eléctrico en presencia de medios polarizables. Coeficientes de capacidad y Potencial. Energía y fuerzas.

3.b.- Conducción en el estado estacionario: Ecuaciones diferenciales y condiciones de contorno. Medios conductores lineales e isótropos: Ley de Ohm. Ecuaciones y condiciones de contorno en medios óhmicos. Resistencia eléctrica. Circuitos de corriente continua: Leyes de Kirchoff.

3.c.- Relajación al equilibrio: Ecuación de relajación de la carga; tiempos de relajación. Relajación electrostática en medios óhmicos. Ecuaciones y condiciones de contorno en medios óhmicos.

3.d.- Problemas: Problemas electrostáticos con medios conductores y aislantes. Calculo de fuerzas por el principio de los trabajos virtuales. Problemas de potencial en el estado estacionario en medios óhmicos. Transitorios en medios óhmicos polarizables

### **Tema 4.- EL CAMPO MAGNÉTICO ESTACIONARIO:**

4.a.- Fuerza y campo magnético: Fuerza entre elementos de corriente: ley de Biot y Savart. Propiedades de la fuerza magnética. Leyes de conservación para corrientes abiertas y cerradas. Campo magnético. Transformaciones galileanas de los campos.

4.b.- Movimiento de partículas cargadas en campos magnéticos: Movimiento en campos magnéticos. Fuerza de Lorentz. Movimiento en campos magnéticos y eléctricos uniformes.

4.c.- Ecuaciones de la magnetostática. Potenciales: Rotacional y divergencia de  $\mathbf{B}$ . Inconsistencia de la Ley de Ampère en campos variables con el tiempo. El potencial vector magnético. El potencial escalar magnético.

4.d.- Desarrollos multipolares: Desarrollo multipolar del potencial vector. Momento dipolar magnético. Fuerza y par sobre un momento dipolar magnético.

4.e.- Problemas: Cálculo de campos magnéticos producidos por corrientes conocidas. Movimiento de cargas en campos magnéticos y eléctricos. Cálculo de potenciales magnéticos. Cálculo de momentos dipolares.

#### **Tema 5. - LEY DE FARADAY. ENERGÍA DEL CAMPO MAGNÉTICO:**

5.a.- Ley de Faraday: Fuerza electromotriz en espiras en movimiento. Fuerza electromotriz en campos variables con el tiempo: ley de Faraday. Ecuaciones y potenciales de la cuasi-magnetostática. Energía almacenada en un campo magnético.

5.b.- Autoinducción e inducción mutua: Autoinducción de una espira. Inducción mutua en sistemas de espiras: fórmula de Neumann. Energía en un sistema de espiras. Fuerzas: aplicación del principio de los trabajos virtuales.

5.c.- Circuitos de corriente alterna: Generadores y fuerza electromotriz. Autoinducción como elemento de circuito. Fasores. Concepto de impedancia. Composición de impedancias en serie y en paralelo.

5.d.- Problemas: Cálculo fuerzas electromotrices. Cálculo de autoinducciones e inducciones mutuas. Cálculo de fuerzas en sistemas de espiras y bobinas. Circuitos de corriente alterna.

#### **Tema 6. - MAGNETIZACIÓN:**

6.a.- Ecuaciones del campo magnético en la materia: Magnetización y corrientes de magnetización. Ecuaciones diferenciales y condiciones de contorno. Potencial escalar magnético y densidad de polo magnético.

6.b.- Medios lineales e isótropos: Susceptibilidad y permeabilidad magnética. Medios para- y diamagnéticos. Medios magnéticos con alta permeabilidad magnética efectiva: el transformador. Imanes permanentes. Energía y fuerzas en medios lineales. Aplicación del principio de los trabajos virtuales.

6.c.- Problemas: Cálculo de corrientes de magnetización y densidades de polo magnético. Cálculo de campos magnéticos en situaciones sencillas. Transformadores. Cálculo de fuerzas.

## **Tema 6.- ECUACIONES DE MAXWELL**

6.a.- Ecuaciones de Maxwell: Corriente de desplazamiento y ecuaciones de Maxwell. Teorema de Poynting: conservación de la energía. Teorema de conservación de la cantidad de movimiento: tensor de tensiones.

