



## Pontificia Universidad Javeriana

### CATÁLOGO DE ASIGNATURAS. PROGRAMA DE ASIGNATURA.

**Institución académica:** PUJAV. Universidad Javeriana

**Unidad Académica que ofrece (Materia):** DPT-FÍSICA. Departamento de Física. Facultad de Ciencias.

**NOMBRE ASIGNATURA. (Curso):** Electromagnetismo.

**NÚMERO CATÁLOGO:** 1600

**ID:** 001066.

**Grado:** Pregrado.

**Créditos (Unidades):** 3    **Horas de Contacto:** 4

**Sesión teórica:** 2 horas

**Sesión Teórico práctica:** 2 horas

**Trabajo independiente:** 5 horas

### CONDICIONES DE INSCRIPCIÓN.

Pre-requisito de Inscripción: Electricidad y Magnetismo ID 001339, Ecuaciones Diferenciales ID 001300, Álgebra lineal ID 001290.

### DESCRIPCIÓN.

El curso está dedicado al estudio de los conceptos fundamentales de la teoría del campo electromagnético en el vacío y en la sustancia, desde la perspectiva de las ecuaciones de Maxwell, que permite deducir las teorías sobre la carga eléctrica y la corriente eléctrica como las de la energía y la fuerza electromagnética, la cual es una de las características fundamentales de la interacción entre el espacio y la materia tanto a nivel macroscópico y microscópico como a nivel de bajas y altas energías. Se estudia como la teoría de Maxwell describe y explica: i) la unificación y corrección de las teorías previas de la electricidad y magnetismo; ii) las características y propiedades de flujo y circulación del campo electromagnético a partir de la teoría de la divergencia y el rotacional en los Teoremas de la Divergencia y de Stokes; iii) la ecuación de onda y carácter ondulatorio de los campos electromagnéticos variables en el tiempo como “esencia o estructura” de la radiación; iv) la necesidad y principios de la teoría de la relatividad de Einstein desde la teoría de Lorentz; v) la estructura y mecanismos de interacción a nivel atómico y nanoscópica de la sustancia; v) una de las interacciones fundamentales del espacio y la materia. Se presenta la teoría electromagnética en la sustancia para describir y explicar el comportamiento microscópico y macroscópico de los materiales dieléctricos, conductores, magnéticos y principios básicos de los superconductores. Se presenta el papel y la aplicación del campo electromagnético en: a) las comunicaciones con radiación electromagnética, en especial Micro Ondas, ondas de radio y tv, radiofrecuencias y VIS en fibra óptica; b) las leyes y los dispositivos de los circuitos electrónicos; c) el almacenamiento y transferencia de energía electromagnética en tecnologías renovables a nivel macro y nanoscópico; d) el almacenamiento de información tanto en materiales magnéticos como ópticos; e) algunos dispositivos sensores y actuadores en mallas de control; f) la conmutación con dispositivos electrónicos y ópticos en procesadores electrónicos.

### JUSTIFICACIÓN.

Gran parte del trabajo de la investigación y el desarrollo tecnológico está dedicado al desarrollo y adecuación de los materiales y al estudio de las propiedades del espacio como medios para el almacenamiento de energía e información, para el transporte de energía en la comunicación e información y para sistemas de conmutación en el procesamiento de datos o información. La manipulación de estas propiedades y características de la sustancia a nivel macroscópico y nanoscópico como del espacio, se obtienen en la actualidad desde la modelación con la teoría electromagnética de Maxwell.



## Pontificia Universidad Javeriana

Para el cumplimiento y desarrollo de estos propósitos de la ingeniería, en especial en la Electrónica, las bases conceptuales de las principios de funcionamiento de dispositivos en las anteriores tres grandes áreas, se establecen fundamentalmente en las ecuaciones de Maxwell. En un segundo espacio de actuación de la electrónica, compartido con otras ingenierías, como la robótica y los procesos de nuevas energías, el estudio y desarrollo se basa en su mayoría en los modelos electromagnéticos. Así para el futuro próximo y de medio plazo, la innovación teórica de estas principios como la tecnológica resultante estará basada en la actual teoría electromagnética como en el desarrollo conceptual de esta.

En el caso particular de comunicaciones con VIS, IR, MO, O radio y TV como RF, la generación de señal se logra entre otras con magnetrones, klystrons, antenas, diodos emisores, laser, los cuales son dispositivos electromagnéticos. El transporte y propagación de señales en el vacío o través de guías son basadas en procesos electromagnéticos. La detección de señales con antenas, fotosensores de tubo o estado sólido, son dispositivos electromagnéticos. A nivel microscópico en el ensamble de los anteriores dispositivos como los utilizados en almacenamiento de información y conmutación, se rige por las principios de Maxwell. Las inmediatas soluciones a los problemas de energía a nivel de almacenamiento, transporte y consumo, se obtendrán indudablemente por interconexión electromagnética. Campos emergentes como la bioingeniería y la nano ingeniería en sus diferentes actuaciones, están y serán mediadas por las principios electromagnéticas.

