

**Academia de Física**

SUGERENCIAS PARA LA IMPARTICIÓN DE LA ASIGNATURA ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO.

**Objetivo(s) del curso:**

El alumno analizará los conceptos, principios y leyes fundamentales del electromagnetismo. Desarrollará su capacidad de observación y manejo de instrumentos experimentales a través del aprendizaje cooperativo.

**Temario**

<b>NÚM.</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>HORAS</b>
1.	Campo y potencial eléctricos	14.0
2.	Capacitancia y dieléctricos	8.0
3.	Introducción a los circuitos eléctricos	12.0
4.	Magnetostática	12.0
5.	Inducción electromagnética	12.0
6.	Fundamentos de las propiedades magnéticas de la materia	6.0
		64.0
	<b>Actividades experimentales (prácticas de laboratorio)</b>	32.0
	<b>Total</b>	96.0

**GENERALIDADES:**

**TEORÍA:** El temario contiene 50 subtemas que tendrán que desarrollarse en 32 clases de 2 horas. El curso se debe cubrir entonces en 64 horas; si se le asignara una hora a cada subtema, restarían 14 horas que bien podrían ocuparse para desarrollar los temas más complejos, para la resolución de ejercicios y otras actividades que el profesor considere.

**LABORATORIO:** El curso contempla al semestre, 16 sesiones de laboratorio, cada una de 2 horas una vez por semana. Estas sesiones contemplan las actividades siguientes: 1 sesión para la presentación del Sistema de Gestión de la Calidad, 12 sesiones para el desarrollo de las prácticas, 1 sesión para la evaluación del alumno a través de un examen experimental, 1 sesión para entrega de calificaciones a los alumnos y la última semana se emplea para la entrega de calificaciones al profesor de teoría.

En el desarrollo de las prácticas conviene que el profesor no invertir mucho tiempo en desarrollar los conceptos teóricos con profundidad, basta con revisar el cuestionario previo, y en medida de lo posible complementar la sesión con ejemplos de aplicación conforme se desarrollan las actividades experimentales.

Pensar en la posibilidad de involucrar en la evaluación del laboratorio la realización de un proyecto final por brigada, fundamentado en los temas que contempla la asignatura.

## Introducción

Este documento de sugerencias para la impartición de la asignatura de Electricidad y Magnetismo se ha generado como una herramienta de apoyo que permita a los profesores tener un control sobre el grado de profundidad y el avance en el desarrollo de los temas de dicha asignatura.

Es muy deseable que tanto los profesores de teoría como los que imparten laboratorio colaboren entre sí atendiendo a las necesidades de aprendizaje, formando equipos cooperativos para desarrollar un ambiente afectivo que fortalezca las aptitudes y actitudes entre ellos, así como con el alumnado, manteniendo al margen valores positivos y equidad.

No debe perderse atención en que la formación tanto teórica como experimental existen para desarrollar habilidades complementarias de análisis y reproducción que permitan la participación activa, organizada, comprometida y consciente de acuerdo con el objetivo general y los objetivos específicos de la asignatura.

En este sentido, será necesario entonces, para que el alumnado pueda aprovechar los recursos adquiridos, que ambas partes (profesores de teoría y laboratorio) amplíen la visión del estudiante, destacando el uso o la posible aplicación de los conceptos contemplados en el temario de nuestra asignatura. Con esto último se busca despertar el interés y propiciar la proactividad dentro de las actividades que se realicen.

## TEMA 1. Campo y Potencial Eléctricos.

**Objetivo:** *El alumno determinará campo eléctrico, diferencia de potencial y trabajo casiestático en arreglos de cuerpos geométricos con carga eléctrica uniformemente distribuida.*

### 1.1 Concepto de carga eléctrica y distribuciones continuas de carga (lineal y superficial).

Se sugiere tratar el concepto de carga eléctrica de manera integral, es decir, su definición como una propiedad de los materiales, con el objetivo de evitar que la carga se conciba como un cuerpo. Establecer la existencia de los dos tipos de carga eléctrica, qué es un exceso de carga, fuerzas de atracción y repulsión, como se produce e induce la carga en un material, la influencia del medio sobre las cargas; diferencia entre el protón, el electrón y el neutrón, interacción entre ellos y en presencia del medio. Introducir el concepto de polarización de forma breve.

Una vez comprendido lo anterior, evidenciar el modelo atómico de Bohr, el principio de conservación de la carga, la convención de Benjamín Franklin y la serie triboeléctrica, así como las consideraciones aceptadas para cada uno de ellos.

Relacionar las distribuciones de carga lineal y superficial con casos concretos (ejemplos) y verificar la validez de los modelos matemáticos en casos reales.

