

## 230465 - EMAG - Electromagnetismo

Unidad responsable: 230 - ETSETB - Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación de Barcelona  
Unidad que imparte: 748 - FIS - Departamento de Física  
739 - TSC - Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones  
Curso: 2019  
Titulación: GRADO EN INGENIERÍA FÍSICA (Plan 2011). (Unidad docente Obligatoria)  
Créditos ECTS: 6 Idiomas docencia: Inglés

### Profesorado

Responsable: Macovez, Roberto  
Otros: Rius Casals, Juan-Manuel

### Capacidades previas

Conocer y saber aplicar a nivel elemental las ecuaciones fundamentales del electromagnetismo clásico en ausencia de medios materiales. Conocer los fenómenos ondulatorios básicos y su descripción matemática.  
Conocer las herramientas básicas del análisis de campos vectoriales y tener nociones básicas sobre los números complejos

### Requisitos

Haber aprobado las asignaturas "Física 2" y "Càlcul 2"  
Haber cursado la asignatura "Mètodes Matemàtics 2"

### Competencias de la titulación a las cuales contribuye la asignatura

Específicas:

1. Conocimiento de las leyes del electromagnetismo. Aptitud para resolver problemas de ingeniería: magnetismo, electricidad y tecnología eléctrica, ondas electromagnéticas y óptica ondulatoria.

Genéricas:

3. CAPACIDAD PARA IDENTIFICAR, FORMULAR Y RESOLVER PROBLEMAS DE INGENIERÍA FÍSICA. Capacidad para plantear y resolver problemas de ingeniería física con iniciativa, tomada de decisiones y creatividad. Desarrollar métodos de análisis y solución de problemas de forma sistemática y creativa.

Transversales:

4. TERCERA LENGUA: Conocer una tercera lengua, que será preferentemente inglés, con un nivel adecuado de forma oral y por escrito y en consonancia con las necesidades que tendrán las tituladas y los titulados en cada enseñanza.
2. APRENDIZAJE AUTÓNOMO - Nivel 2: Llevar a cabo las tareas encomendadas a partir de las orientaciones básicas dadas por el profesorado, decidiendo el tiempo que se necesita emplear para cada tarea, incluyendo aportaciones personales y ampliando las fuentes de información indicadas.

### Metodologías docentes

Clases expositivas  
Clases de problemas  
Descripción de algunas aplicaciones

### Objetivos de aprendizaje de la asignatura

Al acabar la asignatura, el estudiante tiene que ser capaz de:

- identificar y aplicar el método más adecuado para la resolución de diferentes problemas de electrostática, con voltajes

## 230465 - EMAG - Electromagnetismo

aplicados, densidades de carga y dipolos eléctricos, en presencia de metales y dieléctricos

- describir, del punto de vista macroscópico y microscópico, las propiedades de los materiales conductores, dieléctricos y magnéticos, tanto por sí solos como en aplicaciones como las resistencias eléctricas, los condensadores, los imanes y los circuitos magnéticos

- calcular la energía de un sistema electromagnético, y a partir de ella las fuerzas que pueden actuar en el sistema, tanto para campos estáticos como lentamente variables

- analizar el funcionamiento de los componentes fundamentales de una red eléctrica

- describir la relación entre campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo, la luz, y los fenómenos ópticos básicos, a partir de las ecuaciones de Maxwell

- utilizar la notación compleja para describir las ondas electromagnéticas y su interferencia, así como para la resolución de ecuaciones diferenciales

- describir la propagación de las ondas electromagnéticas en medios materiales como dieléctricos, metales, plasmas, y en la separación entre medios

### Horas totales de dedicación del estudiantado

Dedicación total: 150h	Horas grupo grande:	65h	43.33%
	Horas aprendizaje autónomo:	85h	56.67%

## 230465 - EMAG - Electromagnetismo

### Contenidos

1a parte) Electroestática y magnetostática sin corrientes: materiales dieléctricos, magnéticos y sus aplicaciones

Dedicación: 80h

Grupo grande/Teoría: 21h  
Grupo mediano/Prácticas: 13h  
Actividades dirigidas: 2h  
Aprendizaje autónomo: 44h

