

Contenido de la asignatura

Para la elaboración del proyecto docente y programa de la asignatura de *Electromagnetismo* a nivel de primer ciclo, en una Facultad de Físicas, hemos tenido en cuenta el carácter básico de la asignatura. Ésta es la primera vez en la que los alumnos abordan el estudio del electromagnetismo como asignatura independiente, y creemos que es el momento de tratar de comunicarles la coherencia y compacidad de esta disciplina.

Tal como refleja su descriptor en el plan de estudios vigente, la asignatura debe incluir los siguientes contenidos:

Campos electrostático y magnetostático en el vacío y en los medios materiales.

Fenómenos electromagnéticos no estacionarios y teoría de circuitos.

Ondas electromagnéticas.

Como hemos comentado en el anterior apartado, en el momento sugerido por la Facultad para que se curse esta materia, los estudiantes cuentan con una sólida base matemática y con conocimientos generales de electromagnetismo, por lo que están preparados para abordar el estudio de la teoría electromagnética clásica como una asignatura independiente, dotada de un formalismo y coherencia interna propios. Así pues, será necesario plantear un tratamiento completo de las bases y consecuencias de la teoría electromagnética, dando una visión global y rigurosa de la misma. No obstante, el desarrollo de los aspectos más especializados se reservará para las asignaturas de segundo ciclo.

Pensamos que el contenido de la asignatura de tercer curso debe plantearse como una búsqueda, a partir de las leyes fenomenológicas, de la formulación de las mismas dentro del marco de una teoría de "campo puro". El separar lo general de lo particular ha sido un criterio fundamental a la hora de elaborar el programa. Comenzamos con las leyes fenomenológicas en el vacío y, analizando consecutivamente los campos estáticos y los campos variables con el tiempo, llegamos a la formulación de las ecuaciones de Maxwell. ¿Cómo se modifica lo anterior debido a la presencia de medios materiales? Como respuesta, construimos un bloque de lecciones para dar cuenta de los fenómenos electromagnéticos en presencia de medios materiales y pasamos a analizar la energía y las fuerzas asociadas a los campos. Finalmente, dedicamos una parte del curso a algunos de los métodos particulares de solución de los problemas electromagnéticos.

Como objetivo más concreto, en este curso el alumno ha de adquirir un bagaje conceptual respecto a la interacción electromagnética que le permita abordar sin dificultad las asignaturas de los cursos superiores y, por otro lado, debemos tratar de incidir sobre la asimilación de la metodología científica para poder ser creativo y crítico en los planteamientos respecto a los estudios en el segundo ciclo.

Las consideraciones generales anteriores, estos criterios básicos y nuestra propia experiencia nos han dirigido en la elaboración del programa, cuya estructura general pasamos a comentar.

Estructura y programa de la asignatura

La asignatura ha sido dividida en cuatro bloques o unidades didácticas en las que se agrupan desde un punto de vista temático las diversas lecciones del programa. Los cuatro bloques son:

- A) El campo electromagnético en el vacío.
- B) El campo electromagnético en los medios materiales.
- C) La energía y las fuerzas.
- D) Métodos particulares para la solución de problemas electromagnéticos.

Esta estructura de bloques permite poder abordar durante el primer trimestre los aspectos fundamentales del electromagnetismo y ver posteriormente el desarrollo y particularización de los mismos. Este planteamiento cumple dos objetivos:

el docente, agrupando lo fundamental y separándolo de lo particular y
el de la coordinación con la asignatura de *Óptica* del mismo curso, lo que permite una adecuada secuenciación de contenidos que facilita la comprensión a los alumnos.

Según veremos posteriormente en el análisis detallado de cada una de las lecciones, en el bloque A tras una primera lección de introducción y repaso se estudia primeramente el campo electrostático y el magnetostático en el vacío sin ocuparnos de la estructura de sus fuentes, aspecto que es analizado en las dos lecciones siguientes. Los campos variables con el tiempo completan el panorama fenomenológico, que nos permite llegar a las ecuaciones de Maxwell como formulación general de los problemas electromagnéticos. La ecuación de ondas y los potenciales electromagnéticos son también estudiados en este bloque general.