**1.2 Ley de Coulomb. Fuerza eléctrica en forma vectorial. Principio de superposición.**

Establecer la analogía entre el modelo matemático de la ley de gravitación universal y el modelo matemático de la Ley de Coulomb para determinar la fuerza eléctrica entre dos cargas puntuales. Definir la magnitud y unidades de la constante de Coulomb ( $k$ ) y de la permitividad del vacío ( $\epsilon_0$ ). Poner especial atención en la determinación del vector unitario de la fuerza resultante. Se recomienda identificar formas equivalentes de la ley de Coulomb tanto en coordenadas esféricas (la fuerza como función del radio  $r$ ) y en coordenadas cartesianas (la fuerza como función de las coordenadas  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ).

Explicar en qué consiste el principio de superposición y su aplicación en algunos temas de esta asignatura. Aplicar el modelo matemático de la ley de Coulomb para determinar la fuerza resultante sobre una carga puntual en un sistema formado por lo menos de tres cargas puntuales, aplicando el principio de superposición, haciendo hincapié en que la suma de fuerzas es de carácter vectorial y no escalar. Se recomienda resolver un ejercicio con un sistema de cargas puntuales distribuidas en el espacio haciendo énfasis en el carácter vectorial.

**1.3 Campo eléctrico como campo vectorial. Esquemas de campo eléctrico.**

Explicar que el campo eléctrico es una región acotada en el espacio en donde en cada punto sin excepción se asigna una cantidad física vectorial que es la fuerza de origen eléctrico sobre una carga por convención positiva presente en la región. La analogía con el campo gravitatorio es un buen ejemplo para ilustrar el concepto de campo eléctrico. Aclarar que la expresión  $E=Fe/q$  sólo es válida para cargas puntuales.

Es importante que los alumnos identifiquen las características de las líneas de campo eléctrico y su relación con la dirección y la magnitud de éste en algún punto del espacio dada cierta distribución de carga.

**1.4 Obtención de campos eléctricos en forma vectorial originados por distribuciones discretas y continuas de carga (carga puntual, línea infinita y superficie infinita).**

Deducir los modelos matemáticos para determinar el campo eléctrico producido por una carga puntual, por una distribución lineal y por una distribución superficial de carga, haciendo énfasis en el carácter vectorial (iniciar con el análisis de un segmento de línea y un anillo circular).

Recordar el principio de superposición e indicar que el campo total es la suma vectorial de los campos individuales producidos por cada una de las distribuciones de carga involucradas.

Se recomienda mostrar formas equivalentes para las expresiones de campo eléctrico en diferentes sistemas de coordenadas.

**1.5 Concepto y definición de flujo eléctrico.**

Definir los conceptos de flujo para un campo vectorial y de vector normal a la superficie.

Interpretar el flujo eléctrico como una cantidad escalar proporcional al número de líneas de campo eléctrico que atraviesa una superficie. Aclarar que el campo eléctrico no es un flujo.

### **1.6 Ley de Gauss en forma integral y sus aplicaciones.**

Hacer hincapié en que la superficie cerrada (o gaussiana) es imaginaria y el valor del flujo eléctrico es independiente de su geometría y sólo depende de la carga neta encerrada.

La Ley de Gauss permite obtener de una forma sencilla los modelos matemáticos de los campos eléctricos producidos por distribuciones de carga con alta simetría.

### **1.7 El campo electrostático y el concepto de campo conservativo.**

Tener presente que cuando la magnitud y la dirección del campo eléctrico tienen los mismos valores en cierto punto del espacio, en todo momento, se dice que el campo es electrostático; aunque esto no necesariamente implica que el campo sea uniforme.

También se debe recordar que un campo vectorial es conservativo sí y solo sí el rotacional de ese campo es cero y la integral de dicha función sobre cualquier trayectoria cerrada suave sea cero.

Haciendo una analogía con el campo gravitacional, que es un campo conservativo, se puede probar que el campo eléctrico también es conservativo, lo cual implica que el trabajo realizado por dicho campo se puede expresar en términos de un cambio en la energía potencial.

### **1.8 Energía potencial eléctrica. Diferencia de potencial y potencial eléctricos.**

La energía potencial eléctrica es un concepto que es conveniente ejemplificar con cargas puntuales que se repelen (del mismo signo) las cuales tienen asociada una mayor energía potencial cuanto menor es la distancia entre ellas, o bien con cargas puntuales que se atraen (signos opuestos) cuya energía potencial es mayor cuanto mayor es la distancia entre ellas.

