

22-23

GRADO EN FÍSICA
SEGUNDO CURSO

GUÍA DE ESTUDIO COMPLETA



ELECTROMAGNETISMO II

CÓDIGO 61042076

UNED

22-23

ELECTROMAGNETISMO II

CÓDIGO 61042076

ÍNDICE

PRESENTACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN
REQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES PARA CURSAR LA ASIGNATURA
EQUIPO DOCENTE
HORARIO DE ATENCIÓN AL ESTUDIANTE
TUTORIZACIÓN EN CENTROS ASOCIADOS
COMPETENCIAS QUE ADQUIERE EL ESTUDIANTE
RESULTADOS DE APRENDIZAJE
CONTENIDOS
METODOLOGÍA
PLAN DE TRABAJO
SISTEMA DE EVALUACIÓN
BIBLIOGRAFÍA BÁSICA
BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA
RECURSOS DE APOYO Y WEBGRAFÍA
GLOSARIO

Nombre de la asignatura	ELECTROMAGNETISMO II
Código	61042076
Curso académico	2022/2023
Departamento	FÍSICA INTERDISCIPLINAR
Título en que se imparte	GRADO EN FÍSICA
Curso	SEGUNDO CURSO
Periodo	SEMESTRE 2
Tipo	OBLIGATORIAS
Nº ETCS	6
Horas	150.0
Idiomas en que se imparte	CASTELLANO

PRESENTACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN

La asignatura **Electromagnetismo II** se ocupa de los conceptos y fenómenos físicos fundamentales de la teoría electromagnética, incidiendo también en algunas de las aplicaciones más extendidas en el mundo tecnológico, como son la transmisión de energía y de información. Abarca el estudio de los campos dependientes del tiempo y de las ecuaciones que rigen su comportamiento, ecuaciones que luego se especializan y aplican a diversas situaciones de relevancia tecnológica, como son la respuesta de los materiales a campos magnéticos estacionarios, la propagación libre y guiada de las ondas electromagnéticas, y la radiación y sus fuentes más sencillas, las antenas elementales. Electromagnetismo II integra y amplía el conocimiento que sobre el Electromagnetismo ha adquirido el alumno en las asignaturas de Fundamentos de Física II y Electromagnetismo I.

Dentro del Grado de Física, **Electromagnetismo II** forma parte de la materia principal *Electromagnetismo y Óptica*, constituida por seis asignaturas obligatorias y una optativa. Situada en el segundo semestre del segundo curso y de carácter obligatorio, Electromagnetismo II, junto con Electromagnetismo I, completa la teoría clásica del Electromagnetismo, proporcionando un modelo compacto con el que abordar realidades complejas, como son el campo electromagnético con sus consecuencias y efectos sobre los cuerpos, a la vez que prepara al estudiante para abordar temas más avanzados de Electrodinámica clásica y relativista, y de óptica electromagnética.

REQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES PARA CURSAR LA ASIGNATURA

Se desaconseja por completo que el estudiante se matricule en esta asignatura si no ha cursado, o se encuentra cursando, la asignatura de Electromagnetismo I.

En cuanto a los conocimientos matemáticos necesarios, el estudiante debe conocer el cálculo vectorial, los diversos sistemas de coordenadas, las funciones elementales, nociones de geometría, los números complejos y las ecuaciones diferenciales ordinarias (lineales, de primer orden y de coeficientes constantes) y las ecuaciones en derivadas parciales. También es conveniente que posea unas nociones básicas de transformadas integrales (Laplace y Fourier).

EQUIPO DOCENTE

Nombre y Apellidos

Correo Electrónico

Teléfono

Facultad

Departamento

MANUEL PANCORBO CASTRO

mpancorbo@ccia.uned.es

91398-7187

FACULTAD DE CIENCIAS

FÍSICA INTERDISCIPLINAR

Nombre y Apellidos

Correo Electrónico

Teléfono

Facultad

Departamento

MIKEL SANZ MONASTERIO (Coordinador de asignatura)

mikelsanz@ccia.uned.es

913989028

FACULTAD DE CIENCIAS

FÍSICA INTERDISCIPLINAR

HORARIO DE ATENCIÓN AL ESTUDIANTE

Las labores de tutorización y seguimiento se realizarán principalmente a través de las herramientas de comunicación del Curso virtual (Correo electrónico y Foros de debate). Se recuerda que los Foros son herramientas cuya finalidad principal es estimular el debate académico entre los estudiantes, por lo cual la respuesta de los profesores en los Foros no será inmediata, de manera que exista un lapso de tiempo para el mencionado debate. Por descontado, los posibles errores de los estudiantes en dicho debate nunca influirán negativamente en las calificaciones.

No obstante, siempre que lo deseen y en el horario previsto a tales fines, los estudiantes podrán ponerse en contacto con los profesores de la asignatura por medio del teléfono, o mediante visita personal en el horario de guardia correspondiente.

•D. Manuel Pancorbo Castro

Correo: mpancorbo@ccia.uned.es

Horario: Martes, de 11h a 13h y de 16h a 18h

Despacho: 009 (Centro Asociado de Las Rozas)

Avda. Esparta s/n - 28232 Las Rozas

•D. Mikel Sanz Monasterio

Correo: mikelsanz@ccia.uned.es

Horario: Martes, de 10h a 14h

Despacho: 023 (Centro Asociado de Las Rozas)

Avda. Esparta s/n - 28232 Las Rozas

TUTORIZACIÓN EN CENTROS ASOCIADOS

En el enlace que aparece a continuación se muestran los centros asociados y extensiones en las que se imparten tutorías de la asignatura. Estas pueden ser:

- **Tutorías de centro o presenciales:** se puede asistir físicamente en un aula o despacho del centro asociado.
- **Tutorías campus/intercampus:** se puede acceder vía internet.