6.b.- Ecuaciones de Maxwell para campos armónicos: Ecuaciones de Maxwell en el dominio de la frecuencia: fasores de los campos. Teorema de Poynting complejo: potencia activa y reactiva.

6.c.- Teoría de circuitos como caso límite de las ecuaciones de Maxwell: Condiciones generales de validez de la teoría de circuitos. Potencia activa y potencia reactiva en circuitos de corriente alterna.

6.d.- Problemas: Balances de energía. Cálculo de fuerzas mediante el tensor de tensiones. Potencia y energía en circuitos de corriente alterna.

### **Bibliografía**

#### A) GENERAL (recomendados)

J.R. Reitz, F.J. Milford, R.W. Christy, "Fundamentos de la teoría electromagnética", Fondo Educativo Interamericano, 1984.

David. J. Griffiths, "Introduction to Electrodynamics", Prentice Hall, 1989

M. Zahn, "Teoría electromagnética", Editorial Interamericana, 1983. [Problemas]

R.P. Feynman, R.B. Leighton, M. Sands, "The Feynman lectures on Physics. Vol. II: Electromagnetismo y materia", Fondo Educativo Interamericano, 1972.

#### b) COMPLEMENTARIA (algunos son de difícil acceso)

M. Rodríguez Danta, C. Bellver Cebreros, A. González Fernández, "Campos electromagnéticos", Publicaciones de la Universidad de Sevilla, 1995.

Haus, J.R. Melcher, "Electromagnetic fields and energy"}, Prentice Hall, 1989.

J.D. Jackson, "Electrodinámica clásica" Editorial Alhambra, 1975.

W.K. Panofsky, M. Phillips, "Classical Electricity and Magnetism", Addison--Wesley, 1962.

B.D. Popovic, "Introductory engineering Electromagnetics", Addison Wesley, 1961.

J.A. Stratton, "Electromagnetic theory"}, McGraw--Hill, 1941.

#### c) OTROS LIBROS DE PROBLEMAS

E. Benito, "Problemas de Campos Electromagnéticos", Editorial AC, 1972.

V. López Rodríguez, "Problemas resueltos de Electromagnetismo", Editorial Centro de Estudios Ramon Areces, 1990.

E. López Pérez y F. Núñez Cubero, "100 problemas de electromagnetismo, Alianza Editorial, 1997.

Lim Yung-Kuo (editor), "Problems and solutions on Electromagnetism. (Major American Universities Ph.D. Qualifying Questions and Solutions)", World Scientific, 1993.

Muchos textos de problemas de Física General contienen buenas secciones de problemas de Electricidad y Magnetismo. También algunos de los libros de teoría mencionados en la bibliografía general contienen interesantes colecciones de problemas.

#### METODOLOGÍA

La asignatura se impartirá en clases de 50-55 minutos de duración 3 veces a la semana. En estas clases se expondrán los contenidos teóricos de la materia que constituirán el núcleo central de los conocimientos que ha de adquirir el alumno. También se resolverán ejercicios y problemas que ayuden a clarificar los conceptos, leyes físicas y técnicas expuestos en las clases de contenido más teórico. El profesor proporcionará al alumno por anticipado boletines resúmenes de las clases teóricas, conteniendo también problemas y cuestiones, que estarán accesibles asimismo en la página web [www.us.es/gmicronda/ricardo.html](http://www.us.es/gmicronda/ricardo.html)

## **EVALUACIÓN**

La evaluación se realizará a través de exámenes escritos de entre tres y cinco horas de duración en los que el alumno deberá responder a una serie de cuestiones teóricas y resolver unos problemas en los que mostrará su manejo de los conceptos y técnicas explicados. A lo largo del curso se efectuarán dos exámenes parciales, un examen final y las convocatorias extraordinarias que marca la legislación. Los exámenes parciales eliminan materia para la convocatoria ordinaria de Junio, pero no para la de Septiembre.

## **TUTORIAS**

El horario de tutorías se establecerá de común acuerdo con los alumnos a comienzo de curso, siendo diferente para cada uno de los grupos con el fin de no interferir con el horario lectivo. Asimismo será posible contactar con los profesores a través de su correo electrónico, que se indica en el encabezamiento.