La energía potencial está asociada con la posición de la carga puntual con respecto a un sistema de referencia, por lo que deben evitarse frases como: "la energía potencial de una carga", ya que esto daría a entender que dicha energía es propiedad intrínseca de la carga puntual.

El potencial eléctrico es la energía potencial por unidad de carga asociada a una carga puntual debido a su posición en una región de campo eléctrico.

El concepto de diferencia de potencial entre dos puntos localizados en un campo eléctrico es el trabajo por unidad de carga hecho por el campo eléctrico sobre una carga de prueba que se mueve de un punto a otro. Un ejemplo de diferencia de potencial es el que existe en las terminales de una batería, o en un contacto eléctrico.

Indicar que el potencial eléctrico y la diferencia de potencial son cantidades escalares y lo que se mide con un voltímetro es una diferencia de potencial.

Con relación a las superficies equipotenciales, por analogía se les puede decir a los alumnos que las diferentes curvas de nivel en un mapa topográfico están a una elevación constante y, por lo tanto, cada una tiene asociada una energía potencial gravitacional constante.

### **1.9 Cálculo de diferencias de potencial (carga puntual, línea infinita, superficie infinita y placas planas y paralelas).**

Al deducir los modelos matemáticos para el cálculo de las diferencias de potencial asociadas a las distribuciones de carga, se recomienda retomar las expresiones para campo eléctrico en los siguientes casos: carga puntual, línea infinita, superficie infinita y placas planas y paralelas. Determinar dichos modelos matemáticos mediante integración del producto escalar de vector de campo eléctrico y el diferencial de línea.

### **1.10 Gradiente de potencial eléctrico.**

Partiendo del concepto de campo conservativo, explicar al alumno que el campo eléctrico se puede describir mediante el gradiente de una función escalar o potencial eléctrico.

Recordar a los alumnos la forma en que se abordó el concepto de gradiente en asignaturas anteriores, por ejemplo gradiente de presión, gradiente de temperatura, etc., y hacer la analogía con el gradiente de potencial eléctrico.

Aclarar que el signo negativo para el vector gradiente de potencial indica que su dirección es opuesta al vector campo eléctrico.

## **TEMA 2. Capacitancia y dieléctricos.**

**Objetivo:** El alumno calculará la capacitancia de un sistema a partir de datos y mediciones, así como la energía potencial eléctrica en él almacenada.

### **2.1 Concepto de capacitor y definición de capacitancia.**

Explicar que la configuración básica de un capacitor consta de un par de placas (electrodos) separados por un material dieléctrico. Mediante una diferencia de potencial las placas adquieren carga eléctrica y por lo tanto se almacena energía en forma de campo eléctrico.

Debido a que la carga almacenada es proporcional a la diferencia de potencial, se puede establecer la propiedad denominada capacitancia que es directamente proporcional a la carga e inversamente proporcional a la diferencia de potencial aplicada.

### **2.2 Cálculo de la capacitancia de un capacitor de placas planas y paralelas con aire como dieléctrico.**

Deducir el modelo matemático para determinar la capacitancia para un capacitor de placas planas y paralelas cuyo dieléctrico es aire. A partir de la definición de capacitancia, retomando las definiciones de campo eléctrico, diferencia de potencial y carga entre un par de placas, es posible determinar que la capacitancia sólo es función de sus parámetros geométricos.

Concluir que existen diversos tipos de capacitores de acuerdo a su material de fabricación, mencionando sus diferentes características.

### **2.3 Cálculo de la energía almacenada en un capacitor.**

Deducir el modelo matemático para determinar la energía almacenada en un capacitor, a partir de la definición de trabajo asociado al proceso de transferencia de carga entre

las placas. Interpretar este proceso de transferencia de carga entre las placas como la energía potencial almacenada.

#### **2.4 Conexiones de capacitores en serie y en paralelo; capacitor equivalente.**

Definir las características de las conexiones serie y paralelo para capacitores con diferente capacitancia. Explicar que en la conexión en serie, debido al fenómeno de inducción, la carga almacenada en cada capacitor es la misma, al igual que en el capacitor equivalente. Por otra parte, la diferencia de potencial en cada capacitor es distinta; a partir de estas observaciones se puede demostrar que el capacitor equivalente se obtiene con la suma inversa de los recíprocos de las capacitancias.

Para la conexión en paralelo, la carga almacenada en cada capacitor es distinta, pero la diferencia de potencial en cada uno es la misma, al igual que en el capacitor equivalente; a partir de estas observaciones, también se puede demostrar que el capacitor equivalente se obtiene con la suma de las capacitancias.

Analizar conexiones mixtas serie-paralelo con capacitores para determinar diferencias de potencial, carga y energía almacenadas en cada uno de ellos y en el capacitor equivalente.

