

MÓDULO	MATERIA	CURSO	SEMESTRE	CRÉDITOS	TIPO
Electromagnetismo	Electromagnetismo	3	Anual	12	Obligatoria
PROFESORES <sup>(1)</sup>			DIRECCIÓN COMPLETA DE CONTACTO PARA TUTORÍAS (Dirección postal, teléfono, correo electrónico, etc.)		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Salvador González García (Teoría y Problemas)</li> <li>• Miguel Ruiz Cabello Núñez (Teoría, Problemas y Prácticas)</li> <li>• Mario Fernández Pantoja (Prácticas)</li> <li>• Amelia Rubio Bretones (Prácticas)</li> </ul>			Dept. Electromagnetismo, Facultad de Ciencias, 2ª Planta Físicas. 958 243223 <a href="mailto:salva@ugr.es">salva@ugr.es</a> ; <a href="mailto:mcabello@ugr.es">mcabello@ugr.es</a> ; <a href="mailto:mario@ugr.es">mario@ugr.es</a> ; <a href="mailto:arubio@ugr.es">arubio@ugr.es</a>		
			HORARIO DE TUTORÍAS Y/O ENLACE A LA PÁGINA WEB DONDE PUEDAN CONSULTARSE LOS HORARIOS DE TUTORÍAS <sup>(1)</sup>		
			<a href="https://www.ugr.es/universidad/organizacion/entidades/departamento-electromagnetismo-fisica-materia">https://www.ugr.es/universidad/organizacion/entidades/departamento-electromagnetismo-fisica-materia</a>		
GRADO EN EL QUE SE IMPARTE			OTROS GRADOS A LOS QUE SE PODRÍA OFERTAR		
Grado en Física			Telecomunicaciones		
PRERREQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES (si procede)					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se recomienda haber cursado los módulos completos de Fundamentos de Física y de Métodos Matemáticos y la asignatura "Circuitos Eléctricos: Teoría e Instrumentación"</li> </ul>					
BREVE DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS (SEGÚN MEMORIA DE VERIFICACIÓN DEL GRADO)					
Electrostática y magnetostática. Inducción electromagnética. Electromagnetismo en medios materiales. Ecuaciones de Maxwell. Ondas electromagnéticas. Técnicas experimentales de Electromagnetismo.					
COMPETENCIAS GENERALES Y ESPECÍFICAS					

<sup>1</sup> Consulte posible actualización en Acceso Identificado > Aplicaciones > Ordenación Docente  
(∞) Esta guía docente debe ser cumplimentada siguiendo la "Normativa de Evaluación y de Calificación de los estudiantes de la Universidad de Granada" (<http://secretariageneral.ugr.es/pages/normativa/fichasugr/ncg7121/>)

#### Generales

- CT1 Capacidad de análisis y síntesis.
- CT2 Capacidad de organización y planificación.
- CT3 Comunicación oral y/o escrita.
- CT5 Capacidad de gestión de la información.
- CT6 Resolución de problemas.
- CT7 Trabajo en equipo.
- CT8 Razonamiento crítico.
- CT9 Aprendizaje autónomo.

#### Específicas

- CE1: Conocer y comprender los fenómenos y las teorías físicas más importantes.
- CE2: Estimar órdenes de magnitud para interpretar fenómenos diversos.
- CE4: Medir, interpretar y diseñar experiencias en el laboratorio o en el entorno
- CE5: Modelar fenómenos complejos, trasladando un problema físico al lenguaje matemático.
- CE7: Transmitir conocimientos de forma clara tanto en ámbitos docentes como no docentes.
- CE9: Aplicar los conocimientos matemáticos en el contexto general de la física.

#### OBJETIVOS (EXPRESADOS COMO RESULTADOS ESPERABLES DE LA ENSEÑANZA)

- Conocer la descripción de campos electromagnéticos generados por cargas y corrientes y la acción de campos sobre cargas.
- Saber utilizar las ecuaciones de Maxwell en su forma diferencial e integral.
- Conocer los principios, técnicas de análisis e instrumentos de medida, y los fenómenos experimentales en Electromagnetismo.