A nivel de formación para el manejo y desarrollo de competencias, la teoría de Maxwell, permite el ejercicio y desarrollo de habilidades cognitivas como el desarrollo del razonamiento deductivo por analogía y así la posibilidad de inferencias en la especulación formal de nuevas teorías o solución de nuevos problemas. Es un espacio que muestra una forma de reflexión y de trabajo en ingeniería y tecnología. Como acto culminante el estudiante por razonamiento analógico podría estar en capacidad de hacer inferencias teóricas en nuevas áreas de conocimiento de la Ingeniería que se basen en principios de conservación y transporte con métricas de la nueva topología, o en áreas de la ciencia como la relatividad y gravitación o de las altas energías.

### **OBJETIVOS:**

#### **Objetivo general:**

Que el estudiante a partir de la teoría de Maxwell adquiera habilidad en la descripción, explicación y solución de problemas: i) sobre el comportamiento de distribuciones de carga y corriente eléctrica en campos eléctricos y magnéticos como de la generación del campo eléctrico y magnético alrededor de distribuciones de carga y corriente eléctrica, en el vacío y en medios materiales; ii) de la interacción electromagnética de la sustancia, energía y el espacio-tiempo; iii) De circuitos y dispositivos dedicados a la comunicación, almacenamiento de información y conmutación electromagnética.

#### **Objetivos específicos:**

Que el estudiante **describa** y **explique** para campos, distribuciones de carga y de corriente estáticos en el tiempo:

1. El comportamiento microscópico de la carga y corriente eléctrica, a partir de los modelos atómicos de Rutherford y Bohr.
2. El comportamiento macroscópico de la carga y corriente eléctrica, a partir de los modelos de conservación y flujo laminar de la carga según la ley de Gauss y la conservación del flujo a partir de la teoría de la divergencia de la densidad de corriente eléctrica.
3. El comportamiento del flujo del Campo Eléctrico en presencia de partículas cargadas eléctricamente a partir de la ley de Gauss y la teoría de la divergencia del campo eléctrico.
4. La ley de Coulomb como resultado de la ley de Gauss.
5. El cálculo del campo eléctrico para distribución discreta y distribución continua de carga eléctrica a partir del principio de superposición del, cuando varía lentamente en el tiempo.
6. El campo eléctrico como gradiente de la función potencial, cuando varía lentamente en el tiempo.
7. El cálculo de la energía y la fuerza eléctrica de una distribución discreta o distribución continua de carga en presencia de un potencial y un campo eléctrico estáticos en el tiempo.



## Pontificia Universidad Javeriana

8. Como se calcula y se representa una distribución de carga a partir de una expansión multipolar o en momentos estadísticos, para posteriormente calcular el potencial y el campo de una distribución de carga multipolar y la energía y la fuerza de una distribución de carga multipolar en un potencial o un campo eléctrico estático en el tiempo.
9. El comportamiento del Potencial eléctrico según las propiedades de divergencia y de gradiente del campo eléctrico a partir de la ecuación de Poisson y Laplace.
10. El comportamiento del flujo del Campo Magnético en presencia de corrientes eléctrica a partir de la ley de Gauss y la teoría de la divergencia del campo magnético. La ausencia de monopolos magnéticos.
11. El comportamiento de la circulación del Campo Magnético en presencia de corrientes eléctrica a partir del teorema de Stokes y la teoría del rotacional.
12. La ley de Biot y Savart y de la ley de Ámperre como resultado del teorema de Stokes.
13. El cálculo del campo magnético para distribución de densidad de corriente eléctrica estática en el tiempo, a partir del principio de superposición del campo.
14. El campo magnético como el rotacional de la potencial vectorial  $\vec{A}$ .
15. Como se calcula y se representa una distribución de densidad de corriente a partir de una expansión multipolar o en momentos estadísticos, para posteriormente calcular el campo de una distribución multipolar y la energía y la fuerza sobre una distribución multipolar en un potencial  $\vec{A}$  o un campo magnético.

Que el estudiante **describa** y **explique** para campos, distribuciones de carga y de corriente que varían en el tiempo:

16. El comportamiento de la circulación del Campo eléctrico debido a la variación del campo Magnético a partir del teorema de Stokes y la teoría del rotacional.
17. La ley de Inducción de Faraday y la ley de Lenz como resultado del teorema de Stokes.
18. Por analogía con la ley de Faraday la circulación del campo magnético debido a la variación del campo eléctrico a partir del teorema de Stokes.
19. Por analogía con los principios de continuidad de flujo y conservación de carga, la divergencia del vector potencial  $\vec{A}$  debido a la variación temporal del potencial escalar  $\phi$ , a partir del teorema de la divergencia.

