

# Teoría electromagnética

**JOSE LUIS PEREA VEGA**

**Red Tercer Milenio**

# TEORÍA ELECTROMAGNÉTICA

# TEORÍA ELECTROMAGNÉTICA

JOSE LUIS PEREA VEGA

RED TERCER MILENIO



## AVISO LEGAL

---

**Derechos Reservados © 2012, por RED TERCER MILENIO S.C.**

Viveros de Asís 96, Col. Viveros de la Loma, Tlalnepantla, C.P. 54080, Estado de México.

Prohibida la reproducción parcial o total por cualquier medio, sin la autorización por escrito del titular de los derechos.

Datos para catalogación bibliográfica

José Luis Perea Vega

*Teoría electromagnética*

ISBN 978-607-733-164-3

**Primera edición: 2012**

Revisión editorial: Ma. Eugenia Buendía López

## DIRECTORIO

---

**Bárbara Jean Mair Rowberry**  
*Directora General*

**Rafael Campos Hernández**  
*Director Académico Corporativo*

**Jesús Andrés Carranza Castellanos**  
*Director Corporativo de Administración*

**Héctor Raúl Gutiérrez Zamora Ferreira**  
*Director Corporativo de Finanzas*

**Ximena Montes Edgar**  
*Directora Corporativo de Expansión y Proyectos*

## ÍNDICE

Introducción	6
Mapa conceptual	7
Unidad 1: Fenómenos eléctricos	8
Mapa conceptual	9
Introducción	10
1.1. Conductores	11
1.2. Carga eléctrica	11
1.2.1. Electrostática	11
1.2.2. Ley de Coulomb	11
1.3. Campo eléctrico	12
1.3.1. Ley de Gauss	13
1.4. Potencial eléctrico	14
1.4.1. Diferencia de potencial	14
1.4.2. Cargas puntuales y continuas	14
1.5. Capacitancia	15
1.5.1. Clasificación	15
1.5.2. Capacitores en serie y paralelo	15
1.6. Corriente y resistencia	16
1.6.1. Ley de Ohm	17
1.6.2. Leyes de Kirchhoff	17
1.7. Circuitos de corriente continua	17

1.7.1. Fuentes	18
Autoevaluación	19
Unidad 2: Fenómenos magnéticos	21
Mapa conceptual	22
Introducción	23
2.1. Campos magnéticos	24
2.1.1. Ley de Biot-Savart	26
2.1.2. Ley de Ampere	27
2.1.3. Ley de Faraday	28
2.1.4. Ley de Lenz	28
2.2. Inductancia	29
2.2.1. Circuitos RL	29
2.3. Circuitos de corriente alterna	30
2.3.1. Fuentes	31
2.3.2. Transformadores	31
Autoevaluación	33
Unidad 3: Teoría electromagnética	36
Mapa conceptual	37
Introducción	38
3.1. Elementos de cálculo vectorial	39
3.1.1. Operador nabra	41
3.1.2. Gradiente	42

3.1.3. Divergencia	42
3.1.4. Rotacional	42
3.1.5. Laplaciano	43
3.2. Ecuaciones de Maxwell	43
3.3. Ecuaciones de Poisson y Laplace	46
3.4. Ondas	46
3.4.1. Propagación	47
3.4.2. Reflexión y refracción	47
Autoevaluación	48
Unidad 4: Aplicaciones	51
Mapa conceptual	52
Introducción	53
4.1. Líneas de transmisión	54
4.1.1. Parámetros	54
4.1.2. Ecuaciones	55
4.2. Antenas	56
4.2.1. Características	57
4.2.2. Arreglos	57
4.3. Almacenamiento de información	58
4.3.1. Cintas y discos duros	59
4.3.2. Memorias de estado sólido	60
4.4. Fibra óptica	60
Autoevaluación	63

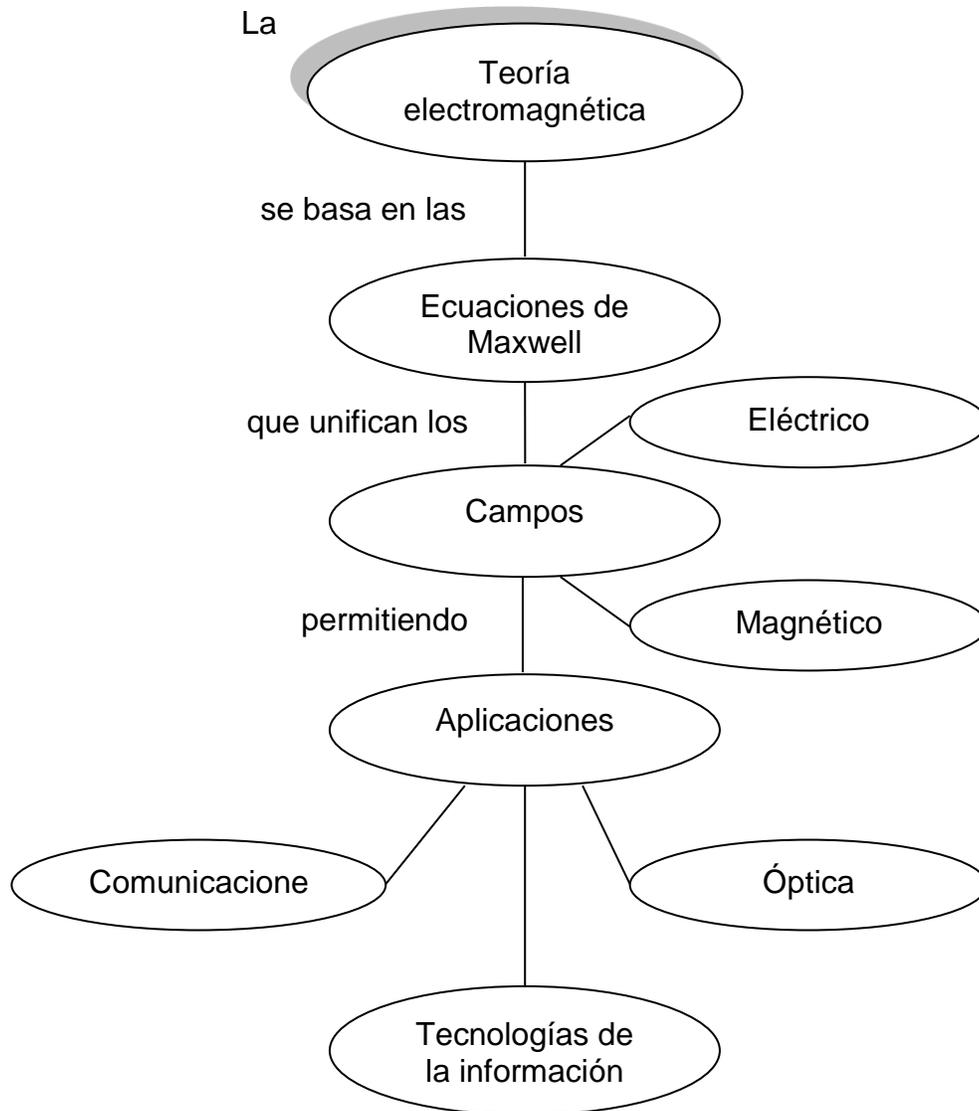
<i>Bibliografía</i>	66
<i>Glosario</i>	68

## INTRODUCCIÓN

A partir de la década de 1920, el físico de origen alemán Albert Einstein dedicó el último tercio de su vida a unificar el campo gravitacional con el electromagnético, después tuvo que considerar los fenómenos cuánticos que se presentan a nivel atómico, desde entonces no se ha logrado esta proeza. Sin embargo, las aplicaciones que cada una de estas teorías involucradas ha brindado a la vida cotidiana son impresionantes; en la actualidad, es posible que naves espaciales envíen imágenes de objetos cósmicos desde distancias inimaginables.

Las leyes de Newton que rigen la interacción gravitacional indican cómo se debe llegar a esos confines del universo mientras que la teoría electromagnética permite la transmisión de imágenes y los mecanismos para el almacenamiento de datos. Algunas otras aplicaciones de esta última teoría se utilizan en el transporte, como es el caso del tren de repulsión magnética conocido como *Maglev*, que es el acrónimo de *magnetic levitation*, el cual logra velocidades mayores a 400 km/hr.

# MAPA CONCEPTUAL



# UNIDAD 1

## FENÓMENOS ELÉCTRICOS

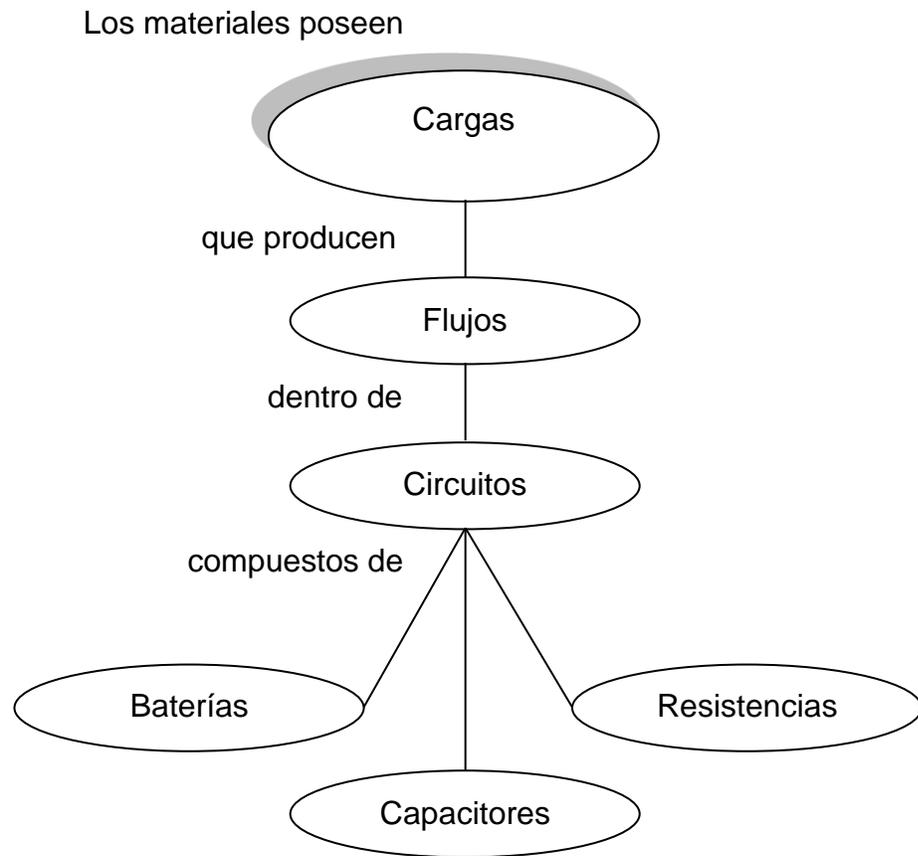
### OBJETIVO

El estudiante comprenderá la estructura atómica de los materiales y su interacción con otros mediante cargas eléctricas.