#### TEMARIO DETALLADO DE LA ASIGNATURA

##### **Tema 0: Herramientas matemáticas**

- 1.1. Campos escalares y vectoriales
- 1.2. Gradiente
- 1.3. Divergencia y teorema de la divergencia
- 1.4. Rotacional y teorema de Stokes
- 1.5. Representación gráfica de los campos.
- 1.6. Coordenadas curvilíneas ortogonales
- 1.7. Delta de Dirac
- 1.8. Teorema de Helmholtz
- 1.9. Clasificación de los campos según sus fuentes

##### **Tema 1: Electrostatica en el vacío**

- 1.1. Densidad de carga y corriente eléctrica
- 1.2. Conservación de la carga: corrientes estacionarias
- 1.3. Ley de fuerzas de Lorentz: movimiento de cargas en campos
- 1.4. Invarianza Galileana de los campos
- 1.5. Ley de Coulomb
- 1.6. Fuentes del campo electrostático: Potencial eléctrico
- 1.7. Ecuaciones de Poisson y Laplace
- 1.8. Energía potencial
- 1.9. Conductores perfectos: capacidad de un sistema
- 1.10. Estructuras simples de campo eléctrico



## **Tema 2: Magnetostática en el vacío**

- 2.1. Ley de Biot-Savart
- 2.2. Fuerza entre corrientes
- 2.3. Fuentes del campo magnetostático: Potencial vector
- 2.4. Estructuras simples de campo magnético

## **Tema 3: Electrodinámica**

- 3.1. Fuerza electromotriz
- 3.2. Ley de inducción de Faraday
- 3.3. Ley de inducción para caminos en movimiento
- 3.3. Inductancia
- 3.4. Corriente de desplazamiento en el vacío
- 3.5. Potenciales del campo electromagnético: Gauge
- 3.6. Ecuaciones de Maxwell en el vacío
- 3.7. Energía y momento del campo electromagnético: vector de Poynting
- 3.8. Ondas planas monocromáticas
- 3.9. Potenciales retardados
- 3.10 Radiación de partículas aceleradas

## **Tema 4: Desarrollo multipolar**

- 4.1. Expansión multipolar de una distribución estática de carga
- 4.2. Momentos monopolar, dipolar, cuadrupolar eléctricos: multipolos puntuales
- 4.3. Energía de interacción de dipolos eléctricos con un campo externo
- 4.4. Dipolo: fuerza y momento de un dipolo eléctrico en un campo externo
- 4.5. Polarización
- 4.6. Expansión multipolar de una distribución de corriente estacionaria
- 4.7. Momentos monopolar, dipolar magnéticos: dipolo puntual magnético
- 4.8. Energía, Fuerza y momento de un dipolo magnético en un campo externo
- 4.9. Potencial magnético escalar
- 4.10. Imanación

## **Tema 5: Campo electromagnético y materia**

- 5.1. Polarización eléctrica y magnetización
- 5.2. Cargas y corrientes de polarización
- 5.3. Corrientes y cargas de magnetización.
- 5.4. Vectores desplazamiento eléctrico  $D$  e intensidad magnética  $H$ .
- 5.5. Susceptibilidad y constante dieléctrica. Clasificación de los medios dieléctricos.
- 5.6. Susceptibilidad y permeabilidad. Clasificación de los medios magnéticos.
- 5.7. Ley de Gauss en dieléctricos.
- 5.8. Ley de Ampere para medios magnéticos
- 5.9. Medios conductores: Ley de Ohm
- 5.10. Relajación en medios conductores.
- 5.11. Conductores estáticos. Resistencia.
- 5.12. Condiciones de continuidad en discontinuidades abruptas
- 5.13. Sistemas acoplados eléctricos y magnéticos.
- 5.14. Teorema de Poynting, energía y fuerza en medios materiales en estática.