Vistas las bases del electromagnetismo en el vacío, en el siguiente bloque (B) pasamos al estudio de los medios materiales, sus propiedades consideradas desde el punto de vista macroscópico, los campos en su interior y las propiedades de propagación en los mismos. Finalizamos con las propiedades en la superficie de separación entre dos medios, cuestión de interés fundamental en los problemas de guiado.

En el tercer bloque (C), hemos abordado el estudio de la energía y las fuerzas en el campo electromagnético. Las lecciones de este bloque podrían haber sido incluidas, quizás, en otras partes del programa, pero su importancia y, por otra parte, el intento de no "mezclar" conceptos en los diversos bloques, nos ha motivado a esta distribución.

El bloque D del programa, "Métodos particulares para la solución de problemas electromagnéticos", se dedica a resolver alguno de los tópicos de interés que pueden ser abordados de forma más operativa con métodos particulares de solución: el problema electrostático o el caso de los problemas en corriente alterna o de transmisión y propagación de ondas electromagnéticas.

Con el contenido de estos bloques, pretendemos dar a nuestros alumnos los conocimientos necesarios para que sean capaces de entender las líneas básicas de los fenómenos electromagnéticos y, si lo desean, profundizar con una sólida base en el estudio de los mismos.

A continuación, presentamos el programa que proponemos para la asignatura de *Electromagnetismo* del tercer año de la Licenciatura en Físicas. El programa consta de 22 lecciones; en cada una de ellas hemos tratado de formar un núcleo compacto constituyendo unidades temáticas.

Al final de cada lección, indicamos el tiempo previsto para la docencia de la misma, lo que de alguna forma establece la amplitud con la que abordaremos los diferentes contenidos. Esta programación temporal es la que, con pequeñas variaciones, venimos realizando habitualmente, en los contenidos en los que el programa propuesto y el que se imparte en la actualidad son coincidentes.

Hemos preparado también un programa de problemas, en el que, en coordinación con los epígrafes teóricos, se presentan los tópicos que deberían ser incluidos. En algunos casos, hemos agrupado varios temas para dar mas compacidad al contenido práctico de la asignatura.

Por otro lado, como dijimos en los apartados generales del proyecto docente, la existencia de un libro o libros de texto base a los que los estudiantes puedan recurrir, es un recurso didáctico de gran interés. La existencia de una amplia bibliografía referente al electromagnetismo con el nivel y contenidos adecuados es una gran ventaja para el docente pero no lo es siempre para el estudiante. Los contenidos del programa que presentamos están recogidos de forma sistemática, entre otros, en los siguientes textos:

Pomer, F. (1993) *Electromagnetisme bàsic*. Universitat de València, Valencia.

Griffiths, D. J. (1989) *Introduction to Electrodynamics*. Prentice-Hall, Second edition¹.

Cada uno de ellos, con planteamientos ligeramente diferentes - como veremos en el apartado dedicado al análisis de la bibliografía -, contiene básicamente los diferentes apartados del programa explicados convenientemente. La diferencias entre ellos pueden hacer que los estudiantes, en función de sus preferencias, elijan uno u otro, o los complementen entre sí. Cualquier elección es perfectamente compatible con el contenido del programa.

Como consecuencia del planteamiento anterior, las referencias bibliográficas que se dan al final de cada lección corresponden a otros textos que, estando a disposición de los estudiantes, nos parece que complementan, amplían o matizan el contenido que pretendemos dar a las lecciones. Hemos limitado, conscientemente, el número de referencias a 4, con el fin de hacer más factible la consulta bibliográfica. Las referencias completas y un breve análisis de las mismas se dan en el apartado 4.3.

Respecto al texto con problemas resueltos cuyo contenido cubre el de la asignatura, el texto de Oria y Compañ² es adecuado. Además, los problemas de final de capítulo de los textos de teoría recomendados son una excelente recopilación y ayuda para completar y ampliar la parte práctica de la asignatura.

