



# GUÍA DOCENT DE **ELECTROMAGNETISMO**

LLicenciat en Física

CURSO 2007-2008

## PROFESORES

Grupo A Vicente Such Belenguer  
Alberto Garcia Cristobal  
Juan Fco. Sanchez Royo

Grupo B Vicente Muñoz Sanjosé  
Benito Gimeno Martinez  
Antonio Díez Cremades

**DEPARTAMENTO DE  
FISICA APLICADA Y ELECTROMAGNETISMO**

### I.- DADES INICIALS D'IDENTIFICACIÓ

El seu objectiu és identificar l'assignatura pel seu caràcter i titulació, departament i professor o professors responsables.

<b>Nom de l'assignatura:</b>	Electromagnetisme
<b>Caràcter:</b>	troncal
<b>Titulació:</b>	LICENCIADA/O EN FÍSICA
<b>Cicle:</b>	1º
<b>Departament:</b>	Física Aplicada y Electromagnetismo
<b>Professor/a responsable:</b>	Vicente Such Belenguer

### II.- INTRODUCCIÓ A L'ASSIGNATURA

La assignatura Electromagnetismo es una asignatura obligatoria, ANUAL que se imparte en el tercer curso de la licenciatura en Física y tiene asignados **10,5** créditos 30.6 ECTS. En esta asignatura se pretende dar una visión general de la interacción electromagnética planteada como una teoría de campo, ello supone la necesidad de una definición precisa de los campos eléctrico y magnético como campos vectoriales, que puede realizarse a partir del Teorema de Helmholtz del campo vectorial que establece la necesidad de conocer la divergencia y el rotacional del campo para poder definirlo unívocamente y eso es precisamente lo que expresan las ecuaciones de Maxwell del campo electromagnético. Dichas ecuaciones las obtendremos a partir del estudio experimental de las interacciones básicas entre cargas, lo que fundamentará la teoría experimentalmente.

El hecho de que la interacción electromagnética sea la dominante en el mundo macroscópico, permitirá el establecimiento de una teoría macroscópica de las propiedades eléctricas y magnéticas de la materia que será una parte importante del curso. A partir de la expresión general de las ecuaciones de Maxwell, se analizarán las diferentes soluciones particulares del campo electromagnético al analizarlos a partir de su posible dependencia temporal lo que en el caso de que no exista conducirá a las soluciones electrostática y magnetostática, a la solución cuasi-estacionaria en el caso de que la variación temporal sea lenta ó directamente a la solución ondulatoria en el caso general. Una solución de particular interés corresponde a la teoría de circuitos cuyas leyes generales obtendremos a partir de las ecuaciones de Maxwell utilizando la aproximación espacial de que el tamaño de los circuitos sea pequeño en relación con la longitud de onda correspondiente a la frecuencia de los generadores que alimentan al circuito.

La relación de esta asignatura con el resto de las del primer ciclo de la licenciatura en Física queda patente a través del propio planteamiento general de la misma. Las consecuencias de la interacción electromagnética son objeto de estudio de la Mecánica. El análisis de las soluciones ondulatoria de las ecuaciones de Maxwell requieren los conocimientos adquiridos en Mecánica y Ondas y son la base de la Óptica Física y un tratamiento aproximado de las mismas la base de la Óptica geométrica.....

Las herramientas matemáticas necesaria para resolver las ecuaciones de Maxwell son objeto de estudio en los diferentes cursos de Métodos Matemáticos

Por último el estudio experimental de la interacción electromagnética y sus consecuencias así como el análisis experimental de los circuitos eléctricos y la radiación y el guiado de ondas electromagnéticas se tratan en las asignaturas de Técnicas experimentales

### III.- VOLUM DE TREBALL

A la assignatura de Electromagnetismo se le computarán un total de 282 horas de trabajo para el alumno, repartidas en 28 semanas del siguiente modo:

TIPO DE ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	HORAS
-------------------	-------------	-------