### TEMARIO

- 1.1. Conductores
- 1.2. Carga eléctrica
  - 1.2.1. *Electrostática*
  - 1.2.2. *Ley de Coulomb*
- 1.3. Campo eléctrico
  - 1.3.1. *Ley de Gauss*
- 1.4. Potencial eléctrico
  - 1.4.1. *Diferencia de potencial*
  - 1.4.2. *Cargas puntuales y continuas*
- 1.5. Capacitancia
  - 1.5.1. *Clasificación*
  - 1.5.2. *Capacitores en serie y paralelo*
- 1.6. Corriente y resistencia
  - 1.6.1. *Ley de Ohm*
  - 1.6.2. *Leyes de Kirchhoff*
- 1.7. Circuitos de corriente continua
  - 1.7.1. *Fuentes*

# MAPA CONCEPTUAL



## INTRODUCCIÓN

Isaac Newton, uno de los pilares de la física, formuló la ley universal de la gravitación buscando describir los fenómenos a nivel planetario; el físico francés Charles Coulomb encontró una expresión equivalente que relaciona cargas eléctricas que producen fuerzas.

## 1.1 CONDUCTORES

Los materiales metálicos son buenos conductores de la electricidad debido a que las cargas se pueden mover fácilmente en su interior, distribuyéndose de manera uniforme en su superficie. Los aislantes tienen un comportamiento opuesto a los conductores, mientras que los materiales que poseen características intermedias, como el silicio o el germanio, se denominan semiconductores.

## ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE

Investiga en internet información acerca de las aplicaciones de los materiales semiconductores.

## 1.2 CARGA ELÉCTRICA

Los físicos Ernest Rutherford y Niels Bohr, propusieron un modelo atómico equivalente a un sistema planetario, compuesto de un núcleo de protones que atraen a los electrones que orbitan a su alrededor, los cuales se repelen entre sí. Su carga es la responsable de este comportamiento, la cual es positiva y negativa respectivamente. Las cargas diferentes se atraen y si son iguales se repelen.

La ley de conservación de las cargas eléctricas establece que la cantidad neta de carga eléctrica generada en cualquier proceso es cero. La unidad de carga en el sistema internacional de unidades (SI) es el coulomb (C).

### *1.2.1 Electrostática*

La electrostática se genera en el interior de los materiales debido a las cargas eléctricas en reposo.

### *1.2.2. Ley de Coulomb*

A finales del siglo XVIII, el físico francés Charles Coulomb encontró que la fuerza eléctrica que se genera entre dos partículas cargadas tiene las siguientes características:

- ✓ Es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia  $r$  que las separa.
- ✓ Está dirigida a lo largo de la línea que las une.
- ✓ Es proporcional al producto de sus cargas  $q_1$  y  $q_2$ .

De forma simbólica, se puede escribir como:

$$F_e = k_e \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

La expresión anterior es la ley de Coulomb, en donde  $k_e$  es la constante de Coulomb que vale  $8.9875 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$

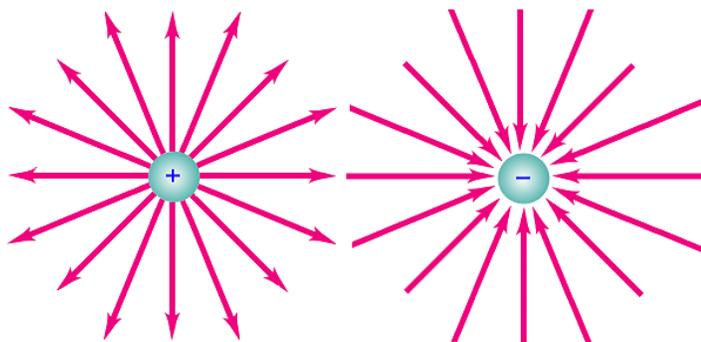
## ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE

Averigua los riesgos que producen las cargas estáticas.

### 1.3 CAMPO ELÉCTRICO

Dos objetos no necesitan tocarse para sentir la acción de las fuerzas debidas a sus cargas. El físico británico Michel Faraday, estudió esta propiedad que se denomina campo. El campo eléctrico  $E$  se define como la fuerza eléctrica  $F_e$  que actúa sobre una pequeña carga  $q$ , expresado como:

$$E = \frac{F_e}{q}$$

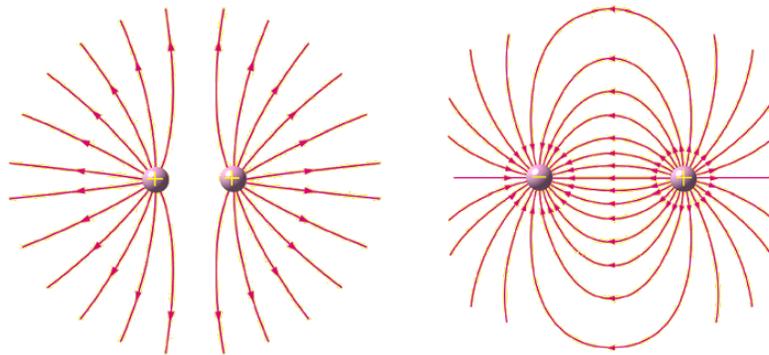


www.esacademic.com

### 1.3.1 Ley de Gauss

Un campo eléctrico se puede representar a través de líneas que cumplen con lo siguiente:

- ✓ Inician en una carga positiva y terminan en negativa.
- ✓ El número de líneas es proporcional a la carga.
- ✓ Nunca se cruzan.



www.esacademic.com

Cuando las líneas de campo penetran perpendicularmente una superficie rectangular de área  $A$  se produce un flujo eléctrico  $\Phi_E$  que es proporcional a la magnitud  $E$  del campo eléctrico:

$$\Phi_E = EA$$

Tratándose de una superficie cerrada como la de una esfera pueden presentarse dos casos: que el flujo entrante sea mayor al que sale (flujo neto negativo) o viceversa. La ley de Gauss establece que el flujo neto a través de cualquier superficie cerrada es:

$$\Phi_E = \frac{q}{\epsilon_0}$$

Donde  $q$  representa la carga neta dentro de la superficie y  $\epsilon_0$  es la constante de permisividad del espacio libre.

## 1.4 POTENCIAL ELÉCTRICO

Mientras que el campo eléctrico se representa mediante un vector, el potencial eléctrico es un escalar que caracteriza este campo. El potencial eléctrico se identifica mediante el símbolo  $V$  (volt), y se define como la energía potencial por unidad de carga:

$$V = \frac{J}{C}$$

Las líneas de campo eléctrico siempre apuntan en la dirección decreciente del campo eléctrico, de esta forma una carga pierde energía potencial cuando viaja en dirección al campo.

### 1.4.1 Diferencia de potencial

“Cuando la fuerza eléctrica realiza un trabajo positivo en una carga, aumenta la energía cinética y disminuye la energía potencial,”<sup>1</sup> de acuerdo a los principios de conservación de la energía. La diferencia de potencial  $U_a - U_b$  entre un punto  $a$  y otro punto  $b$  es igual al valor negativo del trabajo  $W_{ab}$  que necesita la fuerza eléctrica para mover una carga  $q$  entre dichos puntos:

$$V_{ba} = V_b - V_a = \frac{U_b - U_a}{q} = -\frac{W_{ba}}{q}$$

### 1.4.2 Cargas puntuales y continuas

El potencial eléctrico  $V$  a una distancia  $r$  de una sola carga puntual es:

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r} = k_e \frac{q}{r}$$

## ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE

Investiga el manejo del multímetro.

---

<sup>1</sup> Campos Olguín, Víctor, *Física: principios con aplicaciones*, p. 471

## 1.5 CAPACITANCIA

Un capacitor o condensador, es un dispositivo capaz de almacenar carga eléctrica y se puede formar por dos conductores (placas) que poseen cargas de la misma magnitud pero de signo opuesto. La capacitancia se calcula dividiendo la magnitud de la carga entre la magnitud de la diferencia de potencial, y siempre es una cantidad positiva. El farad (F) es la unidad de capacitancia:

$$F = \frac{C}{V}$$

“En un capacitor de placas paralelas, la capacitancia es proporcional al área de sus placas e inversamente proporcional a su separación”.<sup>2</sup>

### 1.5.1 Clasificación

Un capacitor cilíndrico consta de un conductor sólido central rodeado por un cascarón, ambos tienen forma cilíndrica y están dispuestos de forma coaxial.



El capacitor esférico posee un arreglo equivalente al anterior pero utilizando componentes esféricos concéntricos.

### 1.5.2 Capacitores en serie y paralelo

La carga total de los capacitores conectados en paralelo es la suma de las cargas de cada uno de ellos. Mediante esta disposición la capacitancia aumenta, en contraste con los arreglos en serie que la disminuyen por debajo de la que posee cualquiera de sus componentes.

---

<sup>2</sup> [http://www.radiotecnologica.net/index2.php?option=com\\_docman&task=doc\\_view&gid=27&Itemid=52](http://www.radiotecnologica.net/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=27&Itemid=52).

## ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE

Investiga la manera de identificar un capacitor dañado, y cuáles son las causas por las que se puede averiar.

### 1.6 CORRIENTE Y RESISTENCIA

“La corriente es la rapidez con la que fluye la carga a través de una superficie”.<sup>3</sup>

La unidad de la corriente es el ampere (A)

$$A = \frac{C}{s}$$

De forma común, “se asigna a la corriente la misma dirección que la del flujo de carga positiva”.<sup>4</sup>

Para controlar la corriente en distintas partes de un circuito eléctrico se utilizan resistencias. En el caso de un cable, su resistencia está determinada por sus características de conductividad, en la que además influyen la longitud del cable, grosor y temperatura. Existen materiales superconductores que pierden su resistencia a temperaturas extremadamente bajas. Un conductor ideal tiene resistencia cero mientras que un aislante ideal posee resistencia infinita.



[www.forosdeelectronica.com](http://www.forosdeelectronica.com)

Los valores de las resistencias se miden en ohms ( $\Omega$ ). Las resistencias se pueden encontrar en dispositivos electrónicos, y establecen su capacidad mediante un código de colores.