¹Hay una tercera edición cuyo contenido es similar, excepto en el apartado de problemas que ha sido ampliado y reorganizado.

²Oria, J. F. & V. Compañ (1990). *Problemas sobre el campo electromagnético*, Ecir. Valencia

PROGRAMA DE LA ASIGNATURA "*ELECTROMAGNETISMO*"

A) EL CAMPO ELECTROMAGNÉTICO EN EL VACÍO

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

Duración: 2 horas.

Referencias³:

Feynman-Leighton-Sands Vol. II.
Reitz-Mildford-Chrysty
Vanderlinde
Sánchez-Sánchez-Santamaría

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

- 2.1 Introducción
- 2.2 Ecuaciones vectoriales del campo electrostático
- 2.3 Ecuaciones integrales del campo electromagnético. Teorema de Gauss
- 2.4 El potencial electrostático. Ecuaciones generales del potencial

Duración: 2 horas.

Referencias:

Feynman-Leighton-Sands Vol. II
Reitz-Mildford-Chrysty
Sanchez-Sanchez-Santamaría
Wangness

³ Las referencias completas de los diferentes textos se dan en el apartado 4.3

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

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

Duración: 2 horas.

Referencias:

Reitz-Mildford-Chrysty
Wangness
Sánchez-Sancho-Santamaría
Lorrain-Corson

Lección 4. Desarrollo multipolar del potencial escalar. Las fuentes puntuales del campo electrostático

- 4.1 Introducción
- 4.2 Desarrollo multipolar del potencial escalar de una distribución de carga
- 4.3 Momentos multipolares
- 4.4 Potencial y campo creados por un dipolo eléctrico
- 4.5 Distribuciones de dipolos

Duración: 2 horas.

Referencias:

Reitz-Mildford-Chrysty
Wangness
Lorrain-Corson
Hauser.

Lección 5. Desarrollo multipolar del potencial vector. Las fuentes puntuales del campo magnetostático

- 5.1 Introducción
- 5.2 Desarrollo multipolar del potencial vector correspondiente a una distribución de corrientes
- 5.3 Multipolos magnéticos
- 5.4 El dipolo magnético puntual. Introducción del potencial escalar en magnetostática
- 5.5 Distribuciones de dipolos

Duración: 2 horas.

Referencias:

Reitz-Mildford-Chrysty
Wangness
Corson-Lorrain
Hauser

Lección 6. Campos variables con el tiempo. Inducción electromagnética

- 6.1 Introducción
- 6.2 El campo electromotor. Definición de fuerza electromotriz
- 6.3 Ley de Faraday-Lenz de la inducción electromagnética
- 6.4 Inducción electromagnética en circuitos en movimiento
- 6.5 Coeficientes de inducción. Fórmula de Neumann

Duración: 3 horas.

Referencias:

Corson-Lorrain
Panofski-Phillips
Cheng
Grant-Phillips

Lección 7. Ecuaciones de Maxwell. Ondas electromagnéticas

- 7.1 Introducción
- 7.2 Generalización del teorema de Ampère para corrientes no estacionarias. Corriente de desplazamiento de Maxwell
- 7.3 Ecuaciones de Maxwell en el vacío
- 7.4 Ecuación de ondas. Solución en ondas planas
- 7.5 Ondas planas con variación temporal armónica

Duración: 4 horas.

Referencias:

Reitz-Mildford-Chrysty
Jackson
Lorrain-Corson
Wangness.

Lección 8. Los potenciales electromagnéticos

- 8.1 Introducción
- 8.2 Los potenciales electromagnéticos. Transformaciones de contraste
- 8.3 Ecuación de ondas para los potenciales. Soluciones retardadas
- 8.4 Campos de radiación
- 8.5 Radiación de sistemas sencillos: el dipolo eléctrico y el dipolo magnético

Duración: 3 horas.