Consultar horarios de tutorización de la asignatura 61042076

COMPETENCIAS QUE ADQUIERE EL ESTUDIANTE

Competencias generales:

- CG01 Capacidad de análisis y síntesis.
- CG02 Capacidad de organización y planificación.
- CG03 Comunicación oral y escrita en la lengua nativa.
- CG06 Capacidad de gestión de información.
- CG07 Resolución de problemas.
- CG09 Razonamiento crítico.
- CG10 Aprendizaje autónomo.
- CG11 Adaptación a nuevas situaciones.

Competencias específicas:

- CE01 Tener una buena comprensión de las teorías físicas más importantes: su estructura lógica y matemática, su soporte experimental y los fenómenos que describen; en especial, tener un buen conocimiento de los fundamentos de la física moderna.
- CE03 Tener una idea de cómo surgieron las ideas y los descubrimientos físicos más importantes, cómo han evolucionado y cómo han influido en el pensamiento y en el entorno natural y social de las personas.
- CE04 Ser capaz de identificar las analogías en la formulación matemática de problemas físicamente diferentes, permitiendo así el uso de soluciones conocidas en nuevos problemas.
- CE05 Ser capaz de entender y dominar el uso de los métodos matemáticos y numéricos más comúnmente utilizados, y de realizar cálculos de forma independiente, incluyendo cálculos numéricos que requieran el uso de un ordenador y el desarrollo de programas de software.
- CE07 Ser capaz de identificar los principios físicos esenciales que intervienen en un fenómeno y hacer un modelo matemático del mismo; ser capaz de hacer estimaciones de órdenes de magnitud y, en consecuencia, hacer aproximaciones razonables que permitan simplificar el modelo sin perder los aspectos esenciales del mismo.
- CE09 Adquirir una comprensión de la naturaleza y de los modos de la investigación física y de cómo ésta es aplicable a muchos campos no pertenecientes a la física, tanto para la comprensión de los fenómenos como para el diseño de experimentos para poner a prueba las soluciones o las mejoras propuestas.
- CE11 Ser capaz de trabajar con un alto grado de autonomía y de entrar en nuevos campos

de la especialidad a través de estudios independientes.

RESULTADOS DE APRENDIZAJE

El estudio de esta asignatura proporcionará a los estudiantes los conocimientos suficientes para entender los problemas físicos relacionados con el campo y las ondas electromagnéticas, y la capacidad de presentar una descripción matemática formal apropiada de los mismos.

Entre las capacidades y destrezas generales que adquirirá el alumno podemos citar:

- Conocimiento del campo electromagnético y las consecuencias que se derivan de las ecuaciones que rigen su comportamiento.
- Comprensión y manejo de la terminología propia del electromagnetismo
- Capacidad de manejar con soltura las ecuaciones de Maxwell dependientes del tiempo en su forma diferencial e integral, tanto en el vacío como en medios materiales.
- Conocimiento del significado físico y los principios que se derivan de la consideración de las ondas electromagnéticas.
- Conocimiento de las relaciones del Electromagnetismo con otras ramas de la Física, en el contexto macroscópico y microscópico.
- Capacidad de aplicar los conocimientos teóricos a la resolución de problemas prácticos.

Otras capacidades y destrezas más específicos son:

- Conocimiento de la inducción electromagnética.
- Comprensión de la idea de inducción mutua y autoinductancia.
- Conocimiento de los potenciales electromagnéticos, su utilidad y aplicaciones.
- Conocimiento del principio de conservación de la energía electromagnética.
- Capacidad de realizar un balance energético en el campo electromagnético a partir del principio de conservación de la energía.
- Comprensión del principio de conservación del momento electromagnético.
- Comprensión del comportamiento frente a campos magnéticos de los medios materiales.
- Capacidad de aplicar las corrientes de imanación a la determinación del campo magnético en medios materiales.
- Conocimiento de la susceptibilidad y permeabilidad magnética y los diversos valores que muestran en cada tipo de material.
- Conocimiento de la histéresis magnética de los materiales ferromagnéticos.
- Conocimiento del concepto de onda plana y su utilidad para el estudio de la propagación electromagnética.
- Conocimiento de los fundamentos de la propagación electromagnética libre en medios con y sin pérdidas.
- Conocimiento y análisis de los diferentes tipos de polarización de las ondas planas.
- Comprensión y capacidad de análisis de la propagación electromagnética guiada.

- Capacidad de análisis de los modos de propagación en las guías de onda rectangulares y en cavidades resonantes.
- Conocimiento de los principios fundamentales de la emisión de la radiación electromagnética.
- Capacidad de análisis de un sistema radiante elemental.

CONTENIDOS

TEMA 1. Campos magnéticos en medios materiales

Descriptores: Efecto Hall. Momento dipolar magnético. Momento dipolar atómico y molecular. Vector magnetización. Corrientes de imanación. Leyes constitutivas. Clasificación de los medios magnéticos. Susceptibilidad y permeabilidad. Histéresis magnética de los materiales ferromagnéticos. Condiciones magnéticas de frontera.

Contenidos Concretos: En este tema vamos a estudiar la interacción de un campo magnético con los materiales. En primer lugar, vamos a describir el efecto Hall, que es la aparición de un campo eléctrico transversal en un medio conductor sometido a un campo magnético y por el que, además, circula una corriente. Asociado a este efecto, y también a la geometría del conductor, tenemos el fenómeno de la magnetorresistencia como un incremento de la resistividad natural del medio en presencia de un campo magnético. En segundo lugar, estudiaremos la interacción del campo magnético con los materiales. Igual que en el caso electrostático se define el momento dipolar eléctrico (y sus correspondientes momentos multipolares), la polarización y su relación con el campo eléctrico a través del vector desplazamiento, en este tema veremos los momentos multipolares magnéticos, la magnetización de los materiales y su relación con el campo magnético. En este sentido, la interacción del campo magnético y la materia tiene notables coincidencias con el caso electrostático.

Para ello, primero veremos que el potencial vector magnético debido a una distribución de corrientes se puede expresar en función de sus momentos multipolares y que el principal componente en este caso es el momento dipolar.

Posteriormente veremos que un medio material, desde el punto de vista microscópico, se puede considerar como un agregado de átomos y moléculas en los que un campo magnético externo induce un momento dipolar magnético. Además, los materiales paramagnéticos y ferromagnéticos presentan dipolos magnéticos intrínsecos. El paramagnetismo se debe a la orientación de los momentos magnéticos intrínsecos de átomos y moléculas en la dirección del campo aplicado. Mientras que los materiales ferromagnéticos se caracterizan porque la interacción de los átomos próximos provoca la alineación de sus momentos dipolares

intrínsecos en una dirección determinada; el conjunto de dipolos alineados se agrupan en dominios, zonas del material con los dipolos orientados en una dirección. Un campo externo provoca que los dominios se orienten en la dirección del campo aplicado. Por otra parte el diamagnetismo tiene su origen en las corrientes atómicas. La presencia de un campo magnético induce momentos dipolares que se oponen al campo aplicado.

Desde un punto de vista macroscópico un material magnético se caracteriza por su imanación, que se define como el momento magnético por unidad de volumen.

Materiales para el estudio: El material para el estudio de este tema se encuentra en el capítulo 1 del texto básico. Como materiales complementarios en lo que se refiere a la resolución de problemas se pueden utilizar los textos de problemas resueltos recomendados en la bibliografía

Orientaciones concretas:

- Se recomienda resolver los ejercicios de autoevaluación del texto después del estudio de cada sección o apartado.
- Se recomienda intentar resolver los problemas propuestos al final del capítulo.

TEMA 2. Inducción electromagnética

Descriptores: Ley de Faraday en forma integral. Ley de Lenz. Fuerza electromotriz en circuitos estacionarios. Fuerza electromotriz por movimiento, en campo **B** estático y en campo variable con el tiempo. Corrientes de Foucault. Inducción mutua y Autoinducción.

Contenidos Concretos: Hasta ahora hemos estudiado de forma independiente los campos eléctrico y magnético, de manera que el campo eléctrico tiene su origen en cargas eléctricas en reposo y el magnético en cargas con movimiento uniforme. La relatividad restringida pone de manifiesto que según el sistema de referencia donde se sitúe el observador así será el campo eléctrico y magnético observado, es decir, muestra la interdependencia entre campo eléctrico y magnético. Antes de que Einstein introdujera la relatividad restringida, la dependencia entre los campos eléctrico y magnético se observó en el análisis del comportamiento de campos magnéticos variables. Faraday descubrió la conexión entre campo eléctrico y magnético que permite considerarlos como un sistema interconectado conocido bajo el nombre de campo electromagnético.

En este tema se estudia la inducción electromagnética y los coeficientes de inducción mutua y autoinducción, parámetros que dependen de la geometría de los circuitos y caracterizan su comportamiento en el caso de campos variables.

Materiales para el estudio: El material para el estudio de este tema se encuentra en el capítulo 2 del texto básico.

Como materiales complementarios en lo que se refiere a la resolución de problemas se pueden utilizar los textos de problemas resueltos recomendados en la bibliografía

Orientaciones concretas:

- Se recomienda resolver los ejercicios de autoevaluación del texto después del estudio de cada sección o apartado.
- Se recomienda intentar resolver los problemas propuestos al final del capítulo.

TEMA 3. Energía magnética

Descriptor: Energía magnética en función de los campos. Energía magnética en medios no lineales. Relación entre energía y coeficiente de autoinducción. Fuerza y par de fuerzas. Presión magnética.

Contenidos Concretos: En electrostática se define la energía como el trabajo necesario para disponer un conjunto de cargas o distribuciones continuas de carga. En magnetostática es posible hacer una definición similar para las disposiciones de corrientes. En este tema vamos a proceder de una forma análoga a la realizada en electrostática para calcular la energía magnética de una distribución de corrientes. Hasta que las corrientes alcanzan su valor final, tanto los cambios de posición de los circuitos como las variaciones de corriente, llevarán asociados un trabajo realizado por las baterías (fuerza electromotriz), que deberemos tener en cuenta para calcular la energía final del sistema. También utilizaremos las relaciones entre campos y corrientes para expresar la energía magnética en función de los vectores de campo.

Materiales para el estudio: El material para el estudio de este tema se encuentra en el capítulo 3 del texto básico. Como materiales complementarios en lo que se refiere a la resolución de problemas se pueden utilizar los textos de problemas resueltos recomendados en la bibliografía.

Orientaciones concretas:

- Se recomienda resolver los ejercicios de autoevaluación del texto después del estudio de cada sección o apartado.
- Se recomienda intentar resolver los problemas propuestos al final del capítulo.

TEMA 4. Ecuaciones de Maxwell. Campo electromagnético.

Descriptor: Principio de conservación de la carga. Ecuaciones fundamentales del electromagnetismo. Ecuaciones de Maxwell-Lorentz. Ecuaciones de Maxwell en medios materiales. Condiciones de frontera para los campos. Potenciales electrodinámicos. Energía del campo electromagnético. Principio de conservación de la energía: Teorema de Poynting.

Contenidos Concretos: En capítulos anteriores hemos estudiado los campos debidos a cargas estáticas y corrientes constantes así como la ley de inducción electromagnética que

pone de manifiesto la conexión entre un campo eléctrico y otro magnético dependiente del tiempo.

En este tema se completa el estudio de las relaciones entre los campos eléctrico y magnético con la aportación de Maxwell que muestra como las fuentes de un campo magnético no sólo son las corrientes de conducción sino que un campo magnético puede ser producido por un campo eléctrico variable a través de un término denominado corriente de desplazamiento. De esta manera se muestra la interdependencia entre los campos eléctrico y magnético y podemos hablar del campo electromagnético.

La consecuencia de esta interdependencia es la generación y propagación de las ondas electromagnéticas. La formulación teórica propuesta por Maxwell predecía la existencia de ondas electromagnéticas y que la luz era una onda electromagnética. La generación de ondas electromagnéticas por corrientes variables fue descubierta por Hertz en 1887, y de esta forma se confirmó la validez del modelo propuesto por Maxwell.

En este tema formularemos el conjunto de ecuaciones de Maxwell que rigen el comportamiento del campo electromagnético e introduciremos los potenciales electrodinámicos y su relación con los campos eléctrico y magnético. Se deducirán las ecuaciones de onda para dichos potenciales y se establecerán las condiciones, normas, que simplifican estas ecuaciones de onda y relacionan los potenciales entre sí.

A continuación realizaremos un balance de energía en una región del espacio que nos permitirá formular el teorema de Poynting (conservación de la energía) y definir el vector de Poynting en función de los vectores de campo eléctrico y magnético.

En este tema no trataremos el tema del momento lineal del campo electromagnético, cuyo estudio es más apropiado acometer en el contexto de la Electrodinámica Clásica y con las herramientas de cálculo tensorial asociadas a la Relatividad Especial.

Materiales para el estudio: El material para el estudio de este tema se encuentra en el capítulo 4 del texto básico. Como materiales complementarios en lo que se refiere a la resolución de problemas se pueden utilizar los textos de problemas resueltos recomendados en la bibliografía.

Orientaciones concretas:

- Se recomienda resolver los ejercicios de autoevaluación del texto después del estudio de cada sección o apartado.
- Se recomienda intentar resolver los problemas propuestos al final del capítulo.

TEMA 5. Ondas electromagnéticas. Propagación libre.

Descriptor: Ecuación de ondas. Campos armónicos. Permitividad y factor de propagación complejo. Propagación de ondas planas en un medio sin pérdidas. Impedancia intrínseca del medio. Polarización de una onda plana. Propagación de ondas planas en medios con

pérdidas: dieléctrico de bajas pérdidas y conductor. Profundidad de penetración. Constante dieléctrica generalizada. Energía electromagnética: Vector de Poynting y potencia transmitida. Medios dispersivos. Velocidad de grupo. Reflexión y transmisión de ondas: incidencia normal.

Contenidos Concretos: Las ecuaciones de Maxwell, que expresan en forma matemática las leyes que gobiernan el campo electromagnético, predicen la existencia de ondas electromagnéticas que se pueden propagar en cualquier tipo de medio. En este tema se inicia el estudio de la propagación de ondas electromagnéticas planas en medios homogéneos, lineales, isótropos y sin fuentes que, en general, pueden presentar pérdidas ya sean debidas a una conductividad no nula o a los mecanismos de polarización en el dieléctrico.

Comenzamos con la particularización de las ecuaciones de Maxwell a campos armónicos de frecuencia ω y con la definición de la permitividad compleja que incluye en su parte imaginaria las pérdidas debidas a la conductividad no nula del medio. A continuación consideramos el caso de medios libres de cargas y obtenemos la ecuación de ondas para **E** y **H**.

En primer lugar abordamos el estudio de la propagación en un medio sin pérdidas particularizando la ecuación obtenida al caso de medios de conductividad nula. Veremos que las ondas planas monocromáticas son solución de la ecuación de ondas obtenida y estudiaremos sus propiedades generales: relaciones entre **E** y **H**, velocidad de fase, polarización, etc.

El estudio se extiende luego a la propagación en un medio con pérdidas. Para ello, partiendo de la expresión general de la ecuación de ondas, se introducen los conceptos de constante de propagación compleja, constante de atenuación y velocidad de propagación. La solución a la ecuación de ondas vendrá dada por una onda propagante que se atenúa en el espacio. De nuevo estudiamos las relaciones entre **E** y **H** y definimos la impedancia intrínseca compleja y la profundidad de penetración. Del análisis de las soluciones se desprende que se pueden clasificar los medios como dieléctricos de bajas pérdidas o como buenos conductores en función del valor del cociente $g/\omega\epsilon$, es decir, dependiendo de las características del medio pero también de la frecuencia de las señales que se propagan, siendo ésta un factor determinante a la hora de establecer las distintas aproximaciones al problema.

El campo electromagnético transporta energía. Estudiaremos el flujo de potencia transportada por una onda electromagnética en los dos casos vistos, medios sin y con pérdidas, mediante el cálculo del vector de Poynting que nos da la potencia por unidad de área que transporta la onda. Para terminar el tema, haremos un análisis de las propiedades de reflexión y transmisión de una onda plana cuando incide normalmente a la superficie de separación de dos medios.

Materiales para el estudio: El material para el estudio de este tema se encuentra en el capítulo 5 del texto básico **excepto la sección 7** que trata la reflexión y transmisión de ondas planas con incidencia oblicua. Si bien el contenido de esta sección no entra como material evaluable, se recomienda su lectura.

Como materiales complementarios en lo que se refiere a la resolución de problemas se pueden utilizar los textos de problemas resueltos recomendados en la bibliografía

Orientaciones concretas:

- Se recomienda resolver los ejercicios de autoevaluación del texto después del estudio de cada sección o apartado.
- Se recomienda intentar resolver los problemas propuestos al final del capítulo.

TEMA 6. Propagación guiada. Líneas de transmisión.

Descriptor: Propagación en sistemas con simetría traslacional. Relaciones entre los campos. Modo de propagación TEM. Líneas de transmisión. Coeficiente de reflexión e impedancia de carga. Ondas estacionarias. Flujo de potencia en una línea de transmisión sin pérdidas. Diagrama de Smith. Aplicaciones.

Contenidos Concretos: El objetivo de este tema y del siguiente es el estudio de la propagación del campo electromagnético en medios confinados. En general, estos medios confinados son estructuras que se utilizan para transferir energía o información entre dos puntos y se denominan de forma genérica líneas de transmisión. Ejemplos de líneas de transmisión son los cables telefónicos, el cable coaxial que transporta señal de audio, el cable de antena de TV, las fibras ópticas y las guías de ondas.

Todas estas líneas de transmisión se caracterizan porque existe una dirección privilegiada, que normalmente identificamos con la dirección del eje Z. Esta dirección coincide con la dirección de propagación de la onda electromagnética y a lo largo de la misma se conserva la sección transversal del sistema, tanto en geometría como en lo referente a las características electromagnéticas de los medios que forman parte de la línea. Por este motivo también se denominan sistemas de transmisión cilíndricos o sistemas de transmisión con simetría traslacional. Esta hipótesis de simetría traslacional nos va a permitir resolver con relativa sencillez el problema de propagación.

Aunque en sentido estricto todo dispositivo utilizado para la transmisión de energía electromagnética es una línea de transmisión, lo común es reservar este término para los que pueden transmitir ondas transversales electromagnéticas (TEM) que, como veremos más adelante, son aquellos que constan de dos o más conductores. El término guía de ondas se reserva para los sistemas que son capaces de transmitir una onda que no tiene componente eléctrica en la dirección de propagación, onda transversal eléctrica (TE), o bien que no tiene componente magnética, onda transversal magnética (TM). Las guías están

formadas por un solo conductor hueco cuyo interior puede estar ocupado por un dieléctrico o por aire. La fibra óptica está constituida por una varilla dieléctrica en la que la luz está confinada a viajar mediante reflexiones internas totales.

En este tema nos centraremos en el estudio de las líneas de transmisión que soportan ondas transversales electromagnéticas. Estudiaremos las características de las líneas de transmisión sin pérdidas y la potencia transmitida por las mismas. Para terminar, introduciremos el diagrama de Smith y estudiaremos sus aplicaciones, especialmente su utilidad para la adaptación de impedancias en una línea.

Materiales para el estudio: El material para el estudio de este tema se encuentra en el capítulo 6 del texto **excepto la sección 9** que trata las líneas con pérdidas. Como materiales complementarios en lo que se refiere a la resolución de problemas se pueden utilizar los textos de problemas resueltos recomendados en la bibliografía

Orientaciones concretas.

- Se recomienda resolver los ejercicios de autoevaluación del texto después del estudio de cada sección o apartado.
- Se recomienda intentar resolver los problemas propuestos al final del capítulo.

TEMA 7. Guías de onda y cavidades resonantes

Descriptor: Guías de onda. Modos de propagación TM y TE. Relación de dispersión. Frecuencia de corte. Análisis del modo fundamental. Potencia en las guías. Velocidad de propagación. Cavidades resonantes. Frecuencia de resonancia. Factor de calidad.

Contenidos Concretos: En este tema se aborda el estudio de la propagación guiada en las guías de ondas rectangulares que son sistemas formados por un solo conductor con sección rectangular. Establecemos las relaciones generales para **E** y **H** y las características de la propagación definiendo la relación de dispersión y la frecuencia de corte. A continuación abordamos los dos modos de propagación, los modos TM (transversal magnético) y los modos TE (transversal eléctrico) que se caracterizan por ser ondas propagantes en la dirección z pero que no tienen componente eléctrica y magnética, respectivamente, en esta dirección.

Para terminar el tema abordamos el análisis de la cavidad resonante que es un dispositivo constituido por una región dieléctrica encerrada por una superficie conductora. Para realizar este estudio, consideramos las cavidades como tramos de guías cortocircuitados y nos apoyaremos en las soluciones ya conocidas para las guías.

Materiales para el estudio: El material para el estudio de este tema se encuentra en el capítulo 7 del texto básico **excepto la sección 3** (guía circular) **y la sección 4.1** (Cálculo de la atenuación en guías). Como materiales complementarios en lo que se refiere a la resolución de problemas se pueden utilizar los textos de problemas resueltos recomendados

en la bibliografía

Orientaciones concretas.

- Se recomienda resolver los ejercicios de autoevaluación del texto después del estudio de cada sección o apartado.
- Se recomienda intentar resolver los problemas propuestos al final del capítulo.

TEMA 8. Radiación electromagnética

Descriptores: Potenciales retardados. Campos de un dipolo hertziano. Zonas de radiación. Campos radiados en la zona lejana. Potencia radiada. Antenas. Características de radiación de una antena. Campos de radiación de una antena lineal. Antena dipolo de media longitud de onda. Antena frente a tierra. Agrupaciones de antenas. Agrupaciones verticales.

Contenidos Concretos: Los temas anteriores se han enfocado al estudio de la propagación de ondas electromagnéticas sin considerar cómo se producen. En este último tema se considera la relación existente entre los campos y sus fuentes. La forma más conveniente de hacerlo es mediante los potenciales electromagnéticos y, en concreto, a través de la ecuación de ondas no homogénea que verifican éstos, una vez impuesta la norma (gauge) de Lorenz. Para ello, en este tema se parte de las ecuaciones de onda no homogéneas para V y \mathbf{A} que se obtuvieron en el tema 4. La resolución de estas ecuaciones conduce a unas expresiones para los potenciales que ponen de manifiesto que los potenciales del campo electromagnético en un punto de observación que se encuentra a una distancia r del origen de coordenadas, producidos por una distribución de cargas y corriente situadas en el punto r' , vienen determinados, en el instante t , por el valor de las fuentes en el instante anterior $t = t - R/c$, con $R = |\mathbf{r} - \mathbf{r}'|$. Los potenciales así obtenidos se denominan potenciales retardados y la cantidad R/c tiempo de retardo. El tiempo de retardo representa el intervalo de tiempo durante el cual el campo electromagnético, que se propaga con velocidad c , recorre la distancia $R = |\mathbf{r} - \mathbf{r}'|$.

A partir de las expresiones para los potenciales retardados estudiamos los campos producidos por un dipolo hertziano o dipolo corto y se analizan los distintos términos obtenidos: los cuasi-estáticos de Coulomb y de Biot-Savart, los términos de inducción y los términos de radiación. Nos centraremos en los campos \mathbf{E} y \mathbf{H} en la zona de radiación y obtendremos el flujo de potencia radiada por los mismos.

A continuación se aborda el estudio de las antenas que son dispositivos diseñados específicamente para radiar energía electromagnética de forma eficaz en determinadas direcciones. En primer lugar definimos los parámetros que caracterizan una antena como elemento radiante y como elemento de circuito: Diagrama o patrón de radiación, lóbulos principal y secundarios, directividad, ganancia de antena y resistencia de radiación.

En segundo lugar, a partir de las expresiones obtenidas para el dipolo corto, obtendremos los campos de radiación producidos por una antena lineal de longitud arbitraria y particularizamos las expresiones para una antena de media longitud de onda. Para terminar, estudiaremos las agrupaciones de antenas como método para conseguir diagramas de radiación con una directividad específica.

Materiales para el estudio: El material para el estudio de este tema se encuentra en el capítulo 8 del texto básico **excepto la sección 3.2** (antena de cuadro). Como materiales complementarios en lo que se refiere a la resolución de problemas se pueden utilizar los textos de problemas resueltos recomendados en la bibliografía

Orientaciones concretas:

- Se recomienda resolver los ejercicios de autoevaluación del texto después del estudio de cada sección o apartado.
- Se recomienda intentar resolver los problemas propuestos al final del capítulo.

METODOLOGÍA

La docencia se impartirá principalmente a través de un curso virtual dentro de la plataforma educativa de la UNED. Dentro del curso virtual los estudiantes dispondrán de:

- Plan de trabajo donde se da la bienvenida y se estructura el curso según el programa de contenidos.
 - Materiales. El alumno dispondrá de materiales complementarios al curso:
 - Programas de simulación para ilustrar algunos aspectos de la teoría
 - Cuestiones de repaso de cada tema
 - Herramientas de comunicación:
 - Foros de debate, donde se intercambian conocimientos y se resuelven dudas de tipo conceptual o práctico.
 - Plataforma de entrega de los problemas de evaluación continua y herramientas de calificación.
 - Correo, para la consulta personal de cuestiones particulares del alumno.
 - Actividades y trabajos:
 - Participación en los foros de debate.
 - Actividades de autoevaluación.
 - Pruebas de evaluación continua propuestos por el equipo docente a lo largo del curso.
- Fuera del curso virtual el estudiante también tendrá acceso a realizar consultas al equipo docente a través del correo, teléfono y presencialmente en los horarios establecidos para estas actividades.

PLAN DE TRABAJO

En el cómputo de horas se incluyen el tiempo dedicado a las horas lectivas, horas de estudio, tutorías, seminarios, trabajos, prácticas o proyectos, así como las exigidas para la preparación y realización de exámenes y evaluaciones.

TEMA: 1.1. Campos magnéticos en medios materiales - 9 Horas

- Lectura y asimilación de los conceptos relativos al tema
- Asistencia a la tutoría intercampus relativa al tema

TEMA: 1.2. Campos magnéticos en medios materiales - 11 Horas

Actividades:

- Analizar las simulaciones del curso virtual
- Elaborar un esquema-resumen de los contenidos del tema
- Resolver los ejercicios autoevaluación
- Resolver los ejercicios propuestos
- Participar en los foros para plantear/resolver dudas

TEMA: 2.1. Inducción electromagnética - 7 Horas

- Lectura y asimilación de los conceptos relativos al tema
- Asistencia a la tutoría intercampus relativa al tema

TEMA: 2.2. Inducción electromagnética - 9 Horas

Actividades:

- Analizar las simulaciones del curso virtual
- Elaborar un esquema-resumen de los contenidos del tema
- Resolver los ejercicios autoevaluación
- Resolver los ejercicios propuestos
- Participar en los foros para plantear/resolver dudas

TEMA: 3.1. energía magnética - 6 Horas

- Lectura y asimilación de los conceptos relativos al tema
- Asistencia a la tutoría intercampus relativa al tema

TEMA: 3.2. Energía magnética - 8 Horas

Actividades:

- Analizar las simulaciones del curso virtual
- Elaborar un esquema-resumen de los contenidos del tema
- Resolver los ejercicios autoevaluación
- Resolver los ejercicios propuestos
- Participar en los foros para plantear/resolver dudas

TEMA: 4.1 Ecuaciones de Maxwell. Campo electromagnético - 8 Horas

- Lectura y asimilación de los conceptos relativos al tema
- Asistencia a la tutoría intercampus relativa al tema

TEMA: 4.2. Ecuaciones de Maxwell. Campo electromagnético - 10 Horas

Actividades:

- Analizar las simulaciones del curso virtual
- Elaborar un esquema-resumen de los contenidos del tema
- Resolver los ejercicios autoevaluación
- Resolver los ejercicios propuestos
- Participar en los foros para plantear/resolver dudas

PEC: Primera prueba de evaluación continua - 5 Horas**TEMA: 5.1 Ondas electromagnéticas. Propagación libre. - 9 Horas**

- Lectura y asimilación de los conceptos relativos al tema
- Asistencia a la tutoría intercampus relativa al tema

TEMA: 5.2. Ondas electromagnéticas. Propagación libre - 11 Horas

Actividades:

- Analizar las simulaciones del curso virtual
- Elaborar un esquema-resumen de los contenidos del tema
- Resolver los ejercicios autoevaluación
- Resolver los ejercicios propuestos
- Participar en los foros para plantear/resolver dudas

TEMA: 6.1. Propagación guiada. Líneas de transmisión - 8 Horas

- Lectura y asimilación de los conceptos relativos al tema
- Asistencia a la tutoría intercampus relativa al tema

TEMA: 6.2. Propagación guiada. Líneas de transmisión - 10 Horas

Actividades:

- Analizar las simulaciones del curso virtual
- Elaborar un esquema-resumen de los contenidos del tema
- Resolver los ejercicios autoevaluación
- Resolver los ejercicios propuestos
- Participar en los foros para plantear/resolver dudas

TEMA: 7.1. Guías de onda y cavidades resonantes - 7 Horas

- Lectura y asimilación de los conceptos relativos al tema
- Asistencia a la tutoría intercampus relativa al tema

TEMA: 7.2. Guías de onda y cavidades resonantes - 9 Horas

Actividades:

- Analizar las simulaciones del curso virtual
- Elaborar un esquema-resumen de los contenidos del tema
- Resolver los ejercicios autoevaluación
- Resolver los ejercicios propuestos
- Participar en los foros para plantear/resolver dudas

TEMA: 8.1. Radiación electromagnética - 7 Horas

- Lectura y asimilación de los conceptos relativos al tema
- Asistencia a la tutoría intercampus relativa al tema

TEMA: 8.2. Radiación electromagnética - 9 Horas

Actividades:

- Analizar las simulaciones del curso virtual
- Elaborar un esquema-resumen de los contenidos del tema
- Resolver los ejercicios autoevaluación
- Resolver los ejercicios propuestos
- Participar en los foros para plantear/resolver dudas

PEC: Segunda prueba de evaluación continua - 5 Horas

PRUEBA PRESENCIAL: 2 horas

Total Horas ECTS introducidas aquí : 150

SISTEMA DE EVALUACIÓN

TIPO DE PRUEBA PRESENCIAL

Tipo de examen Examen de desarrollo

Preguntas desarrollo

Duración del examen 120 (minutos)

Material permitido en el examen

Calculadora no programable

Criterios de evaluación

Se valorarán los pasos correctos encaminados a la resolución de cada cuestión/ejercicio así como la claridad de la exposición.

% del examen sobre la nota final 80

Nota del examen para aprobar sin PEC 5

Nota máxima que aporta el examen a la calificación final sin PEC 10

Nota mínima en el examen para sumar la PEC 4

Comentarios y observaciones

Los estudiantes realizarán la prueba presencial según el sistema general de Pruebas Presenciales de la UNED. La prueba tiene una duración de dos horas, y consta de varias cuestiones y problemas teórico/prácticos relativos a todos los temas del programa.

Nota: el proceso de revisión de las calificaciones de las pruebas presenciales, dispuesto en el artículo 44.7 de los Estatutos de la UNED, seguirá las directrices establecidas por el Consejo de Gobierno.

PRUEBAS DE EVALUACIÓN CONTINUA (PEC)

¿Hay PEC? Si

Descripción

Habrán dos Pruebas de Evaluación Continua (PECs) voluntarias consistentes en un conjunto de cuestiones y ejercicios similares a aquellos en los que consiste la prueba presencial.

El estudiante podrá realizar la 1ª PEC sin que ello le obligue a seguir esta modalidad. La realización de la 2ª PEC implicará la elección irreversible de la modalidad de evaluación continua.

No se admitirán PECs manuscritas y escaneadas. Las pruebas han de realizarse con un procesador de textos que permita la exportación a PDF. La página de declaración de autoría se podrá firmar de forma manuscrita, tras lo cual habrá de ser escaneada y adjuntada al documento principal.

Criterios de evaluación

Se valorarán los pasos correctos encaminados a la resolución de cada cuestión/ejercicio así como la claridad de la exposición.

Ponderación de la PEC en la nota final 20

Fecha aproximada de entrega PEC1/25/03/2023 PEC2/6/05/2023

Comentarios y observaciones

OTRAS ACTIVIDADES EVALUABLES

¿Hay otra/s actividad/es evaluable/s? Si

Descripción

Test General de Electromagnetismo II. Prueba objetiva calificable **voluntaria** que se realizará al menos una semana antes del inicio de las Pruebas Presenciales a través de la herramienta Quiz del curso virtual.

Criterios de evaluación

El cuestionario consta de 8 secciones, una por cada tema de la asignatura. **El número de preguntas total es de 36** extraídas aleatoriamente de una base de datos elaborada por el equipo docente. Cada pregunta se valora de la siguiente forma:

Respuesta es correcta: 1 punto

Respuesta es incorrecta: - 0.25 puntos

El tiempo disponible para realizar el cuestionario es de 50 minutos y sólo dispondrá de un intento para realizarlo.

Ponderación en la nota final

La prueba es voluntaria. La calificación del cuestionario contribuirá de manera sumativa a la calificación final de la asignatura con una puntuación máxima de un 1 punto y mínima de 0.5 puntos (es decir, hay que obtener al menos 18 puntos para que se sume la puntuación del cuestionario a la calificación de la asignatura).

Fecha aproximada de entrega

12/05/2023

Comentarios y observaciones

En ningún caso, **la realización del test repercutirá negativamente en la calificación final del estudiante** y, sin embargo, puede servirle para realizar un repaso general de la asignatura antes de los exámenes de la convocatoria de Junio.

¿CÓMO SE OBTIENE LA NOTA FINAL?

Para aprobar la asignatura el estudiante debe obtener una calificación final igual o superior a 5 puntos. El estudiante puede optar por dos modalidades de evaluación:

La modalidad de evaluación continua:

La evaluación se hará a partir de dos Pruebas de Evaluación Continua (PECs) realizadas a lo largo del curso, de la Prueba Presencial (examen presencial) y de la contribución del Test voluntario.

El estudiante podrá realizar la 1ª PEC sin que ello le obligue a seguir esta modalidad. La realización de la 2ª PEC implicará la elección irreversible de la modalidad de evaluación continua.

Para el estudiante que siga esta modalidad de evaluación continua, la Prueba Presencial tendrá un peso del 80% en la calificación final de la asignatura y la calificación de la evaluación continua tendrá un peso del 20%. Para que se pueda sumar la calificación correspondiente a las pruebas de evaluación continua deberá obtener una calificación superior a 4 puntos (nota de corte) en el examen presencial. Si no se supera la nota de corte el estudiante no podrá aprobar la asignatura.

La calificación obtenida en la evaluación continua durante el curso se conservará hasta la prueba presencial extraordinaria de septiembre. Asimismo, se conservará la calificación del Test General si el alumno lo ha realizado. En resumen, en esta modalidad:

$$[\text{nota final}] = [\text{nota prueba presencial}] * 0.8 + [\text{nota media de ambas PEC}] * 0.2$$

Si ha realizado el Test y ha obtenido 18 puntos o más en el mismo:

$$[\text{nota final}] = [\text{nota examen}] * 0.8 + [\text{nota PECs}] * 0.2 + [\text{Puntuación Test}] * 0.0278$$

La modalidad de examen final:

La evaluación se hará únicamente a partir de la Prueba Presencial que tendrá un peso del 100% en la calificación final de la asignatura y de la contribución del Test voluntario. Esto es:

$$[\text{nota final}] = [\text{nota prueba presencial}]$$

Si ha realizado el Test y ha obtenido 18 puntos o más en el mismo:

$$[\text{nota examen}] + [\text{Puntuación Test}] * 0.0278$$

Los alumnos que hayan realizado únicamente la 1ª PEC entrarán dentro de esta modalidad.

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

ISBN(13):9788436278101

Título: ELECTROMAGNETISMO II (octubre de 2021)

Autor/es:Victoriano López Rodríguez ; Manuel Pancorbo Castro ; María Del Mar Montoya Lirola ;

Editorial:UNED

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

ISBN(13):9788436246803

Título:ELECTROMAGNETISMO (1ª)

Autor/es:López Rodríguez, Victoriano ;

Editorial:U.N.E.D.

ISBN(13):9788499612164

Título:PROBLEMAS RESUELTOS DE ELECTROMAGNETISMO

Autor/es:Victoriano López Rodríguez ;

Editorial:: EDITORIAL CENTRO DE ESTUD.RAMON ARECES

ISBN(13):9789684443273

Título:FUNDAMENTOS DE ELECTROMAGNETISMO PARA INGENIERÍA (1ª)

Autor/es:Cheng, David K. ;

Editorial:PEARSON ADDISON-WESLEY

ISBN(13):9789702610557

Título:APLICACIONES EN ELECTROMAGNETISMO (5º)

Autor/es:F.T. Ulaby ;

Editorial:PEARSON EDUCACIÓN

RECURSOS DE APOYO Y WEBGRAFÍA

Los recursos de apoyo al estudio se encontrarán en el curso virtual de la asignatura y han sido detallados anteriormente en el apartado de metodología.

GLOSARIO

Esta asignatura no dispone de glosario.

IGUALDAD DE GÉNERO

En coherencia con el valor asumido de la igualdad de género, todas las denominaciones que en esta Guía hacen referencia a órganos de gobierno unipersonales, de representación, o miembros de la comunidad universitaria y se efectúan en género masculino, cuando no se hayan sustituido por términos genéricos, se entenderán hechas indistintamente en género femenino o masculino, según el sexo del titular que los desempeñe.