#### **2.5 Polarización de la materia.**

Al introducir un material dieléctrico en un campo eléctrico, se presentará el fenómeno de inducción eléctrica, como consecuencia las moléculas de dicho material se polarizan sin importar si está constituido o no por moléculas polares.

#### **2.6 Susceptibilidad, permitividad, permitividad relativa y campo eléctrico de ruptura.**

Mencionar sobre la importancia de conocer las propiedades de los materiales dieléctricos y su aplicación. Es importante explicar el significado físico de las propiedades, por ejemplo el de la susceptibilidad eléctrica, como una medida de predisposición de un material para polarizarse.

El comportamiento de un material dieléctrico en presencia de un campo eléctrico, se puede determinar si se conocen las constantes dieléctricas que lo caracterizan (susceptibilidad, permitividad y permitividad relativa); no obstante, dada la relación entre dichas cantidades, al conocer cualquiera de ellas es factible determinar las dos restantes.

#### **2.7 Vectores eléctricos. Capacitor de placas planas y paralelas con dieléctricos.**

Mencionar que el estudio general de los dieléctricos en presencia de un campo eléctrico puede simplificarse mediante el empleo de los vectores eléctricos (campo, polarización y desplazamiento eléctricos) que describen el comportamiento de dicho material.

La magnitud del vector de polarización es igual a la densidad superficial de carga inducida en el dieléctrico y además tiene una relación directa con los vectores campo y desplazamiento eléctricos.

Al introducir un dieléctrico diferente al aire en un capacitor de placas planas y paralelas éste aumentará el valor de su capacitancia y soportará una mayor diferencia de potencial.

### TEMA 3. Introducción a los circuitos eléctricos.

**Objetivo:** El alumno analizará el comportamiento de circuitos eléctricos resistivos, a través de mediciones y cálculo de las transformaciones de energía asociadas.

#### 3.1 Conceptos y definiciones de: corriente eléctrica, velocidad media de los portadores de carga libres y densidad de corriente eléctrica.

Recordar que la corriente eléctrica es una de las siete dimensiones fundamentales del Sistema Internacional, que hace referencia al desplazamiento de un flujo de cargas a través de un conductor en cada unidad de tiempo.

Analizar el funcionamiento de una pila para establecer una corriente eléctrica en un circuito eléctrico simple e identificar que esta corriente se debe a que la pila realiza trabajo sobre los portadores de carga libres, llevándolos de un potencial bajo a otro más alto. La corriente eléctrica depende de las características del material conductor.

Con relación a la velocidad media de los portadores de carga libres en un medio conductor, cabe resaltar que la rapidez promedio de los electrones es del orden de  $10^6$  [m/s]; mientras que la rapidez promedio (en presencia de campo eléctrico) es menor, del orden de  $10^{-4}$  [m/s], pero que en ésta última se tiene un desplazamiento resultante distinto de cero.

Definir el vector densidad de corriente como la corriente por unidad de área e identificar las diferencias entre la corriente eléctrica y dicho vector.

#### 3.2 Ley de Ohm, conductividad y resistividad.

Partiendo de la expresión escalar de la ley de Ohm y mediante la proporcionalidad que existe entre la diferencia de potencial y la corriente eléctrica explicar el concepto de resistencia eléctrica, haciendo énfasis en la diferencia entre resistencia y resistor.

Mencionar que la resistencia eléctrica se puede determinar en función de la resistividad, de la temperatura y de la geometría del conductor. Recordar que la resistividad es el inverso de la conductividad la cual permite formular directamente la ley de Ohm en términos vectoriales.

#### 3.3 Potencia eléctrica. Ley de Joule.

Recordar los conceptos de potencia y energía. Definir el modelo matemático de la potencia eléctrica para el caso particular de un resistor. Explicar que en el caso eléctrico, cierta cantidad de energía transferida a un resistor se disipará en forma de calor, lo que se conoce como efecto Joule. Con base en estos conceptos verificar la validez del principio de conservación de la energía.

#### 3.4 Conexiones de resistores en serie y en paralelo, resistor equivalente.

Definir las características de las conexiones serie y paralelo para resistores con diferente resistencia. Explicar que en la conexión en serie, la corriente eléctrica es la misma en cada resistor y que la diferencia de potencial en cada resistor es diferente; a partir de estas observaciones se puede demostrar que el valor del resistor equivalente se obtiene de la suma de las resistencias de cada resistor.

Para la conexión en paralelo, la corriente eléctrica en cada resistor es diferente, pero la diferencia de potencial en cada uno es la misma, al igual que en el resistor equivalente; a

partir de estas observaciones, también se puede demostrar que el resistor equivalente se obtiene con la suma inversa de los recíprocos de las resistencias.

Analizar conexiones mixtas serie-paralelo con resistores para determinar diferencias de potencial, corriente eléctrica y energía disipada en cada uno de ellos y en el resistor equivalente.

### **3.5 Concepto y definición de fuerza electromotriz. Fuentes de fuerza electromotriz: ideales y reales.**

Conceptualizar a la fuente de fuerza electromotriz como aquel dispositivo capaz de transformar cualquier tipo de energía en energía eléctrica. Se puede iniciar este subtema con la explicación del concepto celda seca y húmeda que es la base para comprender el funcionamiento de la pila y como transforma energía asociada a la reacción química a energía eléctrica.

Lo anterior es un ejemplo particular de una fuente de fuerza electromotriz, la cual puede idealizarse como una fuente sin pérdidas (resistencia interna nula) o bien se pueden considerar las pérdidas (con resistencia interna) denominadas ideales y reales, respectivamente.

### **3.6 Nomenclatura básica empleada en circuitos eléctricos.**

Abordar este subtema a través de un circuito eléctrico que contenga cada uno de los elementos básicos empleados y definirlos; como lo son: nodo, nodo principal, rama, rama principal, malla, etc.

### **3.7 Leyes de Kirchhoff y su aplicación en circuitos resistivos con fuentes de voltaje continuo.**

Definir las leyes de Kirchhoff como una consecuencia de las leyes de conservación de carga y de energía, así como, su utilidad en el planteamiento de un modelo matemático que permita caracterizar un circuito eléctrico.

Para la ley de nodos considerar que las corrientes que entran al nodo son positivas y todas las que salen son negativas (como sugerencia). Podría hacerse una analogía con un flujo de agua a través de una tubería: el flujo de agua que sale del tubo es igual al que entra (como consecuencia del principio de conservación de la materia).

### **3.8 Introducción a los circuitos RC en serie con voltaje continuo.**

Para el análisis del circuito RC más simple en serie, se recomienda aplicar las Leyes de Kirchhoff para plantear la ecuación diferencial que modela el comportamiento del circuito en función del tiempo, para los procesos de carga y descarga del capacitor, así como la solución de dicha ecuación.

## **TEMA 4. Magnetostática.**

**Objetivo:** El alumno calculará el campo magnético debido a distribuciones de corriente eléctrica, la fuerza magnética sobre conductores portadores de corriente y comprenderá el principio de operación del motor de corriente directa.

### **4.1 Descripción de los imanes y experimento de Oersted.**

Resaltar la importancia del campo magnético terrestre como, por ejemplo, su función protectora contra las partículas derivadas del viento solar. También especificar las diferencias entre los polos geográficos y los polos magnéticos terrestres.

Identificar que todo imán es un dipolo magnético y que en la naturaleza no existen los monopolos magnéticos.

Identificar que en el experimento de Oersted se manifiesta la relación de la electricidad con el magnetismo dando origen a la "electrodinámica".

Comentar que la dirección del campo magnético en un punto cercano a un conductor recto se puede determinar mediante la regla de la mano derecha.

#### **4.2 Fuerza magnética, como vector, sobre cargas en movimiento.**

Establecer diferencias y similitudes entre cargas eléctricas y fuerza electrostática con polos magnéticos y fuerza magnética.

Una partícula con carga, que se desplaza a una cierta velocidad en presencia de un campo magnético, experimenta una fuerza de origen magnético que modifica su trayectoria. Recordar que dicha fuerza es un vector ortogonal al plano que forman los vectores velocidad y campo magnético.

#### **4.3 Definición de campo magnético (B).**

Explicar que un campo magnético se puede representar de manera esquemática a través de líneas de campo magnético y conviene analizar sus características. Resaltar que las líneas de campo magnético no tienen puntos extremos ya que tales puntos indicarían la presencia de un monopolo magnético, por consecuencia, las líneas de campo magnético siempre forman espiras cerradas; las líneas de campo magnético no son "líneas de fuerza" dado que no apuntan en la dirección de la fuerza que se ejerce sobre una partícula con carga.

Adicionalmente, recuérdese que el campo magnético, en comparación con el campo eléctrico, el campo magnético es un campo no conservativo.

Encontrar un modelo matemático para describir al vector campo magnético. Se recomienda utilizar el concepto de fuerza de origen magnético y ejemplificarlo con el experimento del tubo de rayos catódicos, en donde un haz de electrones que se desplazan a una cierta velocidad son desviados debido a la presencia de un campo magnético.