Referencias:

Reitz-Mildford-Chrysty
Page.
Hauser
Sebastian

B) EL CAMPO ELECTROMAGNÉTICO EN LOS MEDIOS MATERIALES

Lección 9. Ecuaciones del campo electromagnético en medios materiales

- 9.1 Introducción
- 9.2 Las ecuaciones microscópicas de Lorentz
- 9.3 Promediado de los campos microscópicos
- 9.4 Contribución de las cargas y corrientes a los campos macroscópicos
- 9.5 Las ecuaciones macroscópicas de Maxwell

Duración: 2 horas.

Referencias:

Jackson.
Reitz-Mildford-Chrysty
Vanderlinde
Panofski-Philips

Lección 10 Propiedades electromagnéticas de la materia: punto de vista macroscópico

- 10.1 Introducción
- 10.2 Los dieléctricos como distribución de dipolos. La polarización **P**. Susceptibilidad eléctrica
- 10.3 Campo creado por un dieléctrico polarizado
- 10.4 El vector desplazamiento **D**
- 10.5 La imanación **M**. Corrientes equivalentes
- 10.6 La intensidad del campo magnético **H**
- 10.7 Permitividad dieléctrica y permeabilidad magnética
- 10.8 Medios conductores. Conductividad eléctrica
- 10.9 Comportamiento de los campos **E, D, B** y **H** en la interfase entre dos medios materiales
- 10.10 Sistemas de Unidades

Duración: 4 horas.

Referencias:

Reitz-Mildford-Chrysty
Jackson
Bleaney-Bleaney
Grant-Phillips

Lección 11. Ondas electromagnéticas en medios materiales

- 11.1 Introducción
- 11.2 Ecuación de ondas en los medios materiales
- 11.3 Ondas planas monocromáticas en medios no conductores
 - 11.3.1 Ecuaciones de los campos
 - 11.3.2 Reflexión y refracción en una interfase plana entre medios no conductores. Ecuaciones de Fresnel

- 11.3.3 Dispersión. Velocidad de grupo
- 11.4. Ondas planas en medios conductores
 - 11.4.1 Ecuaciones de los campos. Amortiguamiento
 - 11.4.2 Campos en la superficie y el interior de un buen conductor

Duración 3 horas.

Referencias:

Jackson
Corson-Lorrain
Wangness
Grant-Phillips

C) LA ENERGÍA Y LAS FUERZAS

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 de un dipolo eléctrico
- 12.6 Energía en función de los campos. Densidad de energía
- 12.7 Energía de Polarización

Duración 2. horas.

Referencias:

Jefimenco
Durand Vol.I
Hauser
Reitz-Mildford-Chrysty

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

Duración: 3 horas.

Referencias:

Jefimenco
Eyges
Reitz-Mildford-Chrysty.

Sanchez-Sanchez-Santamaría

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

Duración: 3 horas.

Referencias:

Sanchez-Sancho-Santamaría
Vanderlinde
Panofski-Phillips
Hauser.

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

Duración: 2 horas.

Referencias:

Panofski-Phillips
Durand Vol. I
Vanderlinde
Page

D) MÉTODOS PARTICULARES PARA LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS ELECTROMAGNÉTICOS

Lección 16. Los conductores en electrostática

- 16.1 Introducción
- 16.2 La condición de equilibrio para conductores homogéneos y sus consecuencias
- 16.3 Capacidad de un conductor aislado
- 16.4 El teorema de reciprocidad de Green
- 16.5 Sistemas de conductores: coeficientes de capacidad

Duración: 3 horas.

Referencias:

Eyges
Durand Vol.II
Wangness
Cheng

Lección 17. Teoría del potencial en electrostática

- 17.1 Introducción
- 17.2 El problema electrostático. Unicidad de la solución
- 17.3 La solución formal, mediante la función de Green, del problema electrostático con condiciones de contorno
- 17.4 El método de las imágenes
- 17.5 El método de separación de variables

Duración: 4 horas.

Referencias:

Jackson.
Eyges
Sanchez-Sanchez-Sancho-Santamaría
Hauser.