#### Descripción:

- 0) Introducción: campos microscópicos producidos por cargas y espines y teoría de campo clásica
- 1) Resumen y ampliación de electrostática
- 1.1) Campo electrostático (E), densidad de carga ( $\rho$ ), potencial electrostático (V): Leyes de Coulomb, Gauss, y Poisson
- 1.2) Dipolo eléctrico (p): potencial y campo de un dipolo puntual; dipolos permanentes e inducidos, momento de fuerzas y energía de un dipolo eléctrico permanente en un campo aplicado
- 1.3) Distribuciones especiales de dipolos: la línea de dipolos y la esfera de dipolos; expansión multipolar
- 1.4) Propiedades electrostáticas de los metales, densidad de carga superficial ( $\sigma$ ), condiciones de frontera para E en la superficie de un metal
- 1.5) Teorema de unicidad: capacidad (C) y energía electrostática; método de las cargas imagen
- 2) Materiales dieléctricos
- 2.1) Campo de polarización (P), densidad de carga ligada; campo eléctrico producido por dieléctricos polarizados (campo despolarizante)
- 2.2) Materiales lineales vs materiales ferroeléctricos (electretos); susceptibilidad eléctrica y campo eléctrico macroscópico en dieléctricos lineales
- 2.3) Campo de desplazamiento eléctrico (D); constante dieléctrica y capacidad de condensadores en presencia de dieléctricos
- 2.4) Condiciones de frontera para E and D; relaciones entre las densidades de carga libre, ligada, y total
- 2.5) Energía electrostática en presencia de dieléctricos lineales y cálculo de fuerzas en condensadores
- 2.6) Descripción microscópica de los dieléctricos lineales (relación de Clausius-Mossotti) y de los ferroeléctricos
- 3) Materiales magnéticos y campo magnético
- 3.1) Espin y momento magnético (m); campo magnético dipolar, ley de Coulomb para el magnetismo; momento de fuerzas y energía de un dipolo magnético permanente en un campo aplicado
- 3.2) Campo de imantación (M), polos magnéticos y densidad de polo; campo auxiliar (H) para medios imantados
- 3.3) Materiales magnéticos lineales: susceptibilidad y permeabilidad magnética, paramagnetismo y diamagnetismo, campo desmagnetizante, campos H y B macroscópicos; imantación de saturación
- 3.4) Ecuaciones de Maxwell para la magnetostática sin corrientes libres; condiciones de frontera para H y B
- 3.5) Descripción microscópica de los imanes permanentes: interacción de canje, dominios magnéticos; materiales ferromagnéticos duros y blandos

#### Actividades vinculadas:

Trabajos entregados  
Examen Parcial

#### Objetivos específicos:

- Al acabar la primera mitad de la asignatura, el alumno ha de ser capaz de:
- identificar y aplicar el método más adecuado para la resolución de diferentes problemas de electrostática con potenciales aplicados, cargas y dipolos eléctricos, en presencia de materiales conductores y dieléctricos, y con condensadores
  - describir de los puntos de vista macroscópico y microscópico las propiedades de los materiales dieléctricos y magnéticos
  - calcular el impacto sobre cargas, dipolos, y medios materiales, de campos electrostáticos y magnetostáticos

## 230465 - EMAG - Electromagnetismo

2a parte) Magnetostática con corrientes, circuitos magnéticos, campos variables: ecuaciones de Maxwell y ondas electromagnéticas

Dedicación: 70h

Grupo grande/Teoría: 18h  
Grupo mediano/Prácticas: 11h  
Actividades dirigidas: 1h  
Aprendizaje autónomo: 40h

### Descripción:

- 4) Resumen y ampliación de corrientes eléctricas y magnetismo
  - 4.1) Corriente eléctrica ( $I$ ) y densidades de corriente ( $J$ ,  $K$ ); conservación de la carga; corrientes de cargas libres y ligadas
  - 4.2) Ley de Ohm local: conductividad en corriente continua ( $g$ ), clasificación de los materiales; generación de corrientes continuas
  - 4.3) Cálculos de resistencia ( $R$ ); ley de Joule; relación entre  $R$  y  $C$  para medios homogéneos; densidad de carga en la separación entre medios
  - 4.4) Campo magnético producido por corrientes libres: leyes de Biot-Savart y de Ampère para  $B$
  - 4.5) Corrientes libres cerca o dentro de medios magnéticos lineales: Ley de Ampère para  $H$ ; circuitos magnéticos, reluctancia, Ley de Hopkinson
  - 4.6) Teorema de equivalencia de Ampère, corrientes equivalentes; expansión multipolar; momento de dipolo magnético de un lazo de corriente
  - 4.7) Superconductividad y corrientes superconductoras
- 5) Energía y fuerzas magnéticas, Ecuaciones de Maxwell, ondas electromagnéticas
  - 5.1) Fuerza de Lorentz y fuerza electromotriz; ley de Faraday
  - 5.2) Energía almacenada en el campo  $B$ ; inductancia ( $L$ ); energía magnética en medios lineales
  - 5.3) Fuerzas magnéticas en circuitos magnéticos y bobinas
  - 5.4) Introducción a la tecnología eléctrica: electroimanes, generadores, transformadores, motores eléctricos
  - 5.5) Corriente de desplazamiento y ecuaciones macroscópicas de Maxwell; aproximación cuasiestática
  - 5.6) Vector de Poynting ( $S$ ) y teorema de Poynting; ecuaciones de las ondas electromagnéticas, velocidad de la luz en vacío; ondas armónicas, irradiancia, longitud de onda en vacío, espectro electromagnético
  - 5.7) Velocidad de la luz en dieléctricos perfectos, índice de refracción; condiciones de frontera: constancia de la frecuencia, Ley de Snell de la refracción; reflectividad para incidencia normal
- 6) Descripción y propagación de las ondas electromagnéticas (e.m.) en vacío, metales y dieléctricos
  - 6.1) Notación compleja para ondas e.m. planas y esféricas; aplicación a la interferencia espacial y temporal: ondas estacionarias; velocidades de fase y de grupo
  - 6.2) Atenuación de las ondas e.m. en medios con pérdidas: conductividad ( $s \sim$ ), función dieléctrica ( $e \sim$ ),  $e$  índice de refracción ( $\tilde{n}$ ) complejos; longitud de atenuación; modelo macroscópico para  $e \sim$  y  $\tilde{n}$
  - 6.3) Teoría de Drude de los metales, modelo de plasma sin colisiones; relajación de corriente y dependencia de la resistencia con la frecuencia
  - 6.4) Propiedades electromagnéticas de los dieléctricos: modelo de Lorentz-Rayleigh de la permitividad e índice de refracción complejo de los aislantes, difusión Rayleigh; modelo de Debye de la relajación dipolar.

### Actividades vinculadas:

Trabajos entregados  
Examen final

### Objetivos específicos:

## 230465 - EMAG - Electromagnetismo

Al acabar la segunda mitad de la asignatura los alumnos han de ser capaces de:

- calcular el campo magnético de una distribución de corrientes, en presencia de materiales magnéticos
- describir campos y fuerzas magnéticos en los circuitos magnéticos, con corrientes constantes o variables en el tiempo, y sus aplicaciones
- calcular la energía electromagnética de un sistema y comprobar el teorema fundamental de la energía electromagnética
- describir la interacción entre campos eléctricos y magnéticos variables, las ondas electromagnéticas, y los fenómenos ópticos básicos, a partir de las ecuaciones de Maxwell
- utilizar la notación compleja para la descripción de las ondas y su interferencia, y para la resolución de ecuaciones diferenciales
- describir la propagación de la luz en medios materiales como dieléctricos, metales, plasmas y en la separación entre medios

### Sistema de calificación

La calificación constará de un examen final (EF) y de una evaluación durante el curso en la que se tendrá en cuenta la realización de un examen de mitad cuatrimestre (EP) (a mitad del tema 4, cerca del final de la primera parte), y de los trabajos entregados en lengua inglesa (TE).

La nota final será dada por:

$$\max\{EF, 0.55*EF + 0.35*EP + 0.10*TE, 0.9*EF + 0.1*TE\}$$

### Bibliografía

Básica:

Pollack, G.L.; Stump, D.R. Electromagnetism. San Francisco: Addison Wesley, 2002. ISBN 0805385673.

Reitz, J.R.; Milford, F.J.; Christy, R.W. Foundations of electromagnetic theory. 4th revised ed. Reading, Mass.: Addison Wesley, 2008. ISBN 9780321581747.

Complementaria:

Zangwill, A. Modern electrodynamics. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. ISBN 9780521896979.

Griffiths, D.J. Introduction to electrodynamics. 4th ed. Boston: Pearson, 2013. ISBN 9781292021423.

Lorrain, P.; Corson, D.R. Campos y ondas electromagnéticos. 5a ed. Madrid: Selecciones Científicas, 1990. ISBN 8485021290.

Feynman R.P.; Leighton, R.B.; Sands, M. The Feynman lectures on physics: vol.1 i vol.2. New millennium ed. New York: Basic Books, 2010. ISBN 9780465024148 (V. 1) ; 9780465024162 (V. 2).

Grant, I.S.; Phillips, W.R. Electromagnetism [en línea]. 2nd ed. Chichester [England]: John Wiley and Sons, 2013 [Consulta: 26/09/2018]. Disponible a: <<https://ebookcentral.proquest.com/lib/upcatalunya-ebooks/detail.action?docID=1211896>>. ISBN 9781118723371.

Hayt, W.H.; Buck, J.A. Teoría electromagnética. 8a ed. México, DF: Mc Graw Hill, 2012. ISBN 9786071507839.

Peatross, J. y Ware, M.. Physics of Light and Optics [en línea]. ed. 2015. 2017 [Consulta: 26/09/2018]. Disponible a: <<http://optics.byu.edu/textbook.aspx>>. ISBN 9781312929272.

Otros recursos:

Videos de las clases de la asignatura Electromagnetism del Massachusetts Institute of Technology (MIT) impartida en 2002 por el profesor Walter Lewin. Disponibles en:

[https://www.youtube.com/playlist?list=PLUdYIQf0\\_sSfcNOPSNPQKHDhSjTJATPu /](https://www.youtube.com/playlist?list=PLUdYIQf0_sSfcNOPSNPQKHDhSjTJATPu/)