<sup>3</sup> [http://www.fisicanet.com.ar/fisica/magnetismo/ap08\\_fuerza\\_de\\_campo\\_magnetico.php](http://www.fisicanet.com.ar/fisica/magnetismo/ap08_fuerza_de_campo_magnetico.php)

<sup>4</sup> Serway, Raymond A., *Física*, p. 557

### 1.6.1 Ley de Ohm

El físico y matemático Georg Ohm descubrió, de modo experimental, que en los conductores de metal, la resistencia  $R$  es una constante independiente del voltaje  $V$ , y que la cantidad de corriente que pasa por un circuito es directamente proporcional al voltaje e inversamente proporcional a su resistencia:

$$V = IR$$

### 1.6.2 Leyes de Kirchhoff

En una unión dentro de un circuito, donde se juntan tres o más cables de conexión, la corriente se reúne o se divide. Para el análisis de circuitos, se utilizan las siguientes leyes establecidas por Kirchhoff:

- ✓ “Primera (teorema de la unión). La suma algebraica de las corrientes en cualquier unión es cero”.<sup>5</sup>
- ✓ Segunda (teorema de la malla). La suma algebraica de las diferencias de potencial eléctrico dentro de una malla es igual a cero.

## ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE

Investiga el código de colores para resistencias y su manejo.

### 1.7 CIRCUITOS DE CORRIENTE CONTINUA

El circuito más simple se forma por una resistencia y una batería que proporciona corriente, cuya diferencia de potencial entre sus terminales es constante.

---

<sup>5</sup> Wilson, Jerry D., *Física*, p. 611



Una batería es una fuente de fuerza electromotriz (fem)  $\varepsilon$  cuyo valor es el máximo voltaje que suministra. La corriente se denomina continua o directa si tiene magnitud y dirección constantes.

### 1.7.1 Fuentes

Una fuente de alimentación se utiliza para convertir la corriente que se suministra a través de la red eléctrica pública en corriente continua, y que se puede emplear por dispositivos electrónicos.

## ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE

Investiga el diagrama electrónico de una fuente de computadora.

## AUTOEVALUACIÓN

*Selecciona la respuesta correcta:*

1. La resistencia se mide en:  
a) Ohmios                      b) Voltios                      c) Faradios                      d) Amperes
  
2. Es un tipo de conductor con resistencia cero:  
a) Conductor                      b) Avanzado                      c) Real                      d) Ideal
  
3. Representa a un campo eléctrico:  
a) Vector                      b) Escalar                      c) Punto                      d) Área
  
4. También recibe el nombre de capacitor:  
a) Resistor                      b) Sensor                      c) Condensador                      d) Concentrador
  
5. Estableció el equivalente a la ley de la gravitación universal, usando cargas eléctricas:  
a) Newton                      b) Coulomb                      c) Bohr                      d) Gauss

*Completa las siguientes frases:*

6. La ley de la conservación de las cargas establece que:
  
7. El circuito más simple se forma por:
  
8. La corriente es:
  
9. La corriente se denomina continua sí:
  
10. El campo eléctrico se define como:

## RESPUESTAS

1. a.
2. d.
3. a.
4. c.
5. b.
6. La cantidad neta de carga eléctrica generada en cualquier proceso es cero.
7. Una resistencia y una batería.
8. La rapidez con la que fluye la carga a través de una superficie.
9. Tiene magnitud y dirección constantes.
10. La fuerza eléctrica que actúa sobre una pequeña carga.

## UNIDAD 2

### FENÓMENOS MAGNÉTICOS

#### OBJETIVO

El estudiante comprenderá la naturaleza y aplicaciones de los campos magnéticos.

#### TEMARIO

##### 2.1. Campos magnéticos

*2.1.1. Ley de Biot-Savart*

*2.1.2. Ley de Ampere*

*2.1.3. Ley de Faraday*

*2.1.4. Ley de Lenz*

##### 2.2. Inductancia

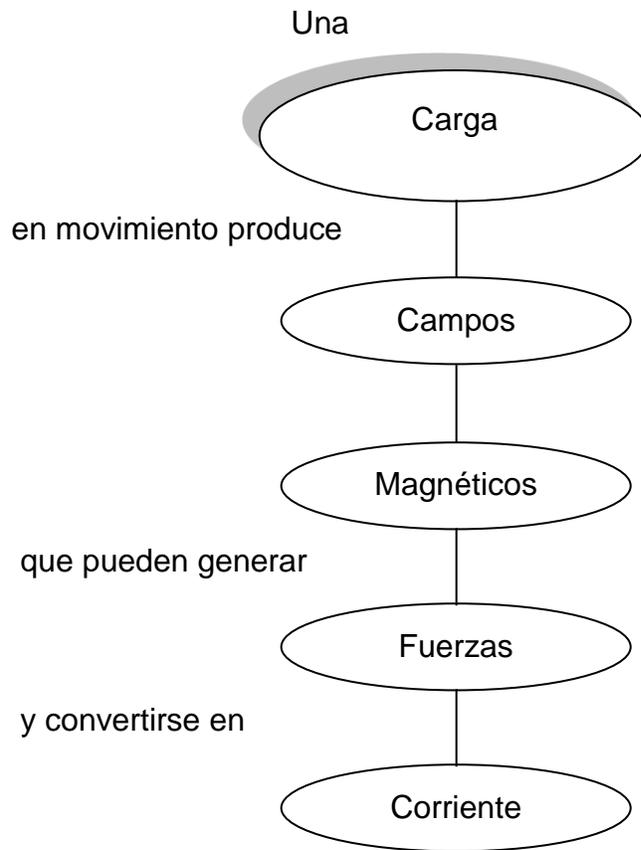
*2.2.1. Circuitos RL*

##### 2.3. Circuitos de corriente alterna

*2.3.1. Fuentes*

*2.3.2. Transformadores*

# MAPA CONCEPTUAL



## INTRODUCCIÓN

Hasta el siglo XVIII, se pensaba que la electricidad y el magnetismo eran fenómenos independientes. Posteriormente, se descubrió que la electricidad produce magnetismo y que, en ciertas condiciones, la relación inversa también se cumple, originando mecanismos de conversión de energía que se usan ampliamente en la actualidad.

## 2.1. CAMPOS MAGNÉTICOS

En 1819, Christian Oersted estableció la relación entre electricidad y magnetismo, esto lo comprobó de forma experimental al colocar una brújula (que puede ser considerada como un imán) cerca de un alambre recto por donde circulaba una corriente, observó que la corriente influye sobre la orientación de la aguja magnética y, simétricamente, un imán influye sobre el conductor.

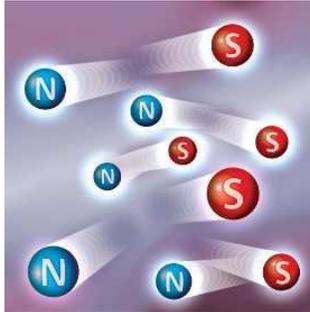
De forma análoga, a las cargas eléctricas se pueden establecer polos magnéticos en un imán: norte y sur, los cuales cumplen los mismos principios de atracción y repulsión. En la periferia de un imán, se produce un efecto de campo que se puede representar a través de líneas de campo que varían de acuerdo a la intensidad, la cual alcanza su valor máximo en los polos. Se puede fragmentar sucesivamente un imán en trozos tan pequeños hasta un nivel atómico, siendo cada parte por sí misma un imán.



[www.rikenresearch.riken.jp](http://www.rikenresearch.riken.jp)

Una partícula elemental es un constituyente de la materia que no se puede descomponer en partes más pequeñas, el electrón es una de ellas y tiene carga negativa. Un electrón rota en su propio eje, al ser una carga en movimiento genera un campo magnético y se considera como el más pequeño de los imanes. Paul Adrien Maurice Dirac, uno de los físicos teóricos más importantes, en 1931 sugirió que deberían existir partículas elementales

electromagnéticas, lo que implica que tendrían un solo polo, por ello se denominan monopolos magnéticos; sin embargo, actualmente se continúan buscando. De este modo, un grupo de investigadores ingleses del London Centre for Nanotechnology han encontrado monopolos denominando al fenómeno *magnetricity*.



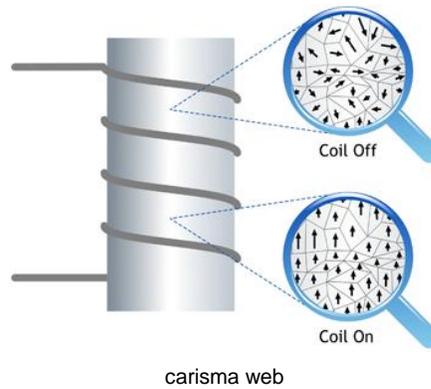
[www.ucl.ac.uk](http://www.ucl.ac.uk)

Existen materiales cuyo campo magnético es muy fuerte, denominados ferromagnéticos, como el hierro, el níquel o el cobalto; cuando un pedazo de estos materiales establece contacto con un imán se puede magnetizar mediante inducción. Los griegos conocían este fenómeno entre una piedra, a la que denominaban magnetita, y trozos de hierro.

Los materiales que conservan su magnetización por largo tiempo se conocen como materiales magnéticos duros. En el caso de un trozo de acero, se puede hacer un imán permanente si se recubre de alambre en forma de espiral, formando una bobina (solenoides), y haciendo pasar una corriente a través de ésta.

Los dominios magnéticos se componen por átomos con ejes magnéticos alineados. En el caso del hierro, se producirá un imán permanente, si se somete a un campo magnético de alta intensidad. Su campo magnético alcanzará su capacidad máxima cuando todos sus ejes magnéticos tengan la misma dirección, en cuyo caso se denomina magnéticamente saturado.

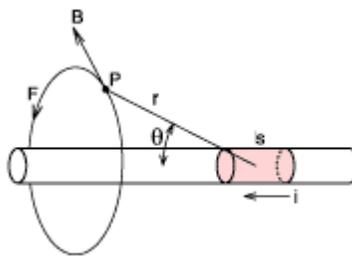
La unidad de flujo en el sistema internacional de medidas (SI) es el weber (Wb), mientras que un tesla (T) es igual a  $\frac{1Wb}{m^2}$ .



### 2.1.1. Ley de Biot-Savart

La densidad de flujo magnético (inducción)  $B$ , que ejerce un punto dentro de un trozo de cable de longitud  $s$ , que transporta corriente sobre otro punto  $P$ , situado en el espacio circundante a una distancia  $r$ , tiene las siguientes propiedades:

- ✓  $\vec{B}$  (línea de campo) es perpendicular a  $\vec{s}$  (línea de flujo) y a  $\hat{r}$  (vector unitario de  $r$ ).
- ✓ La magnitud de  $\vec{B}$  es inversamente proporcional a  $r^2$ .
- ✓ La magnitud de  $\vec{B}$  es proporcional a la corriente y a  $\vec{s}$ .
- ✓ La magnitud de  $\vec{B}$  es proporcional a  $\text{sen}\theta$  (ángulo que forman  $\vec{s}$  y  $\hat{r}$ ).



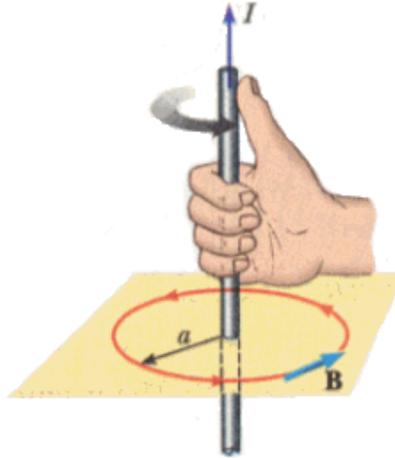
info.ee.surrey.ac.uk

Según estas características, se obtienen las siguientes fórmulas, de acuerdo a la forma del conductor:

Forma	B
Cable largo y recto	<p>Sobre un punto <math>P</math> a distancia <math>d</math> perpendicular al cable</p> $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d}$ <p><math>\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{T \cdot m}{A}</math> es la constante de permeabilidad del espacio libre</p>
Una sola espira de radio $r$	<p>En el centro</p> $B = \frac{\mu_0 I}{2r}$
Solenoides	<p>A lo largo del eje de giro de las <math>N</math> espiras del solenoide de longitud <math>L</math></p> $B = \frac{\mu_0 NI}{L}$

### 2.1.2. Ley de Ampere

Mientras que la ley de Gauss establece el valor del flujo eléctrico neto a través de cualquier superficie cerrada, la ley de Ampere indica que el flujo magnético que pasa por una línea que forma cualquier trayectoria cerrada en un plano perpendicular alrededor de un alambre conductor, es constante. La “regla de la mano derecha” indica la dirección del flujo magnético.



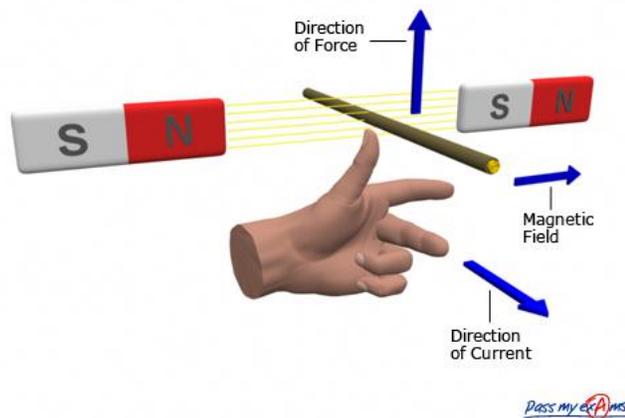
www.engineering.com

### 2.1.3. Ley de Faraday

Se puede producir una fuerza electromagnética mediante inducción, cambiando las líneas de campo que pasan a través de espiras, de magnitud proporcional al número de éstas, y a la razón de cambio de sus campos magnéticos. De acuerdo a estas condiciones, el voltaje aumenta si:

- ✓ Se mueve el imán a mayor velocidad.
- ✓ Se utiliza un imán de mayor capacidad.
- ✓ La bobina tiene más espiras.

Para representar el movimiento que produce una corriente se emplea la regla de Fleming de la mano izquierda:



passmyexams.com.uk

#### 2.1.4. Ley de Lenz

Una fuerza electromagnética inducida siempre circula en sentido opuesto al flujo que la produce.

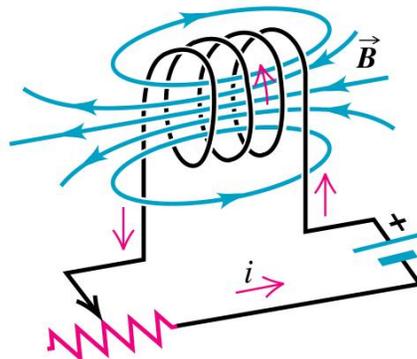
### ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE

Averigua los métodos para desmagnetizar un material.

#### 2.2. INDUCTANCIA

Según Michael Faraday, se puede inducir un campo eléctrico en toda región del espacio en presencia de un campo magnético variable en el tiempo. Su magnitud es proporcional a la rapidez de variación del campo magnético y su dirección perpendicular a éste. Si en un circuito, las fluctuaciones de voltaje son producidas por sí mismo, dando como resultado cambios en la dirección de la fuerza electromagnética (fem), entonces se presenta el fenómeno de autoinducción.

La inductancia  $L$  es una propiedad de los conductores que determina la resistencia a los cambios de corriente. La unidad de inductancia en SI, es el henry (H), igual a un volt-segundo por ampere.

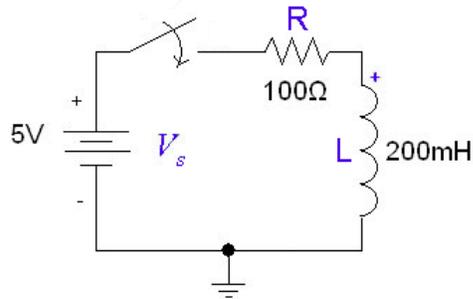


Copyright © Addison Wesley Longman, Inc.

[www.physics.sjsu.edu](http://www.physics.sjsu.edu)

### 2.2.1 Circuitos RL

Si dentro de un circuito existe un componente de alta inductancia, se denomina inductor. Un circuito que consta de una resistencia y un inductor conectados a una batería, se conoce como RL.



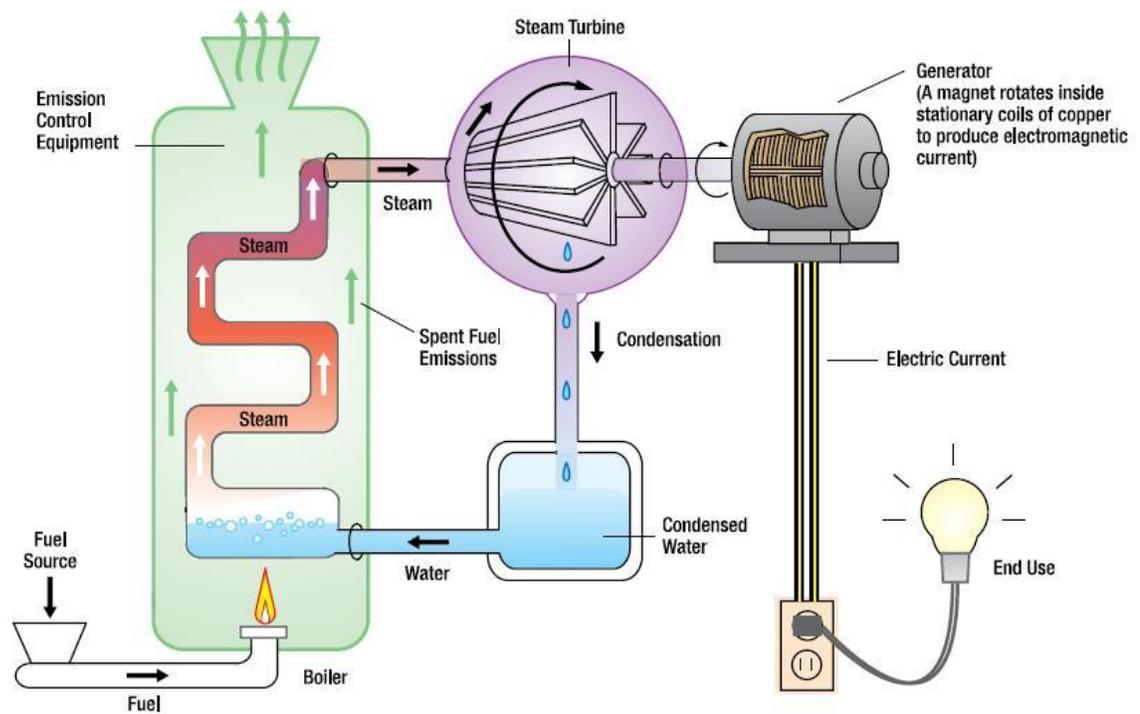
hades.mech.northwestern.edu

## ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE

Compara distintos diagramas de circuitos RL.

### 2.3. CIRCUITOS DE CORRIENTE ALTERNA

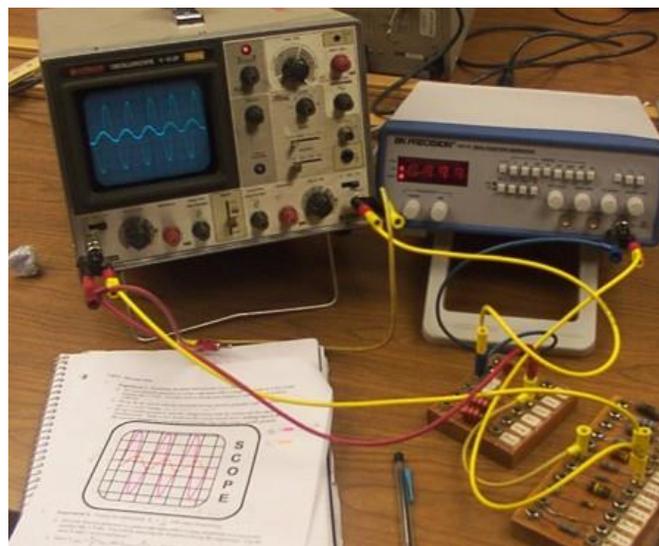
Una de las aplicaciones de la inducción es el generador, el cual transforma la energía proporcionada por el aire, el gas o algún otro combustible, en electricidad, mediante el uso de bobinas (alambre enrollado sobre hierro), que giran dentro de campos magnéticos producidos por electroimanes.



www.bizaims.com

### 2.3.1 Fuentes

Una fuente es un dispositivo que proporciona energía. Se puede incrementar o disminuir el voltaje proporcionado por una fuente eléctrica con el uso de transformadores.

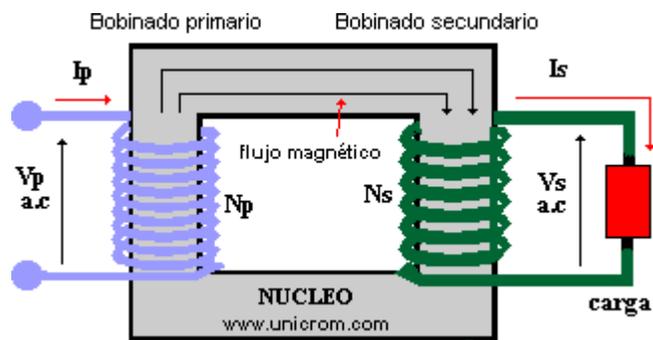


www.physics.arizona.edu

### 2.3.2 Transformadores

Estos dispositivos se integran por dos bobinas: primaria (de voltaje  $V_p$ ) y secundaria ( $V_s$ ). Si la bobina secundaria tiene más vueltas ( $N_s$ ) que la primaria ( $N_p$ ), el voltaje aumenta, y entonces el transformador se denomina elevador.

$$V_s = \frac{N_s}{N_p} V_p$$



### ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE

Investiga las características de la corriente alterna.

## AUTOEVALUACIÓN

*Selecciona la respuesta correcta:*

1. Por primera vez, estableció la relación entre electricidad y magnetismo:

- a) Michael Faraday
- b) Richard Feynman
- c) James Clerk Maxwell
- d) Christian Oersted

2. Se considera el más pequeño de los imanes:

- a) Electrón
- b) Núcleo
- c) Átomo
- d) Protón

3. Si la bobina primaria tiene más vueltas que la secundaria el voltaje:

- a) Aumenta
- b) Disminuye
- c) Es el mismo
- d) Se cancela

4. Un material ferromagnético tiene un campo magnético:

- a) No tiene
- b) Neutro
- c) Fuerte
- d) Débil

5. Predijo la existencia de monopolos magnéticos:

- a) Paul Dirac
- b) Richard Feynman

- c) Christian Oersted
- d) James Clerk Maxwell

*Completa las siguientes frases:*

- 6. Los griegos conocían una piedra con comportamiento de imán, denominada:
- 7. Según Lenz, una fuerza electromagnética inducida siempre:
- 8. La inductancia  $L$  es una propiedad de los conductores que:
- 9. La autoinducción dentro de un circuito implica que:
- 10. Una bobina se construye:

## RESPUESTAS

1. d.
2. a.
3. b.
4. c.
5. a.
6. Magnetita.
7. Circula en sentido opuesto al flujo que la produce.
8. Determina la resistencia a los cambios de corriente.
9. Las fluctuaciones de voltaje se producen por el circuito dando como resultado cambios en la dirección de la fuerza electromagnética (fem).
10. Enrollando alambre sobre un núcleo de hierro.

## UNIDAD 3

### TEORÍA ELECTROMAGNÉTICA

#### OBJETIVO

El estudiante conocerá los modelos matemáticos que sustentan la interacción entre cargas eléctricas y magnéticas, así como sus implicaciones.

#### TEMARIO

##### 3.1 Elementos de cálculo vectorial

*3.1.1. Operador nabla*

*3.1.2. Gradiente*

*3.1.3. Divergencia*

*3.1.4. Rotacional*

*3.1.5. Laplaciano*

##### 3.2 Ecuaciones de Maxwell

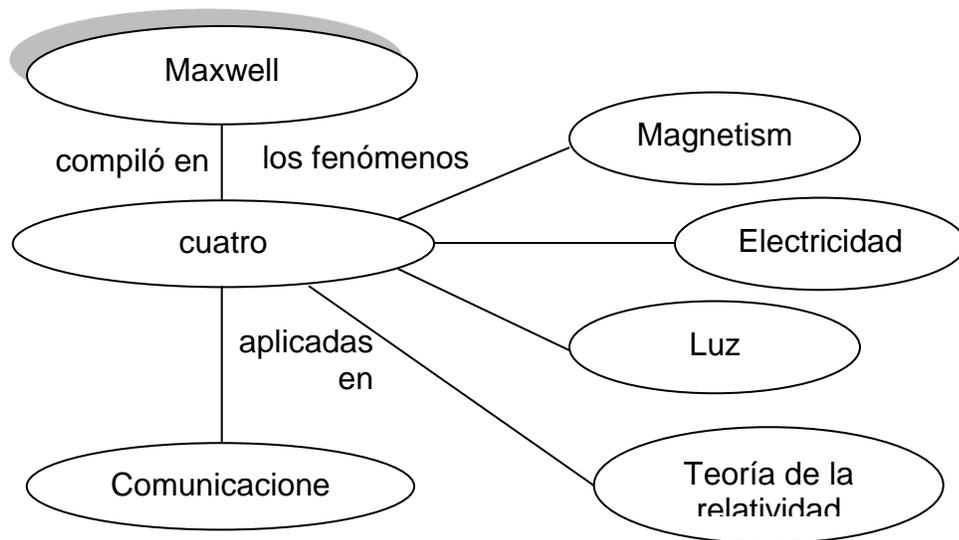
##### 3.3 Ecuaciones de Poisson y Laplace

##### 3.4 Ondas

*3.4.1 Propagación*

*3.4.2 Reflexión y refracción*

# MAPA CONCEPTUAL



## INTRODUCCIÓN

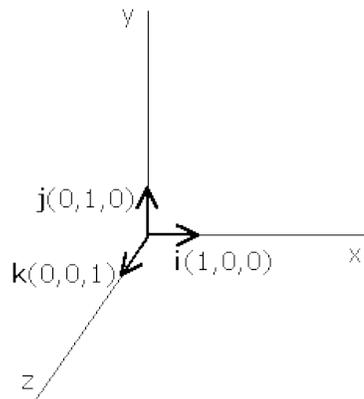
El físico alemán Albert Einstein, realizó trabajos acerca de la relatividad y la naturaleza de la luz, basándose en los desarrollos del matemático y físico inglés James Clerk Maxwell, quien compiló las leyes sobre las interacciones entre electricidad y magnetismo que se conocían en su época en cuatro ecuaciones, complementando las bases de la física clásica junto a las leyes de la termodinámica y las leyes de Isaac Newton.

### 3.1 ELEMENTOS DE CÁLCULO VECTORIAL

El matemático inglés William Kingdon Clifford, en su trabajo *Elements of Dynamics*, estableció los vectores, la forma de sumarlos, así como los productos cruz y punto. Su obra se basó en los cuaterniones de Hamilton, el análisis de Grassman y los resultados de Maxwell, fundando las bases del análisis vectorial que continuaron desarrollando Willard Gibbs y Oliver Heaviside.

A una región de tres dimensiones que tiene asociado un número en cada punto de dicha región, se le denomina campo escalar, representándose por  $\phi$ . Si a cada punto se le asigna una magnitud que posee tamaño, dirección y sentido (conocida como vector), se formará un campo vectorial, que se denominará  $V$ .

Los vectores que son perpendiculares entre sí, y de tamaño uno, se denominan unitarios. Tienen la dirección de los ejes de un sistema de coordenadas cartesiano hacia el sentido positivo de éstos. En tres dimensiones, los vectores unitarios son  $i, j, k$  que también se escriben como  $\hat{i}, \hat{j}, \hat{k}$ .



www.unedcervera.com

Si  $x, y, z$  son las coordenadas rectangulares de un punto del espacio, el vector de posición  $\mathbf{v}$  que va desde el origen hacia ese punto se puede expresar por:

$$\mathbf{v} = xi + yj + zk$$

El tamaño (módulo o magnitud) de  $\mathbf{v}$ , escrito como  $|\mathbf{v}|$  se calcula mediante:

$$|\mathbf{v}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

La operación “producto punto” convierte a dos vectores  $\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2$  en un escalar de la forma:

$$\mathbf{v}_1 \cdot \mathbf{v}_2 = x_1x_2 + y_1y_2 + z_1z_2$$

En donde  $x_n, y_n, z_n$  se denominan componentes de  $\mathbf{v}_n$ , siendo  $n$  un número entero.

La operación “producto cruz” transforma dos vectores que se encuentran en el mismo plano, en un tercer vector que es perpendicular a ambos, ubicándose en otro plano, de acuerdo con:

$$\mathbf{v}_1 \times \mathbf{v}_2 = (y_1z_2 - z_1y_2)i - (x_1z_2 - z_1x_2)j + (x_1y_2 - y_1x_2)k$$

Una curva  $C$  en el espacio se dice parametrizada si las coordenadas  $x, y, z$  de un punto que se encuentran sobre ella, se pueden escribir como:

$$x = f(t), y = g(t), z = h(t) \text{ para algún } t \text{ evaluado en las funciones } f, g, h.$$

Una función vectorial  $\mathbf{r}$  que representa a  $C$  se obtiene mediante:

$$\mathbf{r}(t) = f(t)i + g(t)j + h(t)k$$

La derivada de una curva  $C$ , obtenida mediante una función  $f(x)$  en el plano  $xy$ , nos proporciona la pendiente de la recta tangente cuando se evalúa en cierto punto de esa curva. Si la función  $f$  tiene más de una variable se pueden obtener las derivadas de cada una, manteniendo a las demás como constantes, siguiendo los procedimientos estándares de cálculo diferencial, la derivada parcial de  $f$  respecto a  $x$  se identifica mediante:  $\frac{\partial f}{\partial x}$ , si esta expresión se vuelve a derivar se indicará como:  $\frac{\partial^2 f}{\partial x^2}$

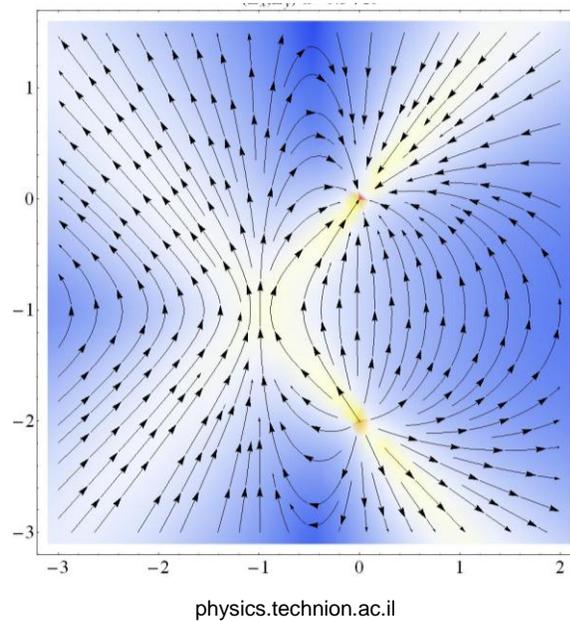
Un campo vectorial  $\mathbf{V}$  se denomina conservativo si la trayectoria entre dos extremos ( $a$  y  $b$ ) de una curva  $C$  es independiente del camino que se elija,

esto significa que su valor es constante. Si  $\mathbf{v}$  es el vector posición, entonces se representa por:

$$\int_c \mathbf{v} dv$$

Si  $a$  y  $b$  son el mismo punto, entonces se trata de una curva cerrada, denominándose a la trayectoria como circulación, escrita mediante:

$$\oint_c \mathbf{v} dv$$



### 3.1.1 Operador nabla

El operador nabla, también denominado “del”, caracterizado por  $\nabla$ , fue establecido por el físico y matemático irlandés Sir William Rowan Hamilton, aunque simbolizado mediante:  $\triangleright$

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \mathbf{i} + \frac{\partial}{\partial y} \mathbf{j} + \frac{\partial}{\partial z} \mathbf{k}$$

### 3.1.2. Gradiente

Si  $\phi(x, y, z)$  define a un campo escalar  $\phi$ , entonces al aplicarle el operador nabla se obtiene el gradiente de  $\phi$ , es decir:

$$\nabla\phi = \frac{\partial\phi}{\partial x}i + \frac{\partial\phi}{\partial y}j + \frac{\partial\phi}{\partial z}k = \text{grad } \phi$$

El gradiente de  $\phi$  es un campo vectorial que proporciona la razón de cambio con respecto a cada vector unitario y apunta hacia el máximo incremento de  $\phi$ .

Si  $\mathbf{r} = xi + yj + zk$  es un vector de posición, entonces  $d\mathbf{r} = dxi + dyj + dzk$ ; al calcular el “producto punto” con  $\nabla\phi$  se obtiene:

$$\nabla\phi \cdot d\mathbf{r} = \frac{\partial\phi}{\partial x}dx + \frac{\partial\phi}{\partial y}dy + \frac{\partial\phi}{\partial z}dz = d\phi$$

Si  $d\phi = 0$ , entonces el vector gradiente es perpendicular a  $d\mathbf{r}$ .

### 3.1.3. Divergencia

Si  $\mathbf{V}$  es un campo vectorial tal que:

$$\mathbf{V}(x, y, z) = f(x, y, z)i + g(x, y, z)j + h(x, y, z)k$$

En donde  $f, g, h$  son funciones, entonces:

$$\text{div } \mathbf{V}(x, y, z) = \nabla \cdot \mathbf{V} = \left( \frac{\partial}{\partial x}i + \frac{\partial}{\partial y}j + \frac{\partial}{\partial z}k \right) \cdot (f(x, y, z)i + g(x, y, z)j + h(x, y, z)k)$$

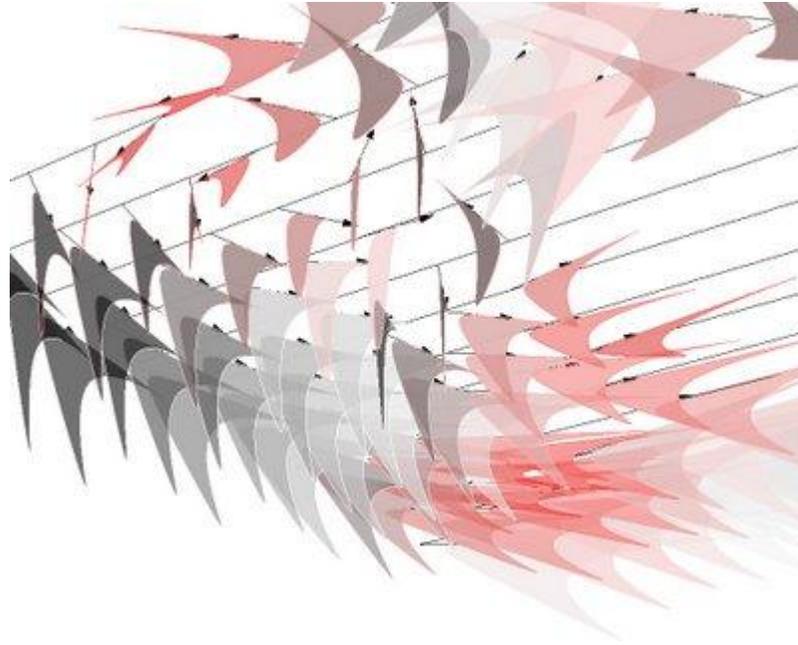
$$\text{div } \mathbf{V}(x, y, z) = \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial g}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial z}$$

### 3.1.4. Rotacional

Si  $\mathbf{V}$  es un campo vectorial definido como en la divergencia, entonces el rotacional de  $\mathbf{V}$ , también se escribe como  $\text{rot } \mathbf{V}$  o se denomina *curl* (su nombre se debe a sus aplicaciones en problemas de fluidos), se obtiene mediante:

$$\text{rot } \mathbf{V}(x, y, z) = \left( \frac{\partial h}{\partial y} - \frac{\partial g}{\partial z} \right) i + \left( \frac{\partial f}{\partial z} - \frac{\partial h}{\partial x} \right) j + \left( \frac{\partial g}{\partial x} - \frac{\partial f}{\partial y} \right) k$$

$$\text{rot } \mathbf{V} = \nabla \times \mathbf{V}$$



Campo vectorial estilizado. Marc Fornes©

Si  $V$  es un campo vectorial conservativo, entonces  $V$  es un gradiente de una función escalar  $\phi$ , es decir  $V = \nabla\phi$  por lo que a  $V$  se le conoce como campo de gradiente y  $\phi$  es una función potencial.

### 3.1.5. Laplaciano

Maxwell denomina a  $\nabla^2$  “operador de Laplace” o Laplaciano y lo asigna de forma negativa:

$$-\nabla^2 = \left(\frac{\partial}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial}{\partial z}\right)^2$$

A la expresión  $\nabla^2 f(x, y, z) = 0$  se le conoce como ecuación de Laplace.

## ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE

Averigua la ley de la conservación de la energía mecánica.

### 3.2 ECUACIONES DE MAXWELL

James Clerk Maxwell nació en 1831 en Escocia, con formación en física y matemáticas, trabajó sobre los resultados experimentales de Michael Faraday.

En 1865, propuso cuatro ecuaciones en su obra *A Dynamical Theory of Electromagnetic Field*, las cuales se presentan a continuación:

Leyes	Expresión diferencial asociada	Enunciado
Ley de Gauss	$\nabla \cdot \mathbf{E} = 4\pi\rho$	El flujo del campo eléctrico en una superficie cerrada es proporcional a la carga dentro de la misma.
Ley de Faraday	$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$	La fuerza electromotriz ( <i>fem</i> ) inducida en un circuito, depende de las variaciones temporales del flujo magnético alrededor del circuito.
Monopolo	$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$	El flujo magnético neto sobre una superficie cerrada es cero.
Ley de Ampère-Maxwell	$\nabla \times \mathbf{B} = \frac{4\pi}{c} \mathbf{J} + \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$	La tasa de cambio temporal del campo eléctrico, más la corriente estacionaria generada por cargas en movimiento, depende del campo magnético a lo largo de una trayectoria cerrada.

En la tabla anterior,  $E$  y  $B$  representan al campo eléctrico y magnético respectivamente,  $\rho$  es la densidad de carga,  $J$  es la densidad de corriente. La forma de expresar las ecuaciones varía según las unidades utilizadas.

Con la dirección de Maxwell, en 1874 se fundó el laboratorio Cavendish, del cual casi una treintena de sus miembros han sido galardonados con el premio Nobel.



bayes.wustl.edu

William Kingdon Clifford, quien tenía un conocimiento profundo de la física, redujo las cuatro ecuaciones de Maxwell a una sola:

$$\nabla F = J$$

Esta igualdad se cumple en el contexto del álgebra del espacio-tiempo (STA, por sus siglas en inglés), de la cual William Kingdon sentó las bases mediante su obra *On the space theory of matter*, escrita en 1870; este matemático se anticipó a Einstein al concebir la curvatura del espacio.

## ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE

Investiga las expresiones de las ecuaciones de Maxwell utilizando integrales.

### 3.3 ECUACIONES DE POISSON Y LAPLACE

La expresión de la ley de Gauss, en el sistema internacional de unidades (SI), de acuerdo a las ecuaciones de Maxwell corresponde a:

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

En donde  $\mathbf{E}$  representa un campo eléctrico,  $\rho$  la densidad de carga y  $\epsilon_0$  la permisividad del medio. Debido a que  $\mathbf{E}$  es un campo conservativo, se puede escribir como:

$$\mathbf{E} = -\nabla\phi$$

Para alguna función escalar  $\phi$ , si se combinan las dos expresiones anteriores se obtiene:

$$\nabla \cdot \nabla\phi = \nabla^2\phi = -\frac{\rho}{\epsilon_0}$$

Este es un ejemplo de ecuación de Poisson, que expresa el potencial eléctrico según una función escalar. En una región carente de carga esta ecuación se convierte en:

$$\nabla^2\phi = 0$$

Así, se obtiene la ecuación de Laplace.

## ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE

Investiga la manera de aplicar la ecuación de Poisson a una esfera cargada.

### 3.4 ONDAS

Antes de James Maxwell, se creía que las leyes de Isaac Newton servían para modelar todos los fenómenos físicos del universo. Con respecto a la naturaleza de la luz, Cristian Huygens la consideraba de forma ondulatoria, mientras que Isaac Newton aseguraba que tenía comportamiento de partícula; hasta que Albert Einstein explicó el efecto fotoeléctrico.

### *3.4.1 Propagación*

Los resultados de James Maxwell predecían que las perturbaciones eléctricas se podían propagar a la velocidad de la luz, lo cual se comprobó experimentalmente por Hertz.

### *3.4.2 Reflexión y refracción*

El trabajo de James Maxwell también permite la unificación de la óptica a través de los resultados que se derivan de sus ecuaciones, sin embargo este físico no conoció todas las implicaciones de su obra ya que asumía que debía existir un medio de propagación para las cargas. Según Isaac Newton, la reflexión de la luz se presentaba como una partícula elástica rebotando sobre una superficie, que cambiaba su velocidad cuando pasaba de un medio a otro con distinta densidad, manifestándose en este caso el fenómeno de la refracción, el cual no tenía una explicación satisfactoria asumiendo que la luz tenía naturaleza corpuscular. Sin embargo, considerando la luz como onda y partícula, ésta tiene un comportamiento diferente según el medio que intente atravesar, por ejemplo, el vidrio permite el paso de la luz reflejando una parte mínima, lo contrario se observa si se trata de una lámina de metal cuya reflexión es total, generando calor en la lámina debido al choque de los fotones en ella. En un espejo, se presentan ambos fenómenos: la reflexión permite que se observe la imagen, mientras que la refracción se manifiesta en la luz al cambiar de medio, es decir del aire al vidrio y después a la placa metálica, ocasionando cambios en el ángulo de llegada de la luz. Los fenómenos de reflexión y refracción permiten la comunicación a través de la fibra óptica mediante luz.

## ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE

Investiga cuál era la justificación para la existencia del éter.

## AUTOEVALUACIÓN

*Selecciona la respuesta correcta:*

1. ¿Quién estableció los vectores?

- a) William Clifford
- b) Rowan Hamilton
- c) Willard Gibbs
- d) Oliver Heaviside

2. Es un tipo de campo que tiene asignado un número a cada punto de una región:

- a) Vectorial
- b) Escalar
- c) Normalizado
- d) Unitario

3. Un vector que va desde el origen a otro punto del espacio, se denomina:

- a) De posición
- b) Escalar
- c) Unitario
- d) Normal

4. El tamaño de un vector se denomina:

- a) Segmento
- b) Unidad
- c) Escalar
- d) Módulo

5. Si cualquier trayectoria entre dos puntos de una curva es constante, se trata de un campo:

- a) Escalar
- b) Conservativo
- c) Vectorial
- d) Unitario

*Completa las siguientes frases:*

6. Según James Maxwell, la ley Gauss se representa en el sistema internacional de unidades como:
7. El operador nabla se define por:
8. La ley del monopolio menciona que:
9. Si \_\_\_\_\_, entonces el vector gradiente es perpendicular a  $dr$
10. El \_\_\_\_\_ también recibe el nombre de *curl*

## RESPUESTAS

1. a

2. b

3. a

4. d

5. b

6.  $\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$

7.  $\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \mathbf{i} + \frac{\partial}{\partial y} \mathbf{j} + \frac{\partial}{\partial z} \mathbf{k}$

8. El flujo magnético neto sobre una superficie cerrada es cero.

9.  $d\phi = 0$ .

10. Rotacional

## UNIDAD 4

### APLICACIONES

#### OBJETIVO

El estudiante identificará distintos métodos utilizados en las tecnologías de la información y la comunicación que se sustentan en la teoría electromagnética.

#### TEMARIO

##### 4.1. Líneas de transmisión

*4.1.1. Parámetros*

*4.1.2. Ecuaciones*

##### 4.2. Antenas

*4.2.1. Características*

*4.2.2. Arreglos*

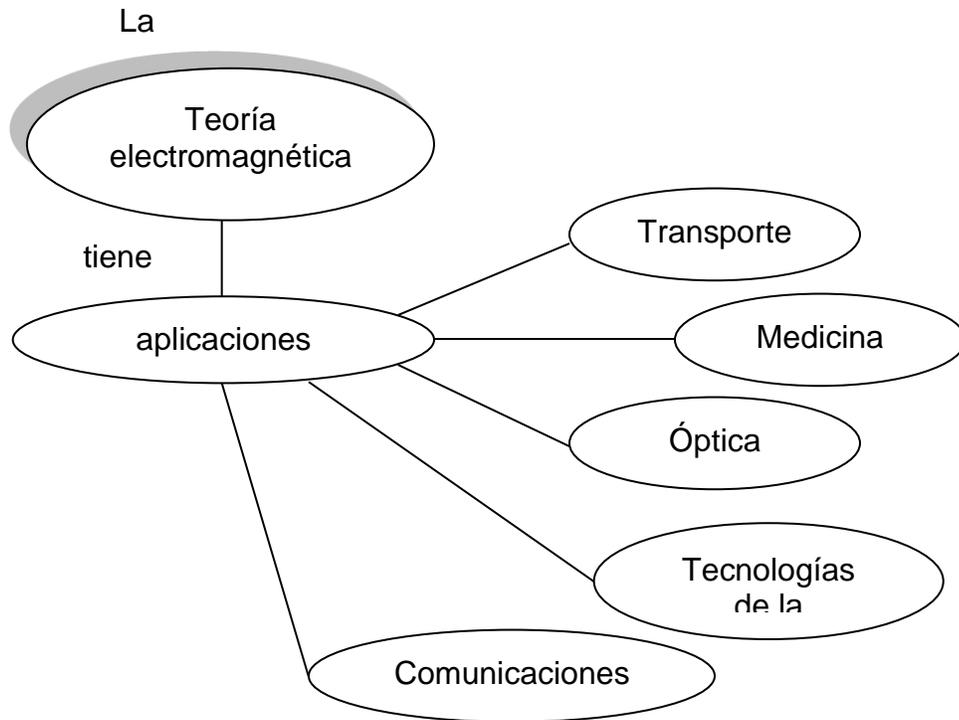
##### 4.3. Almacenamiento de información

*4.3.1. Cintas y discos duros*

*4.3.2. Memorias de estado sólido*

##### 4.4 Fibra óptica

# MAPA CONCEPTUAL



## INTRODUCCIÓN

En 1887, Heinrich Hertz quien era profesor de la Escuela Politécnica de Karlsruhe en Alemania, construyó un dispositivo para comprobar la existencia de las ondas electromagnéticas que James Cleck Maxwell había deducido teóricamente. También diseñó un mecanismo para enviar señales, basado en un oscilador; en 1892, Guglielmo Marconi leyó sus experimentos y lo demás es historia.

#### 4.1 LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

La energía electromagnética es conducida de un punto a otro mediante líneas de transmisión, para así transportar potencia (baja frecuencia) o información (alta frecuencia) principalmente. Los componentes de una red de transmisión se pueden considerar como:

- Emisor
- Circuito generador
- Receptor
- Circuito de carga
- Líneas de transmisión

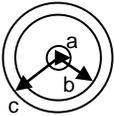
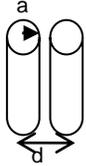
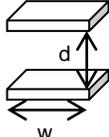
Las líneas de transmisión se representan de forma general mediante dos líneas de alambres paralelos.

##### 4.1.1. *Parámetros*

Para modelar una red de transmisión se pueden usar circuitos, en particular se utilizan los conocidos como circuitos de elementos concentrados, integrados por los que se denominan parámetros de líneas de transmisión:

- Resistencia ( $R'$ )
- Inductancia ( $L'$ )
- Conductancia ( $G'$ )
- Capacitancia ( $C'$ )

Las líneas de transmisión más comunes son los cables coaxiales; y las de dos alambres y las planas mediante diversas configuraciones: placas paralelas, un alambre sobre un plano conductor y microcintas.

Parámetro	Coaxial	Dos alambres	Placas paralelas	Unidad
$R'$	$\frac{R_s}{2\pi} \left( \frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right)$	$\frac{R_s}{\pi a}$	$\frac{2R_s}{w}$	$\frac{\Omega}{m}$
$L'$	$\frac{\mu}{2\pi} \ln \left( \frac{b}{a} \right)$	$\frac{\mu}{\pi} \ln \left[ \left( \frac{d}{2a} \right) + \sqrt{\left( \frac{d}{2a} \right)^2 - 1} \right]$	$\frac{\mu d}{w}$	$\frac{H}{m}$
$G'$	$\frac{2\pi\sigma}{\ln \left( \frac{b}{a} \right)}$	$\frac{\pi\sigma}{\ln \left[ \left( \frac{d}{2a} \right) + \sqrt{\left( \frac{d}{2a} \right)^2 - 1} \right]}$	$\frac{\sigma w}{d}$	$\frac{S}{m}$
$C'$	$\frac{2\pi\epsilon}{\ln \left( \frac{b}{a} \right)}$	$\frac{\pi\epsilon}{\ln \left[ \left( \frac{d}{2a} \right) + \sqrt{\left( \frac{d}{2a} \right)^2 - 1} \right]}$	$\frac{\epsilon w}{d}$	$\frac{F}{m}$
				
$R_s = \sqrt{\pi f \frac{\mu_c}{\sigma_c}}$ <p><math>\mu_c, \sigma_c</math> dependen del material conductor  <math>\mu, \epsilon, \sigma</math> dependen del aislante</p>				

#### 4.1.2. Ecuaciones

El campo eléctrico y el campo magnético se relacionan con el voltaje  $V$  y la corriente  $I$  respectivamente, de tal forma que, considerando las ecuaciones de Maxwell y aplicando las leyes de Kirchhoff, se pueden obtener las soluciones de las ecuaciones de onda para el voltaje y la corriente, escritas como:

$$V(x) = V^+ e^{-\gamma x} + V^- e^{\gamma x}$$

$$I(x) = I^+ e^{-\gamma x} + I^- e^{\gamma x}$$

En donde  $\gamma$  se denomina constante de propagación y se obtiene a partir del número complejo  $\gamma = \alpha + j\beta$ , si  $\alpha$  (nepers/m) es la constante de atenuación y  $\beta$  (rad/m) es la constante de fase. Se debe considerar el uso de  $j$  en lugar de  $i$  para la identificación de la parte imaginaria de  $\gamma$  dentro del contexto de expresiones electromagnéticas.

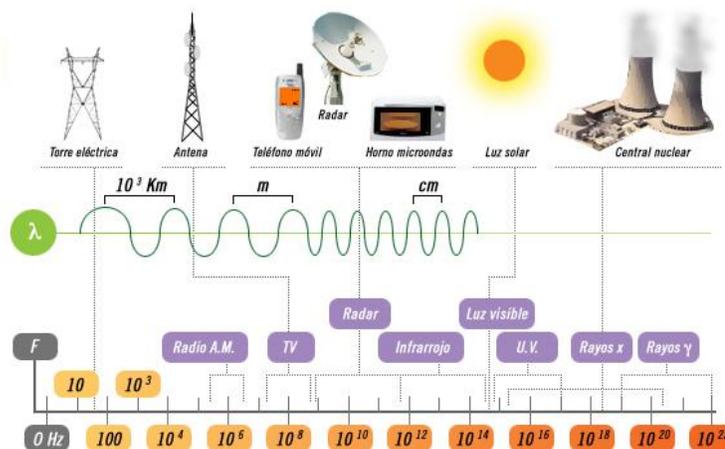
## ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE

Averigua qué es el vector de Poynting.

### 4.2 ANTENAS

Las antenas son dispositivos que se utilizan para enviar o recibir ondas electromagnéticas, que tienen diferentes manifestaciones:

- Ondas de radio
- Microondas
- Ondas infrarrojas
- Luz visible
- Ondas ultravioleta
- Rayos X
- Rayos gamma



© www.um.es

Existen diversos tipos de antenas:

- Antenas de alambre
  - ✓ Dipolar: Constituida por dos alambres rectos
  - ✓ De cuadro: Tiene una o más vueltas de alambre
  - ✓ Helicoidal: Posee forma de hélice y está anclada a tierra
- Antena de bocina
- Antena parabólica

#### *4.2.1. Características*

Debido a que las antenas pueden ser de emisión o recepción, existen diferentes valores de importancia. En la transmisión se tienen:

- Impedancia: Establece la relación entre tensión y corriente.
- Intensidad de radiación: Representa la potencia direccional.
- Patrón de radiación: Forma tridimensional de la radiación producida.
- Directividad: Indica la concentración direccional.
- Polarización: Indica la orientación del vector de campo a un tiempo.
- Ancho de banda: Límites para los parámetros de una antena.

Mientras que en la recepción están:

- Adaptación: Indica la transferencia de potencia hacia la antena.
- Área y longitud efectiva.

#### *4.2.2. Arreglos*

A la disposición combinada de antenas se le conoce como arreglo; de forma común, las antenas son iguales y están orientadas hacia la misma dirección. El campo total obtenido es la suma vectorial de todos los campos que conforman el arreglo.

Existen algunos factores que influyen sobre el patrón de radiación:

- Disposición geométrica
- Separación entre cada antena
- Patrón de cada componente
- Amplitud
- Fase

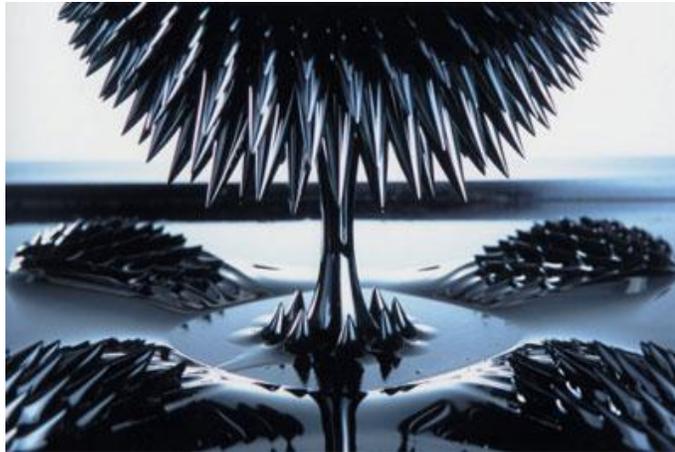
## ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE

Investiga el teorema de reciprocidad para las antenas.

### 4.3 ALMACENAMIENTO DE INFORMACIÓN

Existen diversas aplicaciones de la teoría electromagnética en el manejo de la información, en forma de superficies magnéticas o mediante un fluido ferromagnético, el cual tiene sus orígenes en los desarrollos espaciales de la NASA encabezados por Stephen Papell en la década de 1960.

El fluido ferromagnético está constituido de partículas, precisamente de tipo ferromagnético, suspendidas en un líquido que puede ser agua o aceite, con características coloidales. También posee un agente dispersante para evitar aglutinaciones. Los ferrofluidos se aplican en las bocinas, en las suspensiones activas de los automóviles, en la pintura reflejante de ondas electromagnéticas en aviones de combate, en las impresoras de chorro de tinta, etc.

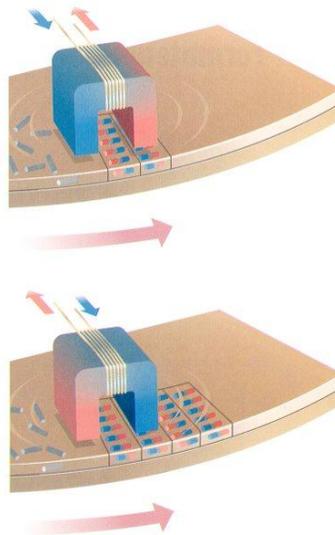


© slipperybrick.com

#### 4.3.1. Cintas y discos duros

Un disco duro se compone físicamente de tres elementos principales:

- Superficie de lectura/escritura: Son discos metálicos recubiertos de materiales ferromagnéticos sujetos a campos magnéticos.
- Mecanismos de posicionamiento.
- Tarjetas electrónicas de transferencia y control de datos.



© taee.euitt.upm.es

Las cintas también están construidas mediante la disposición lineal de material ferromagnético, pero su tiempo de acceso a datos es mayor. Se utilizan principalmente para respaldo de datos.

#### 4.3.2. Memorias de estado sólido

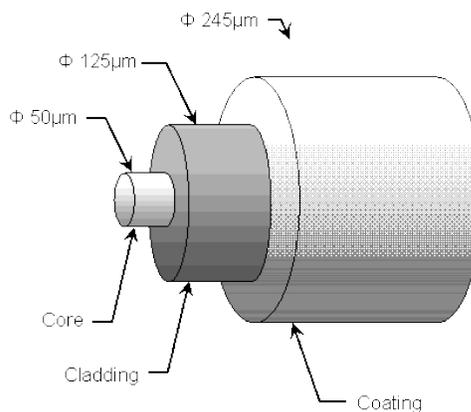
A diferencia de los discos duros, las memorias de estado sólido (SSD, por sus siglas en inglés) no utilizan mecanismos de desplazamiento de cabezas, ya que guardan la información directamente en chips de memoria NAND, con tasas superiores a 120 MB/s para lectura y 170 MB/s para escritura. La desventaja es que su costo es elevado y todavía manejan poca capacidad, del orden de 64 GB.

## ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE

Investiga qué son y cómo se utilizan los niveles RAID.

#### 4.4 FIBRA ÓPTICA<sup>6</sup>

La fibra óptica está construida con fibras de vidrio o plástico, es delgada y flexible. El cable tiene forma cilíndrica, se compone de tres capas: núcleo, revestimiento y cubierta.

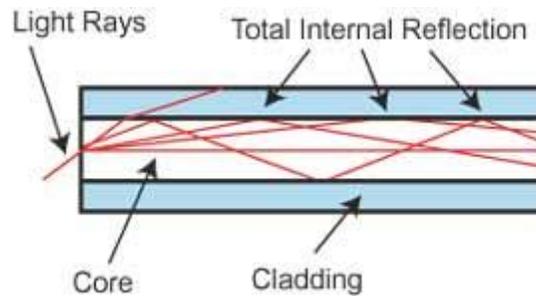


©www.gatewayforindia.com

<sup>6</sup> Se tomó del libro *Teoría de la información*, (TI01) Aliat Universidades, 2010.

Su ancho de banda es del orden de cientos de giga *bits* (Gbps) a través de decenas de kilómetros. Puede transportar entre 20,000 y 60,000 canales de voz a una distancia de 1,500 km.

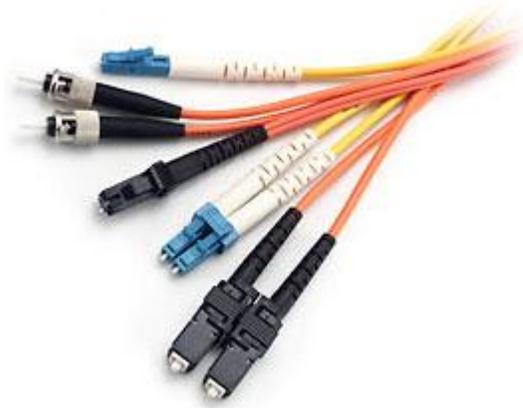
La fibra óptica utiliza el principio de reflexión total para frecuencias que van desde  $10^{14}$  hasta  $10^{15}$  Hz, cubriendo parte del espectro visible e infrarrojo.



© www.techoptics.com

Si un rayo de luz atraviesa dos medios con índices de refracción distintos, en dirección al que es menor, se refracta en la superficie al pasar por el segundo medio. Si se varía el ángulo de entrada, llega un punto en que se anula este fenómeno (ángulo crítico) y se refleja completamente dentro del primer medio, por lo que se denomina reflexión total interna. Las pérdidas de luz en una fibra óptica pueden ser causadas por:

- Curvatura: Se debe al cambio de ángulo.
- Conexión y empalme: Existen dos tipos de empalmes, mecánico y por fusión, cuando se fusionan puede existir desalineación de los núcleos.
- Fabricación: Se presentan por impurezas del núcleo propias del material o falta de calidad en los procesos de elaboración de las fibras.



©www.bug-si.com

## ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE

Averigua cuáles son las especificaciones de una red cableada con fibra óptica.

## AUTOEVALUACIÓN

*Selecciona la respuesta correcta:*

1. ¿Quién comprobó la existencia de ondas electromagnéticas?

- a) James Clerk Maxwell
- b) Heinrich Hertz
- c) Guglielmo Marconi
- d) Oliver Heaviside

2. Es un tipo de línea de transmisión plana:

- a) Coaxial
- b) Dos alambres
- c) Microcinta
- d) Par trenzado

3. Es un parámetro de una antena receptora:

- a) Adaptación
- b) Impedancia
- c) Ancho de banda
- d) Polarización

4. Es un tipo de antena alambrada:

- a) De cuadro
- b) Parabólica
- c) De bocina
- d) Remota

5. Es un parámetro de una línea de transmisión:

- a) Circuito generador
- b) Circuito de carga

- c) Patrón
- d) Inductancia

*Completa las siguientes frases:*

6. La energía electromagnética es conducida de un punto a otro mediante:
7. Las antenas son dispositivos que se utilizan para:
8. La expresión  $\gamma = \alpha + j\beta$  recibe el nombre de:
9. El campo total que produce un arreglo de antenas se obtiene mediante:
10. Un ferrofluido está constituido por:

## RESPUESTAS

1. b
2. b
3. a
4. a
5. d
6. Líneas de transmisión.
7. Enviar o recibir ondas electromagnéticas.
8. Constante de propagación.
9. La suma vectorial de todos los campos que conforman el arreglo.
10. Partículas de tipo ferromagnético suspendidas en un líquido que puede ser agua o aceite, con características coloidales.

## BIBLIOGRAFÍA

Braun, Eliezer, *Electromagnetismo: de la ciencia a la tecnología*, Colección “La ciencia para todos”, No. 112, México, Fondo de cultura económica, 2003.

Doran, Chris, *Geometric algebra for physicists*, Great Britain, Cambridge University Press, 2003.

Giancoli, Douglas, *Física para ciencias e ingeniería: con física moderna*, Vol. 2, México, Pearson Prentice Hall, 2009.

Hacyan, Shahen, *Relatividad especial para estudiantes de física*, México, Fondo de cultura económica, 1995.

Kraus, John, *Electromagnetismo con aplicaciones*, México, McGraw-Hill, 1999.

Landau, Lev, *The classical theory of fields*, Vol. 2, USA, Butterworth-Heinemann, 1980.

Marsden, Jerrold, *Cálculo vectorial*, USA, Pearson Addison-Wesley, 2004.

Moore, Thomas, *Física. Seis ideas fundamentales*, Tomo 2, McGraw-Hill, México, 2005.

Penrose, Roger, *El camino a la realidad*, México, Debate, 2007.

Sadiku, Matthew, *Elementos de electromagnetismo*, México, Alfaomega, 2006.

Sears, Francis, *Física universitaria con física moderna*, Vol. 2, Pearson Addison-Wesley, 2009.

Serway, Raymond, *Física. Electricidad y magnetismo*, México, Cengage Learning, 2009.

Spiegel, Murray, *Análisis vectorial*, México, McGraw-Hill, 1991.

Ulaby, Fawwaz, *Fundamentos de aplicaciones en electromagnetismo*, México, Pearson Prentice Hall, 2007.

Zill, Dennis, *Matemáticas avanzadas para ingeniería*, Vol. 2, México, McGraw-Hill, México, 2008.

## GLOSARIO

Espacio-tiempo: Entidad de cuatro dimensiones, tres espaciales y una temporal.

Fuerza: Cualquier acción que puede modificar el estado de reposo o movimiento de un objeto.

Mecánica cuántica: Se basa en el principio de incertidumbre, el cual asegura que no es posible conocer al mismo tiempo la velocidad y la posición de una partícula.

Número complejo: Son números de dos dimensiones, una real y otra denominada imaginaria.

Onda: Perturbación que se desplaza a través de un medio.

Teorema: Es una afirmación que se demuestra como verdadera.

Teoría de la relatividad: Considera curvaturas en el espacio debidas a la gravedad.