Lección 18. Transición de las ecuaciones de Maxwell a la teoría de circuitos

- 18.1 Introducción
- 18.2 El concepto de parámetro. Parámetros localizados y parámetros distribuidos
- 18.3 De las ecuaciones de Maxwell a las leyes de Kirchhoff
- 18.4 El caso particular de la corriente continua

Duración: 2 horas.

Referencias:

Reitz-Mildford-Christy
Ramo Winnery-Van Duzer
Simonyi
Cheng

Lección 19. Circuitos con corrientes que varían lentamente con el tiempo. La corriente alterna

- 19.1 Introducción
- 19.2 Régimen transitorio
- 19.3 Circuitos en régimen alterno. Régimen estacionario
- 19.4 La potencia en corriente alterna. Potencia activa y potencia reactiva
- 19.5 El fenómeno de la resonancia

Duración: 2 horas.

Referencias:

Reitz-Mildford-Christy
Simonyi
Llinares-Page
Grant-Phillips

Lección 20. Teoremas de Redes Lineales

- 20.1 Introducción
- 20.2 Nociones fundamentales
- 20.3 Análisis de Redes. Método de nudos y método de mallas
- 20.4 Teoremas de redes: Teorema de Thevenin y teorema de Norton

Duración: 3 horas

Referencias:

Llinares-Page
Reitz-Mildford-Christy
Simonyi
Grant-Phillips

Lección 21. Líneas de Transmisión: teoría de parámetros distribuidos

- 21.1 Introducción
- 21.2 Concepto de modo. Clasificación de los modos
- 21.3 Líneas de transmisión: Análisis en función de los campos
- 21.4 Líneas de transmisión: Análisis con parámetros distribuidos
- 21.5 Determinación de los parámetros de una línea de transmisión
- 21.6 Línea de transmisión con carga

Duración: 3 horas.

Referencias:

Collin
Ramo-Winnery-Van Duzer
Sebastian
Grant-Phillips

Lección 22. Propagación de ondas guiadas . Resonadores o cavidades

- 22.1 Introducción
- 22.2 Propagación entre dos planos paralelos
- 22.3 Estudio elemental de una guía rectangular
- 22.4 Parámetros característicos
- 22.5 Cavidades resonantes

Duración: 4 horas

Referencias:

Sebastian
Hauser
Collin.
Ramo-Winnery-Van Duzer

PROGRAMA DE PROBLEMAS DE "*ELECTROMAGNETISMO*"

A) EL CAMPO ELECTROMAGNÉTICO EN EL VACÍO

Lección 1. El campo de las cargas en reposo. El campo electrostático

- 1.1 Cálculo del campo eléctrico por integración directa generado por distribuciones lineales, superficiales y en volumen
- 1.2 Cálculo del campo eléctrico por aplicación del teorema de Gauss en distribuciones con simetría
- 1.3 Cálculo del potencial electrostático por integración directa
- 1.4 Cálculo del potencial a partir del campo eléctrico en distribuciones infinitas
- 1.5 Cálculo del potencial en distribuciones simples a partir de la ecuación de Poisson

Duración: 3 horas.

Lección 2. El campo de las corrientes estacionarias. El campo magnetostático

- 2.1 Cálculo por integración directa del campo magnético generado por corrientes estacionarias filiformes
- 2.2 Cálculo del campo magnético utilizando el teorema de Ampère. Simetría cilíndrica
- 2.3 Cálculo por integración directa del potencial vector.
- 2.4 Cálculo a partir del campo magnético del potencial vector generado por distribuciones infinitas de corriente.
- 2.5 Cálculo aproximado del potencial vector a partir del flujo del campo magnético. Consideraciones de simetría

Duración: 3 horas.

Lección 3. Desarrollo multipolar del potencial escalar. Las fuentes puntuales del campo electrostático

- 3.1 Cálculo del momento dipolar eléctrico en configuraciones de cargas puntuales
- 3.2 Cálculo del momento dipolar eléctrico para distribuciones de carga nula respecto a dos orígenes:
 - 3.2.1 Cálculo directo
 - 3.2.2 A partir de los centros de carga
- 3.3 Cálculo del momento dipolar eléctrico para distribuciones de carga no nula:
 - 3.3.1 Cálculo directo
 - 3.3.2 Cálculo a partir de los centros de carga
- 3.4 Cálculo de densidades de carga equivalentes a una distribución de dipolos

Duración: 3 horas.

Lección 4. Desarrollo multipolar del potencial vector. Las fuentes puntuales del campo magnetostático

4.1 Cálculo del momento dipolar magnético para distribuciones de corriente lineales

Caso de geometrías planas

4.1.2 Caso de geometrías no planas

4.2 Cálculo de las corrientes equivalentes a una distribución de dipolos magnéticos

4.3 Cálculo del campo magnético a partir del potencial escalar magnético

4.4 Cálculo del campo magnético generado por distribuciones de corriente en puntos alejados de las mismas

Duración: 3 horas.

Lección 5. Campos variables con el tiempo

5.1 Cálculo de la fuerza electromotriz y la corriente inducida en circuitos que se desplazan dentro de un campo magnético estático

5.2 Cálculo de la F.E.M. inducida y la corriente en un circuito estático cuando el campo magnético tiene variación temporal

5.3 Cálculo de la F.E.M. inducida en conductores en movimiento en el seno de un campo magnético

5.4 Cálculo de los coeficientes de autoinducción e inducción mutua

5.5 Cálculo de la F.E.M. inducida utilizando el concepto de coeficiente de inducción mutua

Duración: 3 horas.

Lección 6. Ecuaciones de Maxwell. Ondas Electromagnéticas

6.1 Cálculo del campo electromagnético por aplicación de las ecuaciones de Maxwell con condiciones de contorno

6.2 Escritura y discusión de OEM planas para direcciones de propagación determinadas

6.3 Incidencia de una OEM plana sobre un conductor

Duración: 2 horas.

Lección 7. Los potenciales electromagnéticos

7.1 Demostración de que varias parejas de potenciales definen los mismos campos electromagnéticos

7.2 Demostración de que los potenciales retardados satisfacen el contraste de Lorentz

7.3 Cálculo de los potenciales de configuraciones simples en movimiento

7.4 Cálculo de los campos de radiación de distribuciones sencillas en movimiento. Por ejemplo, un cable cargado con una densidad lineal

Duración: 2 horas.

B) EL CAMPO ELECTROMAGNETICO EN LOS MEDIOS MATERIALES

Lección 8. El campo electromagnético en medios materiales

- 8.1 Cálculo del campo eléctrico en medios materiales mediante el teorema de Gauss
- 8.2 Cálculo del campo eléctrico en presencia de dieléctricos utilizando las densidades de carga equivalentes a la polarización
- 8.3 Cálculo de campos eléctricos por aplicación de condiciones de simetría y análisis de las condiciones de continuidad/discontinuidad entre dos medios materiales
- 8.4 Cálculo del campo magnético en medios materiales a partir de las corrientes equivalentes a la imanación
- 8.5 Cálculo del campo magnético y la imanación inducida por distribuciones de corriente
- 8.6 Cálculo del campo magnético en un entrehierro. Aplicación de las condiciones de continuidad/discontinuidad de los campos

Duración: 3 horas.

Lección 9. Ondas electromagnéticas en medios materiales

- 9.1 Cálculo de la velocidad de grupo
- 9.2 Análisis de la aproximación de buen conductor y cálculo de la profundidad de penetración en diversos materiales
- 9.3 Análisis de la aproximación de un dieléctrico con pérdidas para diversos materiales
- 9.4 Evaluación de los coeficientes de reflexión y transmisión para un sistema de láminas paralelas con distintos índices de refracción
- 9.5 Ecuaciones de Maxwell en un medio inhomogéneo en una dirección, en el que se propaga una onda electromagnética

Duración: 3 horas.

C) LA ENERGÍA Y LAS FUERZAS

Lección 10. La energía electrostática

- 10.1 Cálculo de la energía electrostática asociada a distribuciones de carga
- 10.2 Cálculo de la energía electrostática almacenada por un condensador
- 10.3 Cálculo de fuerzas a partir de la energía. El electrómetro
- 10.4 Cálculo de la energía en función de los campos
- 10.5 Efecto de un campo eléctrico sobre un dipolo eléctrico

Duración: 2 horas.

Lección 11. La energía magnética

- 11.1 Cálculo de la energía magnética almacenada por distribuciones de corriente
- 11.2 Métodos energéticos para determinar posiciones de equilibrio en sistemas que conducen corrientes en presencia de un medio material
- 11.3 Cálculo de la fuerza y momento sobre un circuito en presencia de un campo magnético

Duración: 2 horas.

Lección 12. Energía y momento del campo electromagnético

- 12.1 Cálculo del vector de Poynting y de las densidades de energía eléctrica y magnética para una onda plana
- 12.2 Determinación de la potencia radiada por una antena
- 12.3 Aplicación del teorema de Poynting a un circuito filiforme por el que circula una corriente
- 12.4 Cálculo del tensor de Maxwell para una onda plana
- 12.5 Cálculo de fuerzas a partir del tensor de Maxwell

Duración: 3 horas.

D) MÉTODOS PARTICULARES PARA LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS ELECTROMAGNÉTICOS

Lección 13. Los conductores en electrostática

- 13.1 Cálculo del campo eléctrico en la superficie de un conductor cargado
- 13.2 Determinación de la capacidad de dos conductores: simetría cilíndrica y esférica
- 13.3 Problemas de conductores con influencia total
- 13.4 Fuerza entre conductores cargados
- 13.5 Energía de un sistema de conductores cargados. Variación de la energía electrostática por incorporación de nuevos conductores descargados y aislados

Duración: 2 horas

Lección 14. Teoría del potencial en electrostática

- 14.1 Cálculo del potencial por el método de las imágenes
- 14.2 Cálculo del potencial por el método de separación de variables
 - 14.2.1 Condiciones de contorno sobre el potencial
 - 14.2.2 Condiciones de contorno sobre las derivadas del potencial
- 14.3 Cálculo de distribuciones de carga sobre conductores a partir de la solución del problema electrostático

Duración: 4 horas.

Lección 15. Circuitos de corriente continua y alterna

- 15.1 Cálculo de corrientes y tensiones en distintos circuitos de continua por aplicación de:
 - 15.1.1 Las leyes de Kirchhoff
 - 15.1.2 Método de mallas
 - 15.1.3 Método de nudos
- 15.2 Respuesta transitoria de circuitos LC simples
- 15.3 Cálculo de corrientes y potencial en circuitos de corriente alterna por aplicación de las leyes de Kirchhoff
- 15.4 Cálculo de circuitos equivalente de Thevenin y Norton
- 15.5 Cálculo de la potencia suministrada por los generadores. Potencia activa y potencia reactiva
- 15.6 Cálculo de corrientes y tensiones en circuitos resonantes

Duración: 3 horas.

Lección 16. Líneas de Transmisión: teoría de parámetros distribuidos

- 16.1 Cálculo de la potencia transmitida en una línea de transmisión a partir de la distribución de potencial
- 16.2 Obtención de las expresiones para la diferencia de potencial y la corriente de una onda estacionaria en una línea de transmisión sin pérdidas y en circuito abierto
- 16.3 Calcular la condición para mínima atenuación en una línea coaxial y su impedancia característica
- 16.4 Calcular el coeficiente de reflexión en una línea de transmisión cargada y la potencia transmitida a la carga

Duración: 2 horas.

Lección 17. Propagación de ondas guiadas. Resonadores o cavidades

- 17.1 Cálculo de modos de propagación en guías rectangulares en función de la frecuencia y las dimensiones
- 17.2 Determinación de las dimensiones para la propagación monomodo en una guía rectangular. Frecuencias de corte
- 17.3 Obtención del vector de Poynting para un modo particular en una guía rectangular y la potencia transmitida por la guía
- 17.4 Determinación de los campos de un modo en una cavidad de dimensiones determinadas. Cálculo del factor Q

Duración: 2 horas.