<b>Asistencia a clases teóricas</b>	magistrales teórico-prácticas: 2 horas/semana x 28 semanas	<b>56</b>
<b>Asistencia a clases de prácticas</b>	Clases de problemas participativas 1 horas/semana x 28 semanas	<b>28</b>
<b>Sesiones de tutorías grupales o trabajos tutelados</b>	Clases prácticas en grupos reducidos para que el estudiante haga problemas, ejercicios, los exponga, los discuta, etc.	<b>14</b>
<b>Preparación de trabajos</b> Horas de trabajo del estudiante sometidas a evaluación	<b>Materias teórico-prácticas:</b> Resolución de tareas y ejercicios propuestos en sesiones de trabajos tutelados para hacer en casa	<b>30</b>
<b>Estudio-preparación contenidos teórico-prácticos</b>	Teoría: 1'5 x 2 h/sem aprox.x28sem = 84 h. Problemas:1,5 x 1 h/sem aprox.28 sem.=42 h.	<b>126</b>
<b>Estudio para preparación de exámenes:</b>	10 h/examen (aprox) x 2 exámenes	<b>20</b>
<b>Realización de exámenes:</b>	4 h/examen (aprox) x 2 exámenes	<b>8</b>
Actividades complementarias	<b>Conferencia del ciclo de la facultad de física, Asistencia y resumen argumentado</b>	
	Otros	
<b>TOTAL VOLUMEN DE TRABAJO</b>		<b>HT 282 (27 ECTS)</b>

#### IV.- OBJETIUS GENERALS

- Presentar una visión amplia y unitaria de la interacción electromagnética en el esquema de una teoría de campo.
- Lograr que el alumno adquiera una terminología básica relativa a la teoría del campo electromagnético, que sepa expresarse con la precisión requerida en el ámbito de la Ciencia, formulando ideas, conceptos y sus relaciones con los demás campos de la Física siendo capaz de razonar en términos científicos.
- Dotar de la capacidad operativa para aplicar y relacionar leyes y conceptos de la teoría vectorial del campo electromagnético, así como dominar los distintos procedimientos para la resolución de problemas, incluyendo las habilidades matemáticas necesarias.
- Hacer que el alumno sea capaz de estudiar y planificar sus actividades de cara al aprendizaje, ya sea individualmente o en grupo, buscando, seleccionando y sintetizando información en las distintas fuentes bibliográficas

#### V.- CONTINGUTS MÍNIMS

##### 1.-Introducción a la interacción electromagnética

Expresar la interacción electromagnética entre cargas eléctricas, en el esquema de las interacciones fundamentales del mundo físico. Describirla matemáticamente en el esquema propio de una teoría de campo de cuerdo con el teorema de Helmholtz, con el objetivo de obtener a partir de leyes experimentales básicas las ecuaciones de Maxwell que permiten definir unívocamente el campo electromagnético.

## 2.-El campo electrostático

A partir de la expresión experimental que establece la más sencilla de las interacciones entre cargas (ley de Coulomb). Plantear esta interacción en el esquema de una teoría de campos y obtener la divergencia y el rotacional de campo propio de las cargas quietas. A partir de la divergencia obtener el teorema de Gauss de la electrostática y a partir del carácter irrotacional del campo  $E$  introducir la dependencia de un potencial escalar que permite simplificar la obtención del campo, potencial que satisfará las ecuaciones de Laplace fuera de las fuentes y la de Poisson en presencia de fuentes.

## 3.-El campo magnetostático

A partir de la expresión experimental que establece la más sencilla de las interacciones entre corrientes estacionarias como expresión más sencilla de las cargas en movimiento (ley de Ampere). Plantear esta interacción en el esquema de una teoría de campos y obtener la divergencia y el rotacional de campo propio de las corrientes estacionarias. A partir de la divergencia obtener el teorema de Gauss de la magnetostática que establece la inexistencia de "polos" magnéticos lo que supone el carácter solenoidal de este campo, lo que permite la introducción de un potencial vector que permite la expresión del campo  $B$  en el esquema del teorema de Helmholtz.

## 4.-Inducción electromagnética

Hemos visto que las corrientes que atraviesan los hilos conductores crean un campo magnético, lo que equivale a decir que un campo eléctrico (que es el que pone en marcha las corrientes) es capaz de crear un campo magnético, Cabe preguntarse ¿ es posible que un campo magnético cree una corriente eléctrica? Ó mas general cree un campo eléctrico? La respuesta la da la ley de inducción de Faraday como ley fundamental de la interacción electromagnética. a partir de ella llegaremos a su expresión diferencial la ley De Maxwell-Faraday, que establece que los campos magnéticos variables con el tiempo son fuentes de rotor del campo eléctrico.

## 5.-Ecuaciones de Maxwell: ondas electromagnéticas

La coherencia entre las diferentes ecuaciones de Maxwell que establecen las fuentes de divergencia y rotor del campo electromagnético ( en el esquema del Teorema de Helmholtz) Y su relación con la ecuación de continuidad como expresión diferencial del principio universal de conservación de la carga, condujo a Maxwell a la necesidad de introducir la corriente de desplazamiento como fuente de rotor del campo magnético, junto con la corrientes de conducción y con ello a un conjunto de cuatro ecuaciones compatibles entre si, que incluso engloban el principio de conservación de la carga que permiten dar la definición univoca del campo electromagnético. El estudio de del comportamiento espacio temporal de cada una de las dos componentes, la eléctrica y la magnética, conducen a encontrar la solución más general del campo: las ondas electromagnéticas.

## 6 y 7 Los desarrollos multipolares de los potenciales electrostático y magnetostático

A partir de lo dicho, los problemas electrostático y magnetostático pueden plantearse como problemas de potencial, cuyo cálculo para el caso de fuentes localizadas, en muchas ocasiones conducen a integrales de las que no es posible encontrar directamente la función primitiva. Una técnica alternativa para encontrar la solución- al menos aproximada - consiste en el desarrollo en serie de la expresión sub-integral

Que al menos en el caso en que el "punto campo" (en el que se pretende obtener el campo) este muy lejos de la distribución se puede obtener con aproximaciones muy sencillas relativas a las características de la distribución de las fuentes del campo: los multipolos.

### **8.-Los medios materiales**

Desde un punto de vista macroscópico que no considere el carácter cuantizado de la materia esta puede ser estudiada como un conjunto de cargas y corrientes con una variación espacio-temporal muy grande que impide obtener información microscópica, de lo que ocurre en cada punto de la materia y en cada instante. Pero es posible construir una teoría fenomenológica que establezca una relación entre los valores medios espacio temporales de las fuentes del campo y del mismo campo, que permita describir el comportamiento macroscópico de la materia y que en síntesis viene expresado por las ecuaciones constitutivas de la materia que establecen las tres propiedades básicas que la caracterizan electromagnéticamente: la permitividad dieléctrica, la conductividad y la permeabilidad magnética y que permiten una clasificación sobre-simplificada de los medios materiales clasificándolos en aislantes, conductores y medios con propiedades magnéticas.

### **9.-Ondas electromagnéticas en medios materiales.**

¿Cómo se propagan las ondas electromagnéticas en medios ilimitados en función de que estos sean aislantes ó presente conductividad poca ó mucha? ¿como lo hacen las ondas más sencillas? ¿Cómo son? Son planas monocromáticas y linealmente polarizadas. Veremos que supone en su estructura dicha simplificación y veremos como se propagan de acuerdo con las propiedades del medio.

### **10.-El potencial electrostático**

El hecho de que el campo electrostático sea irrotacional conduce a que es posible obtenerlo a partir de un potencial escalar tal y como previa de forma general el teorema de Helmholtz y cuya expresión en el caso de que las fuentes estén "localizadas" situadas en una región infinita esta perfectamente definida. Pero que ocurre cuando la región de interés esta limitada y parte de las fuentes están fuera de ella y no se conocen. En esta lección se aborda el problema de de la solución formal del potencial y el análisis de las condiciones para que sea única.

### **11 -Energía electrostática y 12.-Energía magnética. 13.-Energía y momento electromagnéticos**

Hasta aquí se ha estudiado el carácter vectorial de la interacción electromagnética que conduce a un esquema de fuerzas. El estudio de las consecuencias pertenece a la Mecánica que trabaja utilizando dos caminos perfectamente diferenciados y compatibles entre si: el vectorial ó de las fuerzas basado en el teorema de conservación del momento y el escalar ó de las energías basado el otro teorema fundamental: el de conservación de la energía. La expresión de ambos teoremas en el esquema del campo electromagnético, permitirá estudiar el efecto de las interacciones en función de las magnitudes propias del campo electromagnético

### **14.-Teoría de circuitos: (COrriente continua y alterna)**

El análisis del campo electrostático en el seno de los medios materiales no aislantes se simplifica extraordinariamente cuando el medio esta formado por hilos conductores reales conectados a generadores todos ellos formando circuitos cerrados. La integración de las ecuaciones de Maxwell para el caso de las corrientes estacionarias dara la relación entre las corrientes que pasan por los hilos y las f.e.m. estacionarias de los generadores. Estas relaciones son los lemas de Kirchhoff

La consideración de que los campos no sean estacionarios, si no que sean lentamente variables con el tiempo, introduce en los circuitos el efecto de la autoinducción y el hecho de que la corriente variable con el tiempo pueda "atravesar" los condensadores. Siguiendo un esquema análogo al de la teoría de circuitos de corriente continua se han integrado las correspondientes ecuaciones de Maxwell para el caso de circuitos alimentados por generadores cuyas f.e.m. sean lentamente variables con el tiempo y se ha llegado tambien en este caso a los correspondientes lemas de Kirchhoff.

### 15.-Guiado de ondas electromagnéticas y Cavidades resonantes

¿Puede existir una O.E.M. en el interior de un recinto parcialmente cerrado? En el caso de que posee simetría de traslación, puede propagarse una O.E.M? ¿ en que condiciones? ¿ existe alguna limitación para la onda, esto es para sus campos ó para su frecuencia en el caso de ser armónica temporal?. Idéntica pregunta puede hacerse para el caso en el que el recinto sea cerrado, esto es sea una cavidad. La respuesta a estas cuestiones es el objetivo de esta lección

### 16.-Los potenciales y la Radiación electromagnética

La expresión en términos electromagnéticos del principio de conservación de la energía (Teorema de Poynting) establece la propagación de la energía ligada al campo electromagnético como un fenómeno de radiación ¿Cómo se produce esa radiación? ¿Qué relación existe entre los campos que se propagan (ondas) y las fuentes de los mismos (Cargas y corrientes). Así mismo se estudia la radiación de la fuente más sencilla posible: el dipolo eléctrico, como base para el estudio de radiación de las partículas por un lado y de las antenas por otro.

## VI.- DESTRESES QUE CAL ADQUIRIR.

- Desarrollar la intuición Física.
- Manejar esquemas conceptuales básicos: cargas corrientes y sus distribuciones, Los conceptos de campo vectorial y sus propiedades vectoriales diferenciales (divergencia y rotacional) e integrales (flujo y circulación) así como los teoremas integrales ligados a las mismas (teorema de Gauss y de Stokes)
- Comprender las exigencias necesarias para la definición unívoca de un campo vectorial de acuerdo con el Teorema de Helmholtz.
- Comprender como del análisis de las experiencias básicas de la interacción entre cargas y corrientes es posible expresarlas como una teoría de campo y como obtener las condiciones necesarias (rotor y divergencia del campo) para su definición unívoca.
- Entender el esquema de la Física macroscópica, basado en el entendimiento de las interacciones gravitatoria y electromagnética y en las consecuencias mecánicas de las mismas a partir de su relación con los dos teoremas de conservación básicos de la mecánica: el teorema de conservación del momento y el de la energía.
- Aprender a formular dichos teoremas de conservación en el esquema de la teoría del campo electromagnético
- Establecer con claridad las condiciones en las cuales la interacción electromagnética es la fundamental sin necesidad de considerar la gravitatoria
- Conocer las unidades del Sistema Internacional, asignándolas correctamente a cada una de las magnitudes electromagnéticas estudiadas
- Entender y aplicar el esquema general de solución de los problemas electromagnéticos dentro del marco de las soluciones específicas del campo electromagnético (soluciones estacionarias, cuasi-estacionarias, ó generales, de ondas electromagnéticas).

## VII.- HABILITATS SOCIALS O TRASVERSALS

- Desarrollar la capacidad de identificar problemas e idear estrategias para su resolución.
- Desarrollar la capacidad de planificar y organizar el propio aprendizaje, basándose en el trabajo individual, a partir de la bibliografía y otras fuentes de información.
- Evaluar la importancia relativa de las diferentes causas que intervienen en un fenómeno.
- Identificar los elementos esenciales de una situación compleja, realizar las aproximaciones necesarias para construir modelos simplificados que lo describan y poder así entender su comportamiento en otras situaciones.
- Ser capaz de efectuar una puesta al día de la información existente sobre un problema concreto, ordenarla y analizarla críticamente.
  - Fomentar la capacidad para trabajar en grupo

## VIII.-TEMARI Y PLANIFICACIÓ TEMPORAL

TEMA	Num. Horas
Tema 1.-Introducción a la interacción electromagnética	(5)
Tema 2.-El campo electrostático	(3)
Tema 3.-El campo magnetostático	(3)
Tema 4.-Inducción electromagnética	(3)
Tema 5.-Ecuaciones de Maxwell: ondas electromagnéticas	(4)
Tema 6.-Desarrollo multipolar del campo electrostático	(3)
Tema 7.-Desarrollo multipolar del campo magnetostático	(2)
Tema 8.-Los medios materiales	(6)
Tema 9.- Ondas electromagnéticas en medios materiales	(3)
Tema 10.-El potencial electrostático	(4)
Tema 11.-Energía electrostática	(2)
Tema 12.-Energía magnética	(2)
Tema 13.-Energía y momento electromagnéticos	(3)
Tema 14.-Teoría de circuitos: corrientes continua y alterna)	(6)
Tema 15.-Guiado de ondas electromagnéticas y cavidades	(5)
Tema 16.-Potenciales y Radiación electromagnética	(4)

**Total de horas 56**

Este temario se impartirá en cada uno de los grupos de acuerdo con el programa específico propuesto para cada uno de los grupos y que se detalla a continuación

## Grupo A (Valenciano)

### ELECTROMAGNETISME. de Física, Grup A (Valencià), Curs 2007-2008

**OBJECTIUS.** Coneixement de les lleis fonamentals d'interacció electromagnètica, com a fonamental en la Física macroscòpica i la sua expressió com a teoria de camp : les equacions de Maxwell.

L'anàlisi de les solucions específiques de les equacions de Maxwell, per a diferents problemes electromagnètics bàsics

#### **PROGRAMA DE TEORIA.**

##### **0. Teoria de camps vectorials**

0.0.-Revisió del càlcul vectorial diferencial.

0.1.-Condicions per a definir unívocament un camp vectorial. El teorema de Helmholtz

#### **A) PROPIETATS GENERALS DEL CAMP ELECTROMAGNETIC**

##### **1.-La interacció electromagnètica. Bases experimentals de les equacions de Maxwell**

1.1.-Les fonts del camp electromagnètic: càrregues i corrents.

##### **1.2.-La interacció electromagnètica. Punts de vista: l'acció a distància i el camp**

##### **1.3.-Bases experimentals de les equacions de Maxwell del camp electromagnètic**

1.3.1.-De la llei de Coulomb de acció entre càrregues quietes al camp electrostàtic.

1.3.2.-De la llei de Amperè de acció entre corrents estacionaris al camp magnetostàtic.

1.3.3.-Llei de Faraday de l'inducció electromagnètica. Llei de Lenz.

1.3.4.-La compatibilitat de les equacions de Maxwell. El corrent de desplaçament.

##### **2.-Les equacions de Maxwell en el marc de la Física Clàssica**

2.1.-Les equacions de Maxwell en el marc de la Física Clàssica. La força de Lorentz

2.2.-Teoremes de conservació

2.2.1.-Teorema de Poynting de conservació de l'energia.

2.2.2.-Teorema de conservació del moment en el camp electromagnètic. El tensor de Maxwell.

### **3.-La propagació del camp electromagnètic.**

3.1.-La propagació del camp electromagnètic. L'equació d'ones.

### **4.-Aproximacions multi polars de les distribucions de fonts**

4.1.-El desenrotllament multipolar del potencial escalar. El dipol elèctric

4.2.-El desenrotllament multipolar del potencial vector. El dipol magnètic

### **5.-El camp electromagnètic en els medis materials.**

5.1.-Els medis materials en el camp Electrostàtic.

5.1.1.-Conductors

5.1.2.- Dielèctrics.

5.1.3.-Condensadors

5.2.-Els medis materials en el camp Magnetostàtic.

5.2.1-Medis permeables (Dia i Paramagnètics)

5.2.1-Medis no permeables

5.3.-Les condicions de contorn per als camps en la interfase de dos medis materials.

## **B) SOLUCIONS ESPECÍFIQUES DEL CAMPELECTROMAGNÈTIC**

### **6.-LES SOLUCIONS ESTACIONARIES**

**6.1.El camp electrostàtic.** Característiques generals.

**6.2.-El camp dels corrents estacionaris**

6.2.1.-El camp dels corrents estacionaris en els medis materials.

6.2.2.-De las equacions de Maxwell als Lemes de Kirchhoff per als corrents estacionaris

6.2.3.-Els circuits de corrent continu.

**6.3.-El camp magnetostàtic: Generalitats.**

**6.4.-La teoria del potencial.**

6.4.1.-La solució formal del problema del potencial. Teorema de Green

6.4.2.-Les condicions de contorn per al potencial

6.4.3.-Teorema de unicitat de la solució.

6.4.4.-La solució de la equació de Laplace per el mètode de separació de variables.

6.4.5.-El mètode d'imatges.

**6.5.-L'energia en els camps estacionaris**

6.5.1.-L'energia electrostàtica

6.5.2.-L'energia magnetostàtica

### **7.-LES SOLUCIONS QUASI-ESTACIONARIES**

7.1.-Les solucions quasi-estacionaries de les equacions de Maxwell

7.2.-Els corrents induïts en la matèria. Els corrents de Foucault. El efecte pell.

7.3.-Els corrents induïts en els circuits. Els coeficients d'inducció.

7.4.-De les equacions de Maxwell als lemes de Kirchhoff amb corrents quasi-estacionaris.

7.5.-La teoria de circuits de corrent altern.

7.6.-Rang de validesa de la teoria de circuits de corrent altern.

### **8.- LA SOLUCIO GENERAL: LES ONES ELECTROMAGNETIQUES.**

**8.1.- La solució general de les equacions de Maxwell. Les ones electromagnètiques**

**8.2.- La propagació d'ones electromagnètiques en medis il·limitats.**

- 8.2.1.-Les ones electromagnètiques planes monocromàtiques y linealment polaritzades.
- 8.2.2- La propagació d'ones electromagnètiques en medis il·limitats.
  - 8.2.2.1- La propagació en medis aïllants
  - 8.2.2.1- La propagació en medis conductors
- 8.2.3- Dispersió. Velocitat de grup.
- 8.2.4.-L'espectre de les ones electromagnètiques

### **8.3.- La propagació d'ones electromagnètiques en medis limitats total ó parcialment**

- 8.3.1.-Ones totalment confinades. Cavitats.
- 8.3.2.-Ones parcialment confinades. Guies.

### **8.4.-Generació d'ones electromagnètiques. La radiació electromagnètica.**

- 8.4.1.- L'equació de ones no homogènia. La solució general de la radiació.
- 8.4.2.- Les transformacions de contrast.
- 8.4.3.- La radiació electromagnètica. Radiació d'un dipol elèctric oscil·lant.

## **Grupo B (Castellano)**

### Programa de Electromagnetismo (3º de Físicas) Grupos B Curso 2007-20078

#### OBJETIVOS.

Conocimiento de las leyes fundamentales de la electrostática y de la magnetostática en el vacío y en medios materiales, de los fenómenos electromagnéticos no estacionarios, las ondas electromagnéticas y la teoría de circuitos.

#### Previos Matemáticos

#### Lección 1. Las cargas eléctricas y su interacción. Aspectos generales del campo electromagnético

- 1.1 Introducción
- 1.2 Importancia de la interacción electromagnética en el mundo físico
- 1.3 Cargas y corrientes. Ecuación de continuidad
- 1.4 Las leyes fenomenológicas de Coulomb y Ampère
- 1.5 Teorías de acción a distancia y teorías de campo
- 1.6 Los campos eléctrico y magnético
- 1.7 Principio de superposición
- 1.8 La fuerza de Lorentz
- 1.9 Determinación unívoca de un campo vectorial. Teorema de Helmholtz

#### Lección 2. El campo de las cargas en reposo. El campo electrostático

- 2.1 Introducción
- 2.2 Propiedades diferenciales del campo electrostático
- 2.3 Propiedades integrales del campo electrostático. Teorema de Gauss
- 2.4 El potencial electrostático. Ecuaciones del potencial.
- 2.5 La condición de equilibrio para conductores homogéneos y sus consecuencias.

#### Lección 3. El campo de las corrientes estacionarias. El campo magnetostático

- 3.1 Introducción
- 3.2 Propiedades diferenciales del campo magnetostático
- 3.3 Propiedades integrales del campo magnetostático. Teorema de Ampère
- 3.4 El potencial vector
- 3.5 Ecuaciones del potencial vector

#### Lección 4. [Campos variables con el tiempo. Inducción electromagnética](#)

- 4.1 Introducción
- 4.2 El campo electromotor. Definición de fuerza electromotriz
- 4.3 Ley de Faraday-Lenz de la inducción electromagnética
- 4.4 Inducción electromagnética en circuitos en movimiento
- 4.5 Coeficientes de inducción. Fórmula de Neumann

#### Lección 5. [Ecuaciones de Maxwell. Ondas electromagnéticas](#)

- 5.1 Introducción
- 5.2 Generalización del teorema de Ampère para corrientes no estacionarias. Corriente de desplazamiento de Maxwell
- 5.3 Ecuaciones de Maxwell en el vacío
- 5.4 Ecuación de ondas. Solución en ondas planas
- 5.5 Ondas planas con variación temporal armónica

#### Lección 6. [Desarrollo multipolar del potencial escalar. Las fuentes puntuales del campo electrostático](#)

- 6.1 Introducción
- 6.2 Desarrollo multipolar del potencial escalar de una distribución de carga
- 6.3 Momentos multipolares
- 6.4 Potencial y campo creados por un dipolo eléctrico

#### Lección 7. [Desarrollo multipolar del potencial vector. Las fuentes puntuales del campo magnetostático](#)

- 7.1 Introducción
- 7.2 Desarrollo multipolar del potencial vector correspondiente a una distribución de corrientes
- 7.3 Multipolos magnéticos
- 7.4 El dipolo magnético puntual. Introducción del potencial escalar en magnetostática

#### Lección 8. [Ecuaciones del campo electromagnético en medios materiales I](#)

- 8.1 Introducción.
- 8.2 Electroestática y dieléctricos
- 8.3 El átomo como un dipolo eléctrico
- 8.4 Los dieléctricos como distribución de dipolos. La polarización  $P$ . Susceptibilidad eléctrica. Permitividad eléctrica
- 8.5 Campo creado por un dieléctrico polarizado.
- 8.6 El vector desplazamiento  $D$ .
- 8.7 Condiciones de frontera entre dieléctricos.
- 8.8 Algunos efectos eléctricos y mecánicos en dieléctricos.
- 8.9 Medios conductores. Conductividad eléctrica.

## Lección 9 [Ecuaciones del campo electromagnético en medios materiales II](#)

- 9.1 Introducción
- 9.2 El átomo como un dipolo magnético
- 9.3 Imanación  $M$  y corrientes de imanación
- 9.4 La intensidad del campo magnético  $H$ .
- 9.5 Susceptibilidad y permeabilidad magnética.
- 9.6 Condiciones de frontera para los campos  $B$  y  $H$ .
- 9.7 Paramagnetismo, diamagnetismo y ferromagnetismo
- 9.8 Ecuaciones de Maxwell en presencia de medios materiales. Recopilación.
- 9.10 Sistemas de Unidades.
- 9.9 Los campos microscópicos

## Lección 10. [Ondas electromagnéticas en medios materiales](#)

- 10.1 Introducción
- 10.2 Ecuación de ondas en los medios materiales
- 10.3 Ondas planas monocromáticas en medios no conductores
- 11.4. Ondas planas en medios conductores
- 11.5. Reflexión y transmisión en una interfase plana entre dos medios.

## Lección 11. [Los potenciales electromagnéticos](#)

- 11.1 Introducción
- 11.2 Los potenciales electromagnéticos. Transformaciones de contraste
- 11.3 Ecuación de ondas para los potenciales. Soluciones retardadas
- 11.4 Campos de radiación
- 11.5 Radiación de sistemas sencillos: el dipolo eléctrico y el dipolo magnético

## Lección 12. [La energía electrostática](#)

- 12.1 Introducción
- 12.2 Energía de una carga en presencia de un campo eléctrico exterior
- 12.3 Energía electrostática de un sistema de cargas puntuales
- 12.4 Energía electrostática de una distribución de cargas
- 12.5 Energía en función de los campos. Densidad de energía
- 12.6 Energía de un dipolo eléctrico
- 12.7 Energía de Polarización

## Lección 13. [La energía magnética](#)

- 13.1 Introducción
- 13.2 Aspectos energéticos de las corrientes eléctricas
- 13.3 Energía magnética
- 13.4 Energía de un sistema de corrientes filiformes estacionarias
- 13.5 Energía de una distribución de corrientes. Densidad de energía magnética
- 13.6 Energía de un dipolo magnético
- 13.7 Energía de imanación en los medios materiales

## Lección 14. [La energía electromagnética](#)

- 14.1 Introducción
- 14.2 Conservación de la energía. Teorema de Poynting y vector de Poynting
- 14.3 Teorema de Poynting para campos armónicos. Expresión compleja
- 14.4 Energía radiada por un dipolo eléctrico y un dipolo magnético

Lección 15. [Las fuerzas y el momento del campo electromagnético](#)

- 15.1 Introducción
- 15.2 Las fuerzas en el campo electrostático
- 15.3 Las fuerzas en el campo magnetostático
- 15.4 El momento del campo electromagnético. Teorema de conservación

Lección 16. [Teoría del potencial en electrostática](#)

- 16.1 Introducción
- 16.2 El problema electrostático. Unicidad de la solución
- 16.3 La solución formal, mediante la función de Green, del problema electrostático con condiciones de contorno
- 16.4 El método de las imágenes
- 16.5 El método de separación de variables

Lección 17. [Transición de las ecuaciones de Maxwell a la teoría de circuitos](#)

- 17.1 Introducción
- 17.2 El concepto de parámetro. Parámetros localizados y parámetros distribuidos
- 17.3 De las ecuaciones de Maxwell a las leyes de Kirchhoff
- 17.4 El caso particular de la corriente continua

Lección 18. [Circuitos con corrientes que varían lentamente con el tiempo. La corriente alterna](#)

- 18.1 Introducción
- 18.2 Régimen transitorio
- 18.3 Circuitos en régimen alterno. Régimen estacionario
- 18.4 La potencia en corriente alterna. Potencia activa y potencia reactiva
- 18.5 El fenómeno de la resonancia

Lección 19. [Teoremas de Redes Lineales](#)

- 19.1 Introducción
- 19.2 Nociones fundamentales
- 19.3 Análisis de Redes. Método de nudos y método de mallas
- 19.4 Teoremas de redes: Teorema de Thevenin y teorema de Norton

Lección 20. [Líneas de Transmisión y guías de ondas](#)

- 20.1 Introducción
- 20.2 Concepto de modo. Clasificación de los modos
- 20.3 Propagación entre dos planos paralelos. Líneas de transmisión.
- 20.4 Estudio elemental de una guía rectangular
- 20.5 Parámetros característicos
- 20.6 Cavidades resonantes.

## IX.- BIBLIOGRAFIA DE REFERÈNCIA

a) Bibliografía básica:

- Griffiths, D.J. "Introduction to Electrodynamics". Prentice Hall. 1989
- Feynman, R., Leighton, R.B., Sands, M. "Física (Volumen II: electromagnetismo y materia)". Addison-Wesley Iberoamericana, 1987.
- Pomer, F. "Electromagnetisme Bàsic". Universitat de València, 1993.
- Sánchez, F., Sanchez, J.L., Sancho, M., Santamaría, T. "Fundamentos de Electromagnetismo". Síntesis, Madrid 2000.
- Reitz, J.R., Milford, F.J., Christy, R.W. "Fundamentos de la Teoría Electromagnética". Addison-Wesley Iberoamericana, 1986.
- Wangness, R.K. "Campos electromagnéticos". Limusa 1983.
- Vanderlinde, J. "Classical electromagnetic theory". John Wiley & Sons, 1993.
- Marshall, S., Dubroff, R. and Skitek, G. "Electromagnetismo, conceptos y aplicaciones". Prentice Hall 1997.

b) Bibliografía complementaria: libros y páginas web

c) Otro Material complementario, guías de estudio, ejercicios resueltos y propuestos en la página web del profesor etc.

## X.- CONEIXEMENTS PREVIS

Para cursar esta asignatura es conveniente que los estudiantes hayan cursado previamente la Física General, Mecánica y Ondas y Matemáticas

## XI.- METODOLOGIA

La asignatura constará de tres tipos de clases con metodología diferenciada:

- (i) Clases teórico-prácticas
- (ii) Clases prácticas de pizarra
- (iii) Trabajos tutelados

En las clases de tipo (i) se impartirán los contenidos teóricos básicos de la asignatura, así como ejemplos prácticos que mejor los ilustren.

Para incrementar la relación presentación/asimilación se podrán utilizar herramientas gráficas de presentación de contenidos, a través de transparencias de powerpoint, incluyendo gráficas, dibujos, videos y animaciones, en combinación con discusiones/presentaciones en pizarra. Dichas transparencias se pondrán a disposición de los estudiantes directamente en papel, en la página web del profesor o en el aula virtual.

Así mismo se podrán presentar demostraciones prácticas sencillas, ejemplos especialmente relevantes, applets, simulaciones, etc., que permitan ilustrar algunos de los fenómenos explicados. Se fomentará y guiará al alumno en la ampliación de los contenidos recibidos en cada clase a través de la bibliografía recomendada, así como la posibilidad de ampliación de conocimientos en asignaturas futuras.

Se darán 2 clases de teoría y una de prácticas (problemas) por semana.

Para la parte de problemas se proporcionará a los estudiantes, a principio de curso un boletín completo con problemas de todos los temas. El profesor resolverá en la pizarra algunos problemas tipo por semana (1 hora por semana). El resto de problemas del boletín los podrán hacer los estudiantes, pudiendo resolver las dudas en las clases de trabajos tutelados (1 cada dos semanas), en las que el profesor hará un seguimiento del trabajo y progreso de los estudiantes, además de resolver las dudas planteadas. Estas clases se impartirán a grupos de un número limitado de alumnos. Cada estudiante planteará la resolución de un problema del

boletín (no resuelto en clase). Por otra parte, a cada grupo se les facilitará con antelación un cierto número de trabajos (ejercicios), que podrán ser evaluados por el profesor

## **XII.- AVALUACIÓ DE L'APRENTATGE**

La evaluación ordinaria de la asignatura se realizará mediante dos exámenes parciales compensables siempre que ninguna de sus notas sea inferior a 4 puntos, pudiendo recuperar las calificaciones de una ó los dos parciales, mediante un examen final, La calificación final será la media de las calificaciones obtenidas en cada prueba parcial. Cada examen parcial constará de cuestiones (6 puntos) y de problemas (4 puntos). La evaluación extraordinaria tendrá la misma estructura que un examen parcial. El aprobado de la asignatura se sitúa a partir de 5 puntos. La nota total de la asignatura comprenderá la calificación del examen con la consideración adicional de los trabajos que pueden presentarse con carácter voluntario.