#### **4.4 Obtención de la expresión de Lorentz para determinar la fuerza electromagnética, como vector.**

Aplicando el principio de superposición determinar el vector fuerza electromagnética sobre una partícula con carga en presencia de un campo eléctrico y un campo magnético externos.

#### **4.5 Ley de Biot-Savart y sus aplicaciones. Cálculo del campo magnético de un segmento de conductor recto, espira en forma de circunferencia, espira cuadrada, bobina y solenoide.**

Conviene recordar la expresión de campo magnético producido por una carga puntual en movimiento y, a partir de ésta, deducir la ley de Biot-Savart. Con base en esta ley obtener los modelos matemáticos que permitan determinar el campo magnético producido por las diferentes configuraciones.

#### 4.6 Ley de Ampere.

Indicar que el flujo asociado a un campo magnético se define de una manera similar a la usada para definir un flujo eléctrico. A partir del concepto de circulación de un campo vectorial, deduzca la ley de Ampere.

Dos ejemplos que se prestan bastante a la aplicación de la ley de Ampere para la determinación del campo magnético son el solenoide largo y el toroide.

#### 4.7 Concepto y definición de flujo magnético. Flujo magnético debido a un conductor recto y largo, a un solenoide largo y a un toroide.

Enfatizar que el flujo magnético a través de cualquier superficie cerrada es siempre cero. Conviene analizar este concepto en superficies cerradas y abiertas.

#### 4.8 Ley de Gauss en forma integral para el magnetismo.

Para explicar la ley de Gauss se deben retomar las observaciones realizadas en el estudio del flujo magnético a través de superficies cerradas y conviene además recuperar algunas de sus consecuencias, por ejemplo, la no existencia de los monopolos magnéticos y que las líneas de campo magnético son espiras cerradas.

#### 4.9 Fuerza magnética entre conductores, momento dipolar magnético.

Analizar la fuerza magnética resultante sobre dos conductores a través de los cuales circula corriente eléctrica, ya sea en la misma dirección o dirección opuesta y aclarar las consecuencias.

Definir el concepto de momento dipolar magnético en términos del vector de superficie de la espira cerrada y la corriente a través de ésta. Para identificar la dirección del vector momento dipolar magnético conviene aplicar la regla de la mano derecha.

#### 4.10 Principio de operación del motor de corriente directa.

Los conceptos básicos para poder comprender el principio de operación de un motor de corriente directa son: corriente eléctrica, campo magnético, fuerza magnética sobre conductores, momento dipolar y par magnético.

Recordar el concepto *momento* (de torsión) o *par magnético* y comentar que el concepto de *momento magnético* se desprende la definición de *momento dipolar magnético*, al analizar lo que ocurre con una espira conductora en presencia de un campo magnético externo.

### TEMA 5. Inducción electromagnética.

**Objetivo:** El alumno determinará las inductancias de circuitos eléctricos y la energía magnética almacenada en ellos para comprender el principio de operación del transformador eléctrico monofásico.

#### 5.1 Ley de Faraday y principio de Lenz.

Explicará el concepto de fuerza electromotriz inducida a partir de los experimentos de Faraday y el principio de Lenz para interpretar el signo negativo en la ley de Faraday.

Comentar que de la misma forma como Oersted descubrió que a partir de cargas en movimiento es posible producir un campo magnético, Faraday identificó que a partir de

variaciones de flujo magnético en una espira se puede obtener una diferencia de potencial, conocida como fem inducida; además es importante mencionar que una corriente inducida se presentará sólo cuando se tenga un circuito cerrado.

Conviene enfatizar que la fem inducida se debe a una variación de flujo magnético con respecto del tiempo, y según la aportación de Lenz el efecto de la fem y corriente inducidas en el caso de una espira cerrada serán tal que siempre se opondrán a la causa que las produce. Identificar las terminales de la espira con mayor y menor potencial eléctrico.

### **5.2 Fuerza electromotriz de movimiento.**

Mencionar que otra manera de producir una fem inducida es a partir de un movimiento relativo entre un conductor y una fuente de campo magnético constante. Cabe aclarar que dicho movimiento es independiente del sistema de referencia elegido. Se sugiere obtener el modelo matemático de una fem inducida en un segmento de conductor en movimiento.

### **5.3 Transformador con núcleo de aire.**

Mencionar que el transformador eléctrico es una máquina eléctrica cuyo principio de funcionamiento se debe al fenómeno de inducción electromagnética. Es importante que el alumno identifique los componentes básicos del mismo y su diagrama eléctrico.

Deducir la relación de transformación para un transformador ideal e identificar cuando es reductor, elevador o de aislamiento. Es importante comentar que en este tipo de transformadores, tanto la potencia como la frecuencia de los embobinados permanecen sin cambios.

### **5.4 Principio de operación del generador eléctrico.**

Comentar que el generador eléctrico es otro ejemplo de una máquina eléctrica que basa su funcionamiento en el principio de inducción electromagnética.

En el caso de un generador alternador, identificar los casos en que la fem inducida es máxima y relacionarlos con el cambio en el flujo magnético con respecto a la posición de la espira en presencia del campo magnético.

Recordar el concepto de velocidad angular así como sus unidades en el sistema internacional. Deducir el modelo matemático para la fem inducida y con base en su gráfica identificar las variables involucradas.

### **5.5 Conceptos de inductor, inductancia propia e inductancia mutua.**

Definir el inductor como un elemento capaz de almacenar energía debido a la presencia de un campo magnético y mostrar el símbolo que lo representa. Como ejemplo se puede mencionar que un inductor permite que la batería de un automóvil provea miles de volts a las bujías para el encendido y puesta en marcha del motor.

Con base en la ley de Faraday y considerando la variación de flujo magnético con respecto a la corriente, definir los conceptos de inductancia propia (autoinductancia) e inductancia mutua. Explicar que la inductancia es una propiedad que se opone a las variaciones de corriente a través de un inductor y no a la corriente en sí.

### **5.6 Cálculo de inductancias. Inductancia propia: de un solenoide, de un toroide. Inductancia mutua entre dos solenoides coaxiales.**

A partir de la definición general de la inductancia y de los modelos matemáticos para el cálculo de campo y flujo magnéticos, obtener los modelos matemáticos para determinar la inductancia propia de un solenoide y de un toroide, así como la inductancia mutua entre dos solenoides coaxiales, concluyendo que al igual que en el caso de la capacitancia de un capacitor de placas planas paralelas, la inductancia también depende de la geometría del inductor.

### **5.7 Energía almacenada en un campo magnético.**

Deducir el modelo matemático para determinar la energía almacenada en un inductor a partir de la definición de potencia eléctrica. Explicar que a diferencia de un resistor en el cual la energía se disipa de manera irreversible en forma de calor, en un inductor portador de corriente, la energía almacenada se recupera cuando la corriente disminuye a cero.

### **5.8 Conexión de inductores en serie y en paralelo; inductor equivalente.**

Definir las características de las conexiones serie y paralelo para inductores con diferente inductancia, verificando los sentidos de enrollamiento en los inductores, para definir las marcas de polaridad, y con ello determinar el inductor equivalente.

Mostrar la diferencia entre un esquema gráfico de una conexión de inductores y su representación simbólica en un diagrama eléctrico indicando las marcas de polaridad.

### **5.9 Introducción a los circuitos RL y RLC en serie con voltaje continuo.**

Para el análisis de los circuitos RL y RLC, se recomienda aplicar las Leyes de Kirchhoff para plantear las ecuaciones diferenciales que modelan el comportamiento de tales circuitos en función del tiempo, así como la solución de la ecuación para el circuito RL y la aproximación gráfica de la solución para el circuito RLC.

Conviene mencionar algunas aplicaciones típicas de estos circuitos, como por ejemplo la energía del campo magnético que utiliza una bobina en el encendido de un automóvil, la recarga de las baterías de los aparatos eléctricos a través de una fem en una bobina en el interior del aparato, los tubos de luz fluorescente, etc.

## **TEMA 6. Fundamentos de las propiedades magnéticas de la materia.**

**Objetivo:** El alumno describirá las características magnéticas de los materiales, haciendo énfasis en el comportamiento de los circuitos magnéticos.

### **6.1 Diamagnetismo, paramagnetismo y ferromagnetismo.**

Realizar una clasificación de los materiales desde el punto de vista magnético, aclarando las diferencias entre ellos. Explicar que el comportamiento de cada tipo de material se debe al giro intrínseco del electrón denominado espín, el cual a su vez origina un momento dipolar magnético.

En el caso de los materiales ferromagnéticos resaltar su aplicación en el diseño y fabricación de núcleos de transformadores con el fin de conseguir un campo magnético intenso para una corriente dada; otras aplicaciones de estos materiales se encuentran en cintas magnéticas de audio y vídeo, en estudios de paleomagnetismo de rocas y en registros magnéticos de pozos.

### **6.2 Definición de los vectores intensidad de campo magnético (H) y magnetización (M).**

Establecer la analogía entre los vectores eléctricos utilizados para describir materiales dieléctricos y los vectores utilizados para describir materiales magnéticos.

Explicar que el vector campo magnético (B) se utiliza para describir el campo magnético en el vacío, mientras que el vector intensidad de campo magnético (H) describe el campo magnético interno en un material ferromagnético.

### **6.3 Susceptibilidad, permeabilidad del medio y del vacío, permeabilidad relativa.**

Definir los conceptos de susceptibilidad, permeabilidad del medio y del vacío, permeabilidad relativa en analogía con las constantes dieléctricas. A partir de éstos nuevos conceptos establecer la relación entre los vectores campo magnético (B), intensidad de campo magnético (H) y magnetización (M).

### **6.4 Comportamiento de los materiales ferromagnéticos. Curva de magnetización y ciclo de histéresis.**

Explicar que un material ferromagnético al ser expuesto a una región de campo magnético exhibirá una magnetización debido a la reorientación de los momentos dipolares magnéticos. La representación gráfica de la magnetización en respuesta al campo magnético da origen a una curva de magnetización o ciclo de histéresis, cuyas características se pueden interpretar en función del cambio de la estructura de dominios magnéticos en el interior del material ferromagnético.

Hacer notar que la histéresis de la curva de magnetización está relacionada con la energía que disipa el material para modificar la estructura de dominios, en el caso de un transformador por ejemplo, se recomienda el uso de un material con un ciclo de histéresis estrecho para reducir pérdidas de energía, tal es el caso del hierro dulce, el cual tiene una alta permeabilidad sin histéresis apreciable.

Enfatizar que la forma de la histéresis es una consecuencia de que la permeabilidad de los materiales ferromagnéticos varía durante el proceso de magnetización dando origen a fuerzas coercitivas.

### **6.5 Circuitos magnéticos. Fuerza magnetomotriz y reluctancia en serie.**

Para el análisis de circuitos magnéticos se recomienda hacer una analogía con los circuitos resistivos, donde la fuerza magnetomotriz representaría la fuente de fem y la reluctancia la resistencia del resistor. Hacer énfasis que en el caso de los circuitos magnéticos se presenta una oposición a las variaciones de corriente eléctrica con respecto al tiempo.

A partir de la ley de Ampere definir el concepto de fuerza magnetomotriz y haciendo una analogía con la ley de Ohm definir la propiedad llamada reluctancia.

Plantear el análisis para el caso de un núcleo ferromagnético con entrehierro, en donde la reluctancia total es la suma de la reluctancia del material ferromagnético y el entrehierro.

### **6.6 El transformador con núcleo ferromagnético.**

Mencionar que el transformador con núcleo ferromagnético tiene como función mantener el flujo magnético en los devanados. Analizar las diferencias entre un transformador con núcleo de aire y uno con núcleo ferromagnético. Es importante que el alumno identifique los componentes básicos del mismo y su diagrama eléctrico.

Realizar el análisis de un transformador con núcleo ferromagnético con base en los modelos matemáticos obtenidos para un circuito magnético.

### **Bibliografía básica**

BAUER, Wolfgang & WESTFALL, GARY  
*Física para ingeniería y ciencias con física moderna.*  
Volumen 2 1a. edición  
México  
McGraw Hill, 2011

JARAMILLO MORALES, Gabriel Alejandro, ALVARADO  
CASTELLANOS,  
Alfonso Alejandro. *Electricidad y magnetismo*  
Reimpresión 2008  
México  
TRILLAS, 2008

RESNICK, Robert, HALLIDAY, David, et al.  
*Física. Volumen 2*  
5a. edición  
México  
PATRIA, 2011

YOUNG, HUGH D. & FREEDMAN, ROGER A.  
*Sears y Zemansky*  
*Física universitaria con física moderna*  
Volumen 2 13a. edición  
México  
PEARSON, 2013

### **Bibliografía complementaria**

BAUER, Wolfgang, WESTFALL, Gary  
*University physics with modern physics*  
2nd. edition  
New York  
McGraw Hill, 2013

SERWAY, RAYMOND & Jewett, John W.  
*Física para ciencias e ingeniería con física moderna*  
Volumen II 7a. edición  
México  
CENGAGE Learning, 2009

TIPLER, Paul Allen, MOSCA, Gene  
*Física para la ciencia y la tecnología. Volumen 2*  
6a. edición  
Barcelona  
REVERTÉ, 2010

### Referencias de internet

FALSTAD, PAUL

*Simuladores de fenómenos físicos*

2012, en: <http://www.falstad.com/mathphysics.html>

FRANCO GARCÍA, ÁNGEL

*Física con ordenador. Curso de física*

2012, en: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/default.htm>

UNIVERSIDAD DE COLORADO

*Simuladores interactivos*

2012, en: <http://phet.colorado.edu/en/simulations/category/physics>