Que el estudiante **describa** y **explique** para medios materiales:

20. El comportamiento macroscópico y local de la interacción del campo Eléctrico estático y variable en el tiempo con la distribución de carga de valencia firmemente ligada en dieléctricos y de conducción en conductores.
21. El comportamiento lineal de la interacción del campo Eléctrico estático y variable en el tiempo con la distribución de carga en dieléctricos a partir de la polarización y en conductores a partir de la ley de Ohm.
22. La interdependencia del campo Eléctrico, la polarización y el vector desplazamiento, partir de la teoría de la divergencia.
23. El comportamiento macroscópico y local de la interacción del campo magnético estático y variable en el tiempo con la distribución de densidad de corriente ligada en materiales ferro magnéticos y diamagnéticos.
24. El comportamiento lineal de la interacción del campo Magnético estático y variable en el tiempo con la distribución de corriente a partir de la Magnetización.
25. La interdependencia del campo Magnético, la Magnetización y el vector inducción magnética, partir de la teoría del rotacional.
26. El comportamiento lineal de la interacción del campo Magnético estático y variable en el tiempo con la distribución de corriente en un superconductor.

Que el estudiante adquiera habilidad en programación con software de fácil acceso para la modelación y simulación de:

27. En el cálculo de los campos electromagnéticos para una distribución de carga y corriente a partir del principio de superposición.
28. Solución de la Ecuación de la Laplace y de Poisson en la aproximación de elementos finitos.
29. Transporte electrónico en junturas.



## Pontificia Universidad Javeriana

### METODOLOGÍA.

1. Exposiciones teóricas por parte del profesor.
2. Tareas individuales: aplicaciones prácticas y demostraciones teóricas
3. Temas de profundización y exposición. El trabajo incluye escribir una monografía (menor de 10 páginas), una presentación al grupo y entregar copia impresa de la presentación.
4. Desarrollo individual de un proyecto práctico:
  - a. Definir la aplicación
  - b. Desarrollar el modelo de la planta y simularlo
  - c. Diseñar el controlador y simular su funcionamiento
  - d. Construir y evaluar el prototipo
  - e. Escribir un reporte (no mayor de 10 páginas).
5. Prácticas de laboratorio.

### EVALUACIÓN.

1. Pruebas individuales: (Oral o escrita). Primera previa 20%. (semana 6), Segunda previa 20%. (Semana 11), Tercera previa 20%. (Semana 15)
2. Prueba Colectiva: Talleres de escritorio o experimental, monografía, exposición, simulación por PC. Valor 15%
3. Prueba individual. Examen final. 25%. (Semana 17)

Para las previas los estudiantes deberán:

- 1) En primera aproximación, hacer EJERCICIOS Y PRÁCTICAS SOBRE LOS CONOCIMIENTOS ADQUIRIDOS, solucionando los problemas propuestos por el profesor en talleres de clase; e
- 2) En segunda aproximación solucionando problemas de 1er nivel (básico) y 2do nivel de dificultad (intermedio), recomendados en el libro de Sadiku.
- 3) En tercera aproximación con los problemas propuesto por Wangness a nivel básico

Para el examen final la mitad evalúa los temas evaluados en las previas y la otra mitad evalúa el tema sin evaluar en las previas.

### CONTENIDOS TEMÁTICOS:

1. Electrostática en el vacío. Campo eléctrico y función potencial.
2. Métodos Alternos para la Solución de Problemas Electrostáticos y Magnetostáticas
3. Electrostática en medios materiales dieléctricos y conductores
4. Magnetostática en el Vacío. Campo magnético y vector potencial.
5. Magnetostática en Medios Materiales ferromagnéticos y diamagnéticos.
6. Campos Electromagnéticos variables con el Tiempo
7. Ecuaciones de Maxwell en el vacío y medios continuos
8. Transformaciones de Lorentz y teoría especial de la Relatividad Especial.

### CONTENIDO ESPECÍFICO.

#### 1. Repaso Álgebra vectorial, Sistemas de coordenadas.

- 1.1. Definición y caracterización de las coordenadas y vectores unitarios en cartesianas, cilíndricas y esféricas.
- 1.2. Generación de elementos diferenciales de línea, área y volumen en coordenadas cartesianas, cilíndricas y esféricas.
- 1.3. Gradiente de funciones.
- 1.4. Flujo, Divergencia y Teorema de la divergencia.
- 1.5. Circulación, Rotacional y Teorema de Stokes.



## Pontificia Universidad Javeriana

### **2. Teoría del Campos Eléctrico estático en el vacío.**

- 2.1. Ley de Coulomb e intensidad de campo
- 2.2. Campos eléctricos, distribuciones de carga continuas
- 2.3. Densidad de flujo eléctrico
- 2.4. Ley de Gauss
- 2.5. Divergencia del campo eléctrico.
- 2.6. *Ecuación de Maxwell con fuentes en el vacío.*
- 2.7. Potencial eléctrico
- 2.8. Dipolo eléctrico y líneas de flujo
- 2.9. Densidad de energía

### **3. Campos eléctricos en medio material.**

- 3.1. Propiedades de los materiales
- 3.2. Corrientes de convección y conducción
- 3.3. Conductores
- 3.4. Polarización en dieléctricos
- 3.5. Ley de Gauss en dieléctricos. Desplazamiento eléctrico
- 3.6. *Ecuación de Maxwell general.*
- 3.7. Constantes dieléctricas
- 3.8. Dieléctricos lineales, isotrópicos y homogéneos
- 3.9. Ecuación de continuidad y tiempo de relajación
- 3.10. Condiciones en la frontera.

### **4. Potencial, campo y condiciones de frontera.**

- 4.1. Ecuaciones de Poisson y Laplace
- 4.2. Teorema de unicidad
- 4.3. Resistencia y capacitancia
- 4.4. Método de imágenes

### **5. Campos Magnetostáticos**

- 5.1. Ley de Biot-Savart
- 5.2. Ley de circuitos de Ampere
- 5.3. Densidad de flujo magnético
- 5.4. Potenciales magnéticos escalar y vectorial
- 5.5. Divergencia del campo magnético.
- 5.6. *Ecuación de Maxwell en el vacío.*

### **6. Campo magnético en medio material.**

- 6.1. Fuerzas debidas a campos magnéticos
- 6.2. Torque y momento magnético
- 6.3. Dipolo magnético
- 6.4. Magnetización en materiales
- 6.5. Clasificación de materiales magnéticos
- 6.6. Condiciones de frontera
- 6.7. Energía magnética
- 6.8. Circuitos magnéticos

### **7. Campo variable en el tiempo**

- 7.1. Ley de Faraday
- 7.2. FEM estática y cinética
- 7.3. *Ecuación de Maxwell en el vacío.*



## Pontificia Universidad Javeriana

### **8. Generalización de la ley de Ampere**

- 8.1. Corriente de desplazamiento
- 8.2. *Ecuación de Maxwell en el vacío.*
- 8.3. Potenciales variables en el tiempo
- 8.4. Campos periódicos en el tiempo
- 8.5. *Ecuación de Maxwell en materiales.*
- 8.6. Dependencia general con potenciales. Condición de Lorentz.

### **9. Ecuación de onda**

- 9.1. Campo electromagnético
- 9.2. Ecuación de onda electromagnética.
- 9.3. Campos periódicos en el tiempo y el espacio
- 9.4. Transporte de energía electromagnética y vector de Poynting.
- 9.4. Aplicaciones. Klystron.

### **10. Relatividad Especial. (Opcional)**

- 10.1. *Orígenes de la relatividad especial.*
- 10.2. *Transformaciones de Lorentz.*
- 10.3. *Campos periódicos en el tiempo y el espacio.*
- 10.4. *Electromagnetismo en el vacío.*
- 10.4. *Movimiento de partículas cargadas.*

### **ANEXO. Solución de problemas por análisis numérico.**

- A.1. *Software de simulación de cálculo de campos estáticos.*
- A.2. *Software de simulación de cálculo de campos variables en el tiempo.*

### **ESTRATÉGIAS PEDAGÓGICAS.**

El trabajo se desarrolla a través de la denominada "Clase centrada en el alumno", de carácter teórico, que comprende un ambiente y espacio de reflexión dedicado al trabajo de escritorio, a través de la exposición de teorías formales de la física, de la conversación de las teorías y la evaluación de los modelos físicos, exposiciones, elaboración de trabajos, lectura y discusión de artículos científicos, diseño y elaboración de programas en PC.

Por parte del profesor y los estudiantes:

1. Clase centrada en el estudiante.
2. Presentación de teorías alrededor de problemas como núcleos programáticos.

Por parte de los estudiantes:

3. Resolución de problemas por razonamiento analógico y métodos deductivos.
4. Presentación y discusión de lecturas y de artículos científicos de actualidad.
5. Simulación por computador de funciones, representaciones gráficas y solución de ecuaciones de interés

### **BIBLIOGRAFÍA:**

Electromagnetismo:

1. Roald K. Wangsness. Campos Electromagnéticos.
3. Sadiku. Fundamentos electromagnéticos. Oxford. 2002.
2. Lorrain P. y Corson D., Electromagnetic Fields and Waves. San Francisco: W.H. Freeman, 1970.
4. Reitz J., Milford F. y Christy R., Fundamentos de la Teoría Electromagnética. Addison Wesley, 1984.
5. Berkeley Physics Course. E. M. Purcell. Reverte. España. 1973