UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

**APUNTES DE**

**ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO**

**ARTURO REYES ESPINOZA**

**CATEDRATICO**

**ENERO DEL 2011**

M.C Arturo Reyes Espinoza

1

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

**INDICE**

**UNIDAD I**

**1.1. Introducción**

**1.2. Sistema de unidades**

1.3. Carga eléctrica y sus propiedades

1.4. Ley de Gauss

**1.5. Ley de Coulomb**

**1.6. Campo eléctrico**

**UNIDAD II**

**POTENCIAL ELECTRICO**

[2.1. Introduccion.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem2_2_.htm)

[2.2. Definiciones.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem2_2_.htm)

2.3. Calculo del Potencial Eléctrico en Diferentes Configuraciones.

2

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

**UNIDAD III**

**CAPACITANCIA**

[3.1. Introducción.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem3_1_.htm)

[3.2. Definición.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem3_2_.htm)

[3.3. Calculo de la Capacitancia en Diferentes Configuraciones.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem3_3_.htm)

**UNIDAD IV**

**ELECTRODINAMICA**

[4.1. Introducción.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem4_1_.htm)

[4.2. Definiciónes.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem4_2_.htm)

[4.3. Ley de OHM.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem4_3_.htm)

[4.4. Potencial Eléctrica.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem4_4_.htm)

[4.5. Ley de JOULE.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem4_5_.htm)

[4.6. Leyes de KIRCHHOFF.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem4_6_.htm)

**UNIDAD V**

**ELECTROMAGNETISMO**

[5.1. Introducción.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem5_1_.htm)

[5.2. Definición del Campo Magnético.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem5_2_.htm)

[5.3. Ley de BIOT-SAVART.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem5_3_.htm)

[5.4. Fuerza Magnética entre Conductores.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem5_4_.htm)

[5.5. Leyes de Circuitos Magnéticos.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem5_5_.htm)

[5.6. Propiedades de los Materiales Magnéticos.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem5_6_.htm)

[5.7. Leyes de FARDAY, LENZ y de AMPERE .](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem5_7_.htm)

**UNIDAD VI**

**INDUCTANCIA**

M.C Arturo Reyes Espinoza

3

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

[6.1. Definición de Inductancia.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem6_1_.htm)

[6.2. Calculo de la Inductancia.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem6_2_.htm)

[6.3. Energía Asociada al Campo Magnético.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem6_3_.htm)

[6.4. Densidad de Energía Magnética.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem6_4_.htm)

[6.5. Inductancia Mutua.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem6_5_.htm)

BIBLIOGRAFIA

Física,

Serway,

Mc Graw-Hill,

Tercera Edición,

Tomo II.

Física, Conceptos y aplicaciones,

Tippens,

Mc Graw-Hill,

Tercera Edición.

Física con aplicaciones,

Wilson

Mc Graw-Hill,

Segunda Edición.

Física,

Paul A. Tipler,

Edit. Reverté, S. A.

Física General,

Sears/Zemansky,

Addison Wesley

M.C Arturo Reyes Espinoza

4



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

**1.1. Introducción**

La palabra estática significa ?en reposo? y la electricidad puede

encontrarse en reposo. Cuando se frotan ciertos materiales entre

sí, la fricción causa una transferencia de electrones de un material

al otro. Un material puede perder electrones en tanto otro los

ganará. Alrededor de cada uno de estos materiales existirá un

campo electrostático y un diferencia de potencial, entre los

materiales de diferentes cargas. Un material que gana electrones

se carga negativamente, y uno que entrega electrones se carga

positivamente.

Una de las leyes básicas de la electricidad es :

Los cuerpos con cargas diferentes se atraen.

Los cuerpos con cargas semejantes se repelen.

El campo eléctrico invisible de fuerza que existe alrededor de un

cuerpo cargado, puede detectarse con un electroscopio.

Por lo tanto llamaremos electricidad al movimiento de electrones.

**Electrostática**. Estudio de la electricidad en reposo.

M.C Arturo Reyes Espinoza

5

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

**Ionización**. La capacidad de desprender un electrón. Cargas

iguales se repelen. Cargar es ionizar.