## **Tema 6: Ecuaciones de Maxwell: ondas electromagnéticas**

- 6.1. Ecuaciones de Maxwell en la materia
- 6.2. Dominio del tiempo y dominio de la frecuencia
- 6.3. Ecuación de ondas en medios materiales



- 6.4. Ondas electromagnéticas planas: velocidades de fase y de grupo
- 6.5. Incidencia normal
- 6.6. Teorema de Poynting.

### **Tema 7: Ecuaciones de Poisson y Laplace**

- 7.1 Ecs. Poisson y Laplace
- 7.2 Teoremas de unicidad
- 7.3 Solución general: Función de Green
- 7.4 Método de las imágenes
- 7.5 Solución analítica ecuación de Laplace en cartesianas, cilíndricas y esféricas

### TEMARIO PRÁCTICO:

#### **Prácticas de Laboratorio**

Los alumnos asistirán a un total de 10 sesiones de 3 horas de duración durante el segundo semestre (30 horas presenciales). Dichas sesiones, que se impartirán en el laboratorio de Electromagnetismo de la tercera planta de Físicas, se organizarán como:

**Sesión 1:** Introducción al laboratorio.

**Sesiones 2 a 8:** Realización de un total de 7 prácticas de laboratorio seleccionadas del listado siguiente:

- Práctica 1: Problemas de potencial: Analogía con corrientes estacionarias.
- Práctica 2: Ley de Faraday para campos variables con el tiempo
- Práctica 3: Campo magnético creado por carretes de Helmholtz
- Práctica 4: Componente horizontal del campo magnético terrestre.
- Práctica 5: Ciclo de histéresis.
- Práctica 6: Fuerza de campos magnéticos sobre corrientes.
- Práctica 7: Ley de Faraday para caminos en movimiento: Disco de Faraday
- Práctica 8: Condensador de placas paralelas
- Práctica 9: Ley de Faraday para caminos en movimiento: Péndulo con bobina.
- Práctica 10: Experimento de Millikan.
- Práctica 11: Ley de Coulomb,

**Sesión 9:** Sesión de recuperación

**Sesión 10:** Sesión de evaluación.

Será obligatoria la asistencia a las sesiones 1 a 8 pero puede utilizarse la sesión 9 para recuperar alguna falta justificada. La sesión de evaluación estará dedicada a los alumnos que no hayan superado la parte práctica de la asignatura mediante la entrega de los cuadernos de prácticas

### BIBLIOGRAFÍA

- Bernardo García Olmedo, "Fundamentos de Electromagnetismo, Universidad de Granada, 2006. (online: <http://maxwell.ugr.es/innov/visua0405/bgotomo1.htm> )
- R.P. Feynman, Leighton, Sands, "Feynman Física, vol II. Electromagnetismo y Materia," Addison-Wesley Iberoamericana Wilmington, Delaware (1987)
- Modern Electrodynamics, Cambridge University Press, 2013
- J.R. Reitz, F.J. Milford, R.W. Christy, "Fundamentos de la teoría electromagnética, " Addison Wesley, 1996 (4ª Ed)



- David J Griffiths, "Introduction to Electrodynamics," Addison Wesley, 1999 (3ª Ed.)

#### BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA:

- J.D. Jackson, "Classical Electrodynamics", John Wiley & Sons, 1999 (3ª Ed.) ("Electrodinámica Clásica", Alhambra, 1980 (2ª Ed.))
- M. R. Danta, C. B. Cebreros, A. G. "Campos Electromagnéticos, ", Publicaciones de la Universidad de Sevilla, 1999 (2ª Ed.)
- P. Lorrain, D. Corson, "Campos y ondas electromagnéticos," Selecciones Científicas, 1994
- E. Benito, "Problemas de campos electromagnéticos," Editorial AC, 1985.
- J. A. Edminister, "Teoría y problemas de electromagnetismo," McGraw-Hill, 1985
- J. F. Oria, V. Compañ, "Problemas sobre el campo electromagnético," ECIR, 1990.
- V. López Rodríguez, "Problemas resueltos de electromagnetismo, " Ed. Centro de Estudios Ramón Areces, 1998 (2ª Ed.)

#### ENLACES RECOMENDADOS

- Tablón de docencia UGR Prado: <http://prado.ugr.es>
- Proyectos innovación docente UGR <http://maxwell.ugr.es/innov/innova.htm>
- <http://laplace.us.es/wiki/index.php/Portada>

#### METODOLOGÍA DOCENTE

La asignatura contempla una duración de 300 horas (12 ECTS) de las cuales 120 son presenciales y 180 no presenciales.

La actividad presencial se ha dividido en:

- Clases teórico-expositivas (duración 53 horas presenciales): Presentación en el aula de los conceptos teóricos fundamentales. Desarrollo de los contenidos de mayor dificultad e importancia conceptual
- Clases de problemas (duración 21 horas presenciales): Resolución de ejercicios y problemas que ayuden a clarificar los conceptos, leyes físicas y técnicas expuestas en las clases de contenido más teórico.
- Clases prácticas de laboratorio (duración 27 horas presenciales). Realización de prácticas de laboratorio que permitan afianzar el conocimiento de los fenómenos electromagnéticos así como de las técnicas de medida usuales en Electromagnetismo. Se propone la realización de 9 sesiones de 3 horas de duración.
- Evaluación (19 horas): Dos exámenes parciales. un examen final y un examen extraordinario de los contenidos teóricos y problemas (4 horas cada examen). Una sesión de evaluación de los contenidos prácticos de laboratorio (3 horas).

La actividad no presencial consta de estudio de teoría y problemas; y preparación y estudio de las prácticas.

- La asistencia a las clases teóricas y de problemas es voluntaria. La asistencia a las clases de laboratorio es obligatoria.



## EVALUACIÓN (INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN, CRITERIOS DE EVALUACIÓN Y PORCENTAJE SOBRE LA CALIFICACIÓN FINAL, ETC.)

### Convocatoria ordinaria

#### Evaluación continua:

- Los estudiantes realizarán dos exámenes parciales eliminatorios sobre los contenidos teóricos y problemas de la asignatura.
- La parte práctica de la asignatura se realizará mediante la revisión de los guiones de laboratorio, y la evaluación continua durante las sesiones.

Para superar la asignatura mediante evaluación continua deben superarse por separado ambos exámenes parciales de la parte de teoría+problemas y la parte práctica de la asignatura, calculándose la calificación final de la siguiente manera:

- Exámenes de teoría, 20% de la calificación.
- Exámenes de problemas, 60% de la calificación.
- Resultados de las prácticas de laboratorio: 20% de la calificación

Los alumnos que no superen en evaluación continua la asignatura, deberán realizar:

- Un examen final de la parte de teoría y problemas de la asignatura (80% de la calificación)
- Un examen sobre los contenidos prácticos de laboratorio, que se llevará a cabo en la sesión de evaluación. Para poder realizar dicho examen será imprescindible haber asistido a todas las sesiones prácticas y haber entregado los correspondientes cuadernos con los resultados de las mismas (20% de la calificación).

### Convocatoria extraordinaria:

- Examen sobre los contenidos de teoría y problemas de la asignatura (80% de la calificación)
- Los alumnos que hayan superado la parte práctica de la asignatura en la convocatoria ordinaria podrán conservar la calificación obtenida en dicha convocatoria, en caso contrario realizarán un examen sobre los contenidos prácticos de laboratorio (20% de la calificación)

Para superar la asignatura deben superarse por separado la parte de teoría+problemas y la de prácticas.

DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS QUE FORMARÁN PARTE DE LA EVALUACIÓN ÚNICA FINAL ESTABLECIDA EN LA “NORMATIVA DE EVALUACIÓN Y DE CALIFICACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA UNIVERSIDAD DE GRANADA”

TEORÍA/PROBLEMAS (Porcentaje sobre calificación final: 80%):

Examen sobre los contenidos de teoría y problemas de la asignatura.

PRÁCTICAS (Porcentaje sobre calificación final: 20%):

Los alumnos realizarán las prácticas mediante la utilización de datos sintéticos y entregarán los cuadernos de prácticas correspondientes. Se valorará la resolución de las tareas especificadas en los guiones de prácticas.

Para superar la asignatura deben superarse por separado la parte de teoría+problemas y la de prácticas.



## ESCENARIO A (ENSEÑANZA-APRENDIZAJE PRESENCIAL Y NO PRESENCIAL)

### ATENCIÓN TUTORIAL

#### HORARIO

(Según lo establecido en el POD)

#### HERRAMIENTAS PARA LA ATENCIÓN TUTORIAL

(Indicar medios telemáticos para la atención tutorial)

<https://www.ugr.es/universidad/organizacion/entidades/departamento-electromagnetismo-fisica-materia>

**Prof. Salvador González García:** Las tutorías serán por audioconferencia con cita previa solicitada por correo electrónico.  
**Prof Miguel Ruiz-Cabello.** Las tutorías serán por videoconferencia con cita previa solicitada por correo electrónico  
**Prof. Mario Fernández Pantoja:** Las tutorías serán por videoconferencia con cita previa solicitada por correo electrónico  
**Prof. Amelia Rubio:** Las tutorías serán presenciales con cita previa solicitada por correo electrónico

### MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DOCENTE

#### TEORÍA:

- La proporción entre clases virtuales y presenciales dependerá del centro y circunstancias sanitarias.
- Se facilitará material docente extra a los estudiantes a través de la plataforma Prado, Consigna UGR, UGRdrive o Google Drive.
- Para el seguimiento de las clases teóricas que se realicen de forma virtual: Serán preferentemente en modo asíncrono mediante clases pregrabadas. Para favorecer el retorno educativo, se combinará el modo asíncrono con modo síncrono por audioconferencia, en horario convenido (preferentemente en el horario de clase).

#### PRÁCTICAS:

- Las prácticas correspondientes a sesiones de laboratorio que no puedan llevarse a cabo de forma presencial serán realizadas por los alumnos, mediante ordenador, a partir de datos sintéticos que les serán proporcionados a través de alguna de las plataformas autorizadas por la UGR o por correo electrónico.

### MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DE LA EVALUACIÓN (Instrumentos, criterios y porcentajes sobre la calificación final)

#### Convocatoria Ordinaria

Los porcentajes de cada parte son los mismos que los ya descritos, para esta convocatoria.

**TEORIA:** En todos los casos, los exámenes correspondientes a la parte de teoría+problemas se realizarán de forma presencial si las circunstancias sanitarias y la normativa de la UGR lo permiten. En caso contrario se realizarán telemáticamente de modo síncrono en los horarios, y bajo las condiciones legales contempladas por la UGR, para ello.



**PRÁCTICAS:**

El procedimiento será el descrito anteriormente para el caso de docencia presencial

Para superar la asignatura deben superarse por separado la parte de teoría+problemas y la de prácticas.

Convocatoria Extraordinaria

Los porcentajes de cada parte son los mismos que los ya descritos, para esta convocatoria.

**TEORIA:** En todos los casos, los exámenes correspondientes a la parte de teoría+problemas se realizarán de forma presencial si las circunstancias sanitarias y la normativa de la UGR lo permiten. En caso contrario se realizarán telemáticamente de modo síncrono en los horarios, y bajo las condiciones legales contempladas por la UGR, para ello.

**PRÁCTICAS:**

Los alumnos que hayan superado la parte práctica de la asignatura en la convocatoria ordinaria podrán conservar la calificación obtenida en dicha convocatoria, en caso contrario realizarán un examen sobre los contenidos prácticos de laboratorio.

Para superar la asignatura deben superarse por separado la parte de teoría+problemas y la de prácticas.

Evaluación Única Final

Los porcentajes de cada parte son los mismos que los ya descritos, para esta convocatoria.

**TEORIA:** En todos los casos, los exámenes correspondientes a la parte de teoría+problemas se realizarán de forma presencial si las circunstancias sanitarias y la normativa de la UGR lo permiten. En caso contrario se realizarán telemáticamente de modo síncrono en los horarios, y bajo las condiciones legales contempladas por la UGR, para ello.

**PRÁCTICAS:**

Los alumnos realizarán las prácticas mediante la utilización de datos sintéticos y entregarán los cuadernos de prácticas correspondientes. Se valorará la resolución de las tareas especificadas en los guiones de prácticas

Para superar la asignatura deben superarse por separado la parte de teoría+problemas y la de prácticas.

**ESCENARIO B (SUSPENSIÓN DE LA ACTIVIDAD PRESENCIAL)**

ATENCIÓN TUTORIAL

HORARIO

(Según lo establecido en el POD)

HERRAMIENTAS PARA LA ATENCIÓN TUTORIAL

(Indicar medios telemáticos para la atención tutorial)

<https://www.ugr.es/universidad/organizacion/entidades/departamento-electromagnetismo-fisica-materia>

**Prof. Salvador González García:** Las tutorías serán por audioconferencia con cita previa solicitada por correo electrónico.

**Prof Miguel Ruiz-Cabello.** Las tutorías serán por



	<p>video conferencia con cita previa solicitada por correo electrónico  <b>Prof. Mario Fernández Pantoja:</b> Las tutorías serán por videoconferencia con cita previa solicitada por correo electrónico  <b>Prof. Amelia Rubio:</b> mediante correo electrónico</p>
<p>MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DOCENTE</p>	
<p><b>TEORÍA:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Se facilitará material docente extra a los estudiantes a través de la plataforma Prado, Consigna UGR, UGRdrive o Google Drive.</li> <li>El seguimiento de las clases teóricas se realizarán de forma virtual en su totalidad: Serán preferentemente en modo asíncrono mediante clases pregrabadas. Para favorecer el retorno educativo, se combinará el modo asíncrono con modo síncrono por audioconferencia, en horario convenido (preferentemente en el horario de clase).</li> </ul> <p><b>PRÁCTICAS:</b>  Se facilitará a los alumnos material docente y datos sintéticos para la realización, mediante ordenador, de 6 de las prácticas descritas en el apartado "Temario detallado de la asignatura"</p>	
<p>MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DE LA EVALUACIÓN (Instrumentos, criterios y porcentajes sobre la calificación final)</p>	
<p>Convocatoria Ordinaria</p>	
<p>Los porcentajes de cada parte son los mismos que los ya descritos, para esta convocatoria.</p> <p><b>TEORÍA</b> Idéntico al escenario A.</p> <p><b>PRÁCTICAS:</b>  Se valorará la resolución de las tareas especificadas en los guiones de prácticas que los estudiantes deben entregar a través de Google Drive o UGR Drive en la fecha que se especifique.</p> <p>Para superar la asignatura deben superarse por separado la parte de teoría+problemas y la de prácticas.</p>	
<p>Convocatoria Extraordinaria</p>	
<p>Los porcentajes de cada parte son los mismos que los ya descritos, para esta convocatoria.</p> <p><b>TEORÍA</b> Idéntico al escenario A.</p> <p><b>PRÁCTICAS:</b>  Se valorará la resolución de las tareas especificadas en los guiones de prácticas que los estudiantes deben entregar a través de Google Drive o UGR Drive en la fecha que se especifique.</p> <p>Para superar la asignatura deben superarse por separado la parte de teoría+problemas y la de prácticas.</p>	
<p>Evaluación Única Final</p>	



Los porcentajes de cada parte son los mismos que los ya descritos, para esta convocatoria.

TEORÍA Idéntico al escenario A.

PRÁCTICAS:

Se valorará la resolución de las tareas especificadas en los guiones de prácticas que los estudiantes deben entregar a través de Google Drive o UGR Drive en la fecha que se especifique.

Para superar la asignatura deben superarse por separado la parte de teoría+problemas y la de prácticas.

INFORMACIÓN ADICIONAL (Si procede)