**1.2. Sistema de unidades**

Hay dos grandes sistemas de unidades en el mundo actualmente : el

sistema inglés y el sistema métrico.

**El sistema métrico.**

La necesidad de contar con un sistema más uniforme y adecuado de

unidades condujo al desarrollo del sistema métrico, que se emplea

hoy en la mayor parte de los países del mundo.

El metro fue asignado a la unidad de longitud. Ese vocablo se tomó

de la palabra griega metron, que significa ?medida?. El metro se

definió inicialmente como la diezmillonésima parte de la distancia

entre el Polo Norte y el Ecuador a lo largo de un meridiano que

pasaba por Francia.

Tabla 1.1. Prefijos del sitema métrico

M.C Arturo Reyes Espinoza

6

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

La unidad de carga en el SI de unidades es el coulomb (C). El

coulomb se define en términos de la unidad de corriente llamada

ampere (A), donde la corriente es igual a la rapidez de flujo de

carga.

En el sistema métrico, una unidad de la intensidad del campo

eléctrico es el newton por coulomb (N/C). La utilidad de esta

definición descansa en el hecho de que si se conoce el campo en un

punto dado, puede predecirse la fuerza que actuará sobre cualquier

carga colocada en dicho punto.

La dirección (y sentido) de la intensidad del campo eléctrico E en un

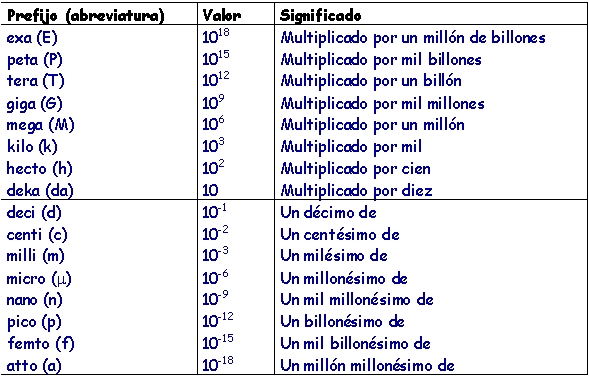
punto del espacio, es la misma que la dirección (y sentido) en la cual

una carga positiva se movería si fuera colocada en dicho punto.

1.3. Carga eléctrica y sus propiedades

M.C Arturo Reyes Espinoza

7



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

Es posible llevar a cabo cierto número de experimentos para

demostrat la existencia de fuerzas y cargas eléctricas. Por ejemplo,

si frotamos un peine contra nuestro pelo, se observará que aquél

atraerá pedacitos de papel. A menudo la fuerza de atracción es lo

suficientemente fuerte como para mantener suspendidos los

pedacitos de papel. El mismo efecto ocurre al frotar otros

materiales, tales como vidrio o el caucho.

En una sucesión sistemática de experimentos un tanto simples, se

encuentra que existen dos tipos de cargas eléctricas a las cuales

Benjamin Franklin les dio el nombre de positiva y negativa.

Para demostrar este hecho, considérese que se frota una barra

dura de caucho contra una piel y a continuación se suspende de un

hilo no metálico, como se muestra en la fig. 1.1. Cuando una barra

de vidrio frotada con una tela de seda se acerca a la barra de

caucho, ésta será atraída hacia la barra de vidrio. Por otro lado, si

dos barras de caucho cargadas (o bien dos barras de vidrio

cargadas) se aproximan una a la otra, como se muestra en figura

1.1.b., la fuerza entre ellas será de repulsión. Esta observación

demuestra que el caucho y el vidrio se encuentran en dos estados

de electrificación diferentes. Con base en estas observaciones,

podemos concluir que cargas iguales se repelen y cargas diferentes

se atraen.

M.C Arturo Reyes Espinoza

8

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

Figura 1.1. a). La barra de caucho cargada negativamente,

suspendida por un hilo, es atraída hacia la barra de vidrio cargada

positivamente. b). La barra de caucho cargada negativamente es

repelida por otra barra de caucho cargada negativamente.

Otro aspecto importante del modelo de Franklin de la electricidad

es la implicación de que la carga eléctrica siempre se

conserva. Esto es, cuando se frota un cuerpo contra otro no se

crea carga en el proceso. El estado de electrificación se debe a la

transferencia de carga de un cuerpo a otro. Por lo tanto, un cuerpo

gana cierta cantidad de carga negativa mientras que el otro gana la

misma cantidad de carga positiva.

En 1909, Robert Millikan (1886-1953) demostró que la carga

eléctrica siempre se presenta como algún múltiplo entero de alguna

unidad fundamental de carga e. En términos modernos, se dice que

la carga q está cuantizada. Esto es, la carga eléctrica existe como

paquetes discretos. Entonces, podemos escribir q=Ne, Donde N es

algún entero. Otros experimentos en el mismo periodo

demostraron que el electrón tiene una carga de -e y que el protón

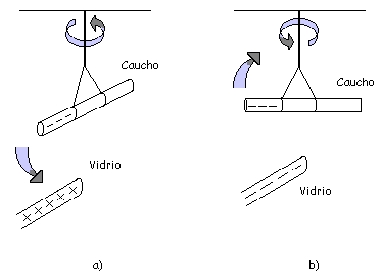
una carga igual y opuesta de +e. Algunas partículas elementales,

como el neutrón, no tienen carga. Un átomo neutro debe contener

el mismo número de protones que electrones.

M.C Arturo Reyes Espinoza

9



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

Las fuerzas eléctricas entre objetos cargados fueron medidas por

Coulomb utilizando la balanza de torsión, diseñada por él. Por medio

de este aparato, Coulomb confirmó que la fuerza eléctrica entre

dos pequeñas esferas cargadas es proporcional al inverso del

cuadrado de la distancia que las separa, es decir, F 1/r².

El principio de operación de la balanza de torsión es el mismo que el

del aparato usado por Cavendish para medir la constate de

gravitación, remplazando masas por esferas cargadas. La fuerza

eléctrica entre las esferas cargadas produce una torsión en la fibra

de suspensión. Como el momento de una fuerza de restitución de la

fibra es proporcional al ángulo que describe al girar, una medida de

este ángulo proporciona una medida cuantitativa de la fuerza

eléctrica de atracción o repulsión. Si las esferas se cargan por

frotamiento, la fuerza eléctrica entre las esferas es muy grande

comparada con la atracción gravitacional; por lo que se desprecia la

fuerza gravitacional.

Por lo tanto, se concluye que la carga eléctrica tiene las

importantes propiedades siguientes :

1. Existen dos clases de cargas en la naturaleza, con la propiedad

de que cargas diferentes se atraen y cargas iguales se repelen.

2. La fuerza entre cargas varía con el inverso del cuadrado de la

distancia que las separa.

3. La carga se conserva.

4. La carga está cuantizada.

1.4. Ley de Gauss

M.C Arturo Reyes Espinoza

10



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

**Flujo eléctrico**. Es la medida del número de líneas de campo que

atraviesan cierta superficie. Cuando la superficie que está siendo

atravesada encierra alguna carga neta, el número total de líneas

que pasan a través de tal superficie es proporcional a la carga neta

que está en el interior de ella. El número de líneas que se cuenten

es independiente de la forma de la superficie que encierre a la

carga. Esencialmente, éste es un enunciado de la ley de Gauss.

La relación general entre el flujo eléctrico neto a través de una

superficie cerrada (conocida también como superficie gaussiana) y

la carga neta encerrada por esa superficie, es conocida como ley de

Gauss, es de fundamental importancia en el estudio de los campos

eléctricos.

La ley de Gauss establece que el flujo eléctrico neto a través de

cualquier superficie gaussiana cerrada es igual a la carga neta que

se encuentra dentro de ella, dividida por E0.

La selección de Eo como la constante de proporcionalidad ha dado

por resultado que el número total de líneas que cruzan normalmente

a través de una superficie cerrada de Gauss es numéricamente

igual a la carga contenida dentro de la misma.

Ejemplo 1.1.

Calcule la intensidad del campo eléctrico a una distancia r de una

placa infinita de carga positiva, como se muesta en la figura 1.2.

M.C Arturo Reyes Espinoza

11

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

Fig.1.2. Cálculo del campo fuera de una lámina o placa delgada

cargada positivamente

**Solucion.**

La resolución de problemas en donde se aplica la ley de Gauss suele

requerir la construcción de una superficie imaginaria de forma

geométrica simple, por ejemplo, una esfera o un cilindro. A estas

superficies se les llama superficies gaussianas. En este ejemplo, se

imagina una superficie cilindrica cerrada que penetra en la placa de

carga positiva de tal modo que se proyecta a una distancia r sobre

cada lado de la placa delgada. El área A en cada extremo del

cilindro es la misma que el área corta sobre la placa de carga. Por

tanto, la carga total contenida dentro del cilindro es

donde ð representa la densidad superficial de carga. Debido a la

simetría, la intensidad del campo E resultante debe estar dirigida

perpendicularmente a la placa de carga en cualquier punto cerca de

la misma. Esto significa que las líneas del campo no penetrarán la

superficie lateral del cilindro, y los dos extremos de área A

representarán el área total por las que penetran las líneas del

campo. De la ley de Gauss,

M.C Arturo Reyes Espinoza

12



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

Nótese que la intensidad del campo E es independiente de la

distancia r de la placa. Antes de que se suponga que el ejemplo de

una placa infinita de carga es impráctico, debe señalarse que el

sentido práctico, ?infinito? implica solamente que las dimensiones

de la placa están más allá del punto de interacción eléctrica

**1.5. Ley de Coulomb**

En 1785, Coulomb estableció la ley fundamental de la fuerza

eléctrica entre dos partículas cargadas estacionarias. Los

experimentos muestran que la fuerza eléctrica tiene las siguientes

propiedades :

La fuerza es inversamente proporcional al inverso del cuadrado de

la distancia de separación r entre las dos partículas, medida a lo

largo de la línea recta que las une.

La fuerza es proporcional al producto de las cargas q1 y q2 de las

dos partículas.

La fuerza es atractiva si las cargas son de signos opuestos, y

repulsiva si las cargas son del mismo signo. A partir de estas

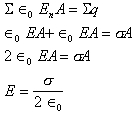
observaciones podemos expresar la fuerza eléctrica entre las dos

cargas como:

Ley de Coulomb de las fuerzas electrostáticas :

M.C Arturo Reyes Espinoza

13



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

F = k |q1| |q2|

r²

donde k es una constante conocida como constante de Coulomb. En

sus experimentos, Coulomb, pudo demostrar que el exponente de r

era 2, con sólo un pequeño porcentaje de incertidumbre. Los

experimentos modernos han demostrado que esl exponente es 2 con

un presión de algunas partes en 109.

La constante de coulomb k en el SI de unidades tiene un valor de :

La ley de Newton predice la fuerza mutua que existe entre dos

masas separadas por una distancia r; la ley de Coulomb trata con la

fuerza electrostática. Al aplicar estas leyes se encuentra que es

útil desarrollar ciertas propiedades del espacio que rodea a las

masas o a las cargas.

Ejemplo 1.2. el átomo de hidrógeno.

El electrón y el protón de un átomo de hidrógeno están separados

en promedio por una distancia aproximada de

3.5X10¯¹¹m. Calcúlese la magnitud de la fuerza eléctrica y de la

fuerza gravitacional entre las dos partículas.

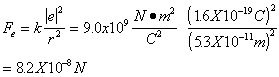
**Solución.**

De la ley de Coulomb, podemos determinar que la fuerza de

atracción eléctrica tiene una magnitud de

M.C Arturo Reyes Espinoza

14



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

Usando la ley de la gravitación universal de Newton y la tabla 1.2

encontramos que la fuerza gravitacional tiene una magnitud de

La razón

por lo tanto, la fuerza gravitacional entre

partículas atómicas es despreciable comparada con la fuerza

eléctrica entre ellas.

Tabla 1.2. Carga y masa del electrón, protón y neutrón.

**1.6. Campo eléctrico**

**Definición de campo eléctrico**

Tanto la fuerza eléctrica como la gravitacional son ejemplos de

fuerza de acción a distancia que resultan extremadamente difíciles

de visualizar. A fin de resolver este hecho, los físicos de antaño

postularon la existencia de un material invisible llamado éter, que

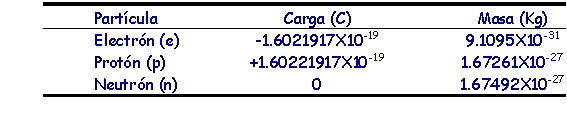
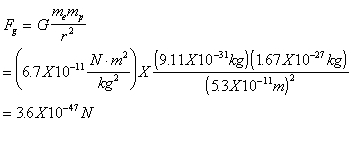
se suponía llenaba todo el espacio.

De este modo ellos podían explicarse la fuerza de atracción

gravitacional, que rodea todas las masas. Un campo de este tipo

M.C Arturo Reyes Espinoza

15



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

puede decirse que existe en cualquier región del espacio donde una

masa testigo o de prueba experimentará una fuerza

gravitacional. La intensidad del campo en cualquier punto sería

proporcional a la fuerza que experimenta cierta masa dada en dicho

punto. Por ejemplo, en cualquier punto cercano a la Tierra, el campo

gravitacional podría representarse cuantitativamente por :

g = F/m

donde :

g = aceleración gravitacional debida a la fuerza de gravedad

F = fuerza gravitacional

m = masa testigo o de prueba

El concepto de un campo también puede aplicarse a objetos

cargados eléctricamente. El espacio que rodea un objeto cargado

se altera por la presencia de un campo eléctrico en ese espacio.

Se dice que un campo eléctrico existe en una región del espacio en

la que una carga eléctrica experimente una fuerza eléctrica.

Esta definición suministra una prueba para la existencia de un

campo eléctrico. Simplemente se coloca una carga en el punto en

cuestión. Si se observa una fuerza eléctrica, en ese punto existe

un campo eléctrico.

De la misma manera que la fuerza por unidad de masa proporciona

una definición cuantitativa de un campo gravitacional, la intensidad

de un campo eléctrico puede representarse mediante la fuerza por

unidad de carga. Se define la intensidad del campo eléctrico E en

un punto en términos de la fuerza F experimentada por una carga

positiva pequeña +q cuando se coloca en dicho punto. La magnitud

de la intensidad del campo eléctrico es dada por :

M.C Arturo Reyes Espinoza

16

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

E= F

q

**Líneas de campo eléctrico.**

Una ayuda conveniente para visualizar los patrones del campo

eléctrico es trazar líneas en la misma dirección que el vector de

campo eléctrico en varios puntos. Estas líneas se conocen como

líneas del campo eléctrico y están relacionadas con el campo

eléctrico en alguna región del espacio de la siguiente manera :

El vector campo eléctrico E es tangente a la línea de campo

eléctrico en cada punto.

El número de líneas por unidad de área que pasan por una superficie

perpendicular a las líneas de campo es proporcional a la magnitud

del campo eléctrico en esa región. En consecuencia, E es grande

cuando las líneas están muy próximas entre sí, y es pequeño cuando

están separadas.

Estas propiedades se ven en la figura 1.3. La densidad de líneas a

través de la superficie A es mayor que la densidad de líneas a

través de la superficié B. Por lo tanto, el campo eléctrico es más

intenso en la superficie A que en la superficié B. Además, el campo

que se observa en la figura no es uniforme ya que las líneas en

ubicaciones diferentes apuntan hacia direcciones diferentes.

M.C Arturo Reyes Espinoza

17

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

Figura 1.3. Líneas de campo eléctrico que penetran dos

superficies. La magnitud del campo es mayor en la superficie A que

en la B.

Algunas líneas representativas del campo eléctrico para una

partícula puntual positiva se aprecian en la figura 1.4a. Obsérvese

que en los dibujos bidimensionales sólo se muestran las líneas del

campo que están en el plano que contiene a la carga. Las líneas están

dirigidas radialmente hacia afuera de la carga en todas

direcciones. Dado que la carga de prueba es positiva, al ser

colocada en este campo, sería repelida por la carga q, por lo que las

líneas están radialmente dirigidas hacia afuera desde la carga

positiva. En forma similar, las líneas de campo eléctrico de una

carga negativa puntual están dirigidas hacia la carga (Figura

1.4b). En cualquiera de los casos las líneas siguen la dirección radial

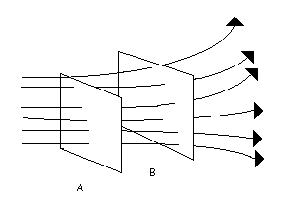
y se prolongan al infinito. Nótese que las líneas se juntan más

cuando están más cerca de la carga, lo cual inidca que la intensidad

del campo se incrementa al acercarse a la carga.

M.C Arturo Reyes Espinoza

18



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

Figura 1.4.

Las reglas para trazar las líneas de campo eléctrico de cualquier

distribución de carga son las siguientes :

1. Las líneas deben partir de cargas positivas y terminar en las

cargas negativas, o bien en el infinito en el caso de un exceso de

carga.

2. El número de líneas que partan dela carga positiva o lleguen a la

negativa es proporcional a la magnitud de la carga.

3. Dos líneas de campo no puede cruzarse.

**Ejemplo 1.3. Campo eléctrico debido a dos cargas.**

La carga q1=7µ C está colocada en el origen y una segunda carga

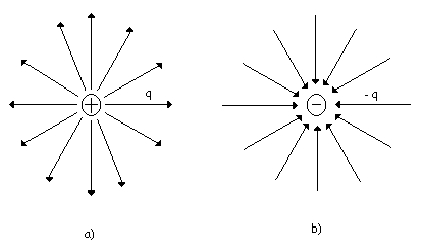
q2=-5µ C está colocada sobre el eje x a 0.3m del origen (Fig.

1.5). Determine el campo eléctrico en un punto P con coordenadas

(0,0.4)m.

M.C Arturo Reyes Espinoza

19



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

Figura 1.5. El campo eléctrico total E en P es igual la suma vectorial

E1+E2, donde E1es el campo debido a la carga positiva q1 y E2 es el

campo debido a la carga negativa q2.

**Solución.**

Primero, encontremos las magnitudes de los campos eléctricos

debidos a cada una de las cargas. El campo eléctrico E1 debidoa la

carga de 7 µ C y el campo eléctrico E2 debido a la carga de -5µ C en

el punto P se muestran en la fig. 1.5. Sus magnitudes están dadas

por

El vector E1 sólo tiene componente y. El vector E2 tiene una

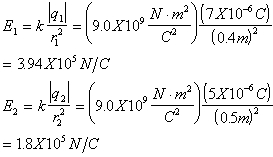
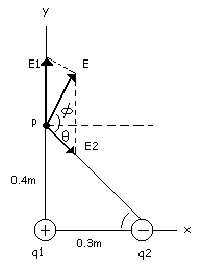
componente x dada por E2 cos Ø = 3/5 E2 y una componente y

negativa dada por -E2 sen Ø = -4/5 E2. Por lo tanto, los vectores

se pueden expresar como

M.C Arturo Reyes Espinoza

20



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

El campo resultante E en P es la superposición de E1 y E2 :

De este resultado, podemos encontrar que E tiene una magnitud de

y hace un ángulo Ø de 66° con el eje positivo de las x.

M.C Arturo Reyes Espinoza

21



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

**UNIDAD II**

**POTENCIAL**

**ELECTRICO**

[2.1. Introduccion.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem2_2_.htm)

[2.2. Definiciones.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem2_2_.htm)

[2.3. Calculo del Potencial Eléctrico en Diferentes Configuraciones.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem2_3_.htm)

**2.2. Definiciones**

**Energía de potencial eléctrico.**

La eneregía de potencial del sistema es igual al trabajo realizado en

contra de las fuerzas eléctricas al mover la carga +q desde el

infinito a ese punto.

V = kQq?

r

**Potencial.**

El potencial V en un punto a una distancia r de una carga Q es igual

al trabajo por unidad de carga realizado en contra de las fuerzas

eléctricas al traer una carga +q desde el infinito a dicho punto.

En otras palabras, el potencial en algún punto A, como se muestra a

continuación, es igual a la energía potencial por unidad de

carga. Las unidades del potencial se expresan en joules por

M.C Arturo Reyes Espinoza

22



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

coulomb, y se define como volt (V).

V = kQ

r

**Diferencia de potencial.**

La diferencia de potencial entre dos puntos es el trabajo por

unidad de carga positiva realizado por fuerzas eléctricas para

mover una pequeña carga de prueba desde el punto de mayor

potencial hasta el punto de menor potencial.

VAB = VA - VB

**Volt.**

Como la diferencia de potencial es una medida de la energía por

unidad de carga, las unidades del potencial en el SI son joules por

coulomb, la cual se define como una unidad llamada volt (V) :

1V = 1J

C

Es decir se debe realizar 1J de trabajo para llevar a carga de 1C a

través de una diferencia de potencial de 1 V.

**Electrón-Volt.**

M.C Arturo Reyes Espinoza

23



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

Es una unidad de energía equivalente a la energía adquirida por un

electrón, que se acelera a través de una diferencia de potencial de

un volt.

**2.3.Cálculo del potencial eléctrico**

**en diferentes configuraciones**

**Potencial eléctrico y energía potencial debido a cargas**

**puntuales.**

Ejemplo 1. Potencial debido a dos cargas puntuales.

Una carga puntual de 5µ C se coloca en el origen y una segunda

carga puntual de -2µ C se localiza sobre el eje x en la posición

(3,0)m, como en la figura 2.1. a) si se toma como potencial cero en

el infinito, determine el potencial eléctrico total debido a estas

cargas en el punto P, cuyas coordenadas son (0,4)m.

M.C Arturo Reyes Espinoza

24



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

Fig. 2.1. El potencial eléctrico en el punto P debido a las dos cargas

puntuales q1 y q2 es la suma algebraica de los potenciales debidos a

cada carga individual.

**Potencial eléctrico debido a una distribución de carga**

**continua.**

Ejemplo 2. Potencial debido a un anillo uniformemente cargado.

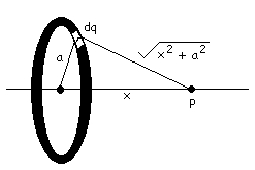
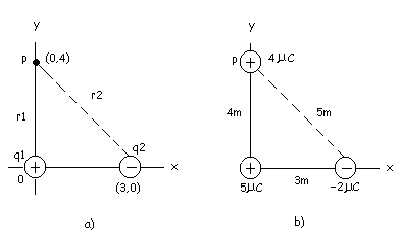
Encuentre el potencial eléctrico en un punto P localizado sobre el

eje de un anillo uniformemente cargado de rado a y carta total

Q. El plano del anillo se elije perpendicular al eje x. (Figura 2.2.)

M.C Arturo Reyes Espinoza

25



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

Fig. 2.2. Un anillo uniformemente cargado de radio a, cuyo plano es

perpendicular al eje x. Todos los segmentos del anillo están a la

misma distancia del punto axial P.

Considere que el punto P está a una distancia x del centro del anillo,

como en la figura 2.2. El elemento de carga dq está a una

distancia

del punto P. Por lo tanto, se puede expresar V

como

En este caso, cada elemento dq está a la misma distancia del punto

P. Por lo que el término

puede sacarse de la integral y V se

reduce a

En esta expresión V sólo varía con x. Esto no es de extrañarse, ya

que nuestro cálculo sólo es valido para puntos sobre el eje x, donde

"y" y "z" son cero. De la simetría de la situación, se ve que a lo

largo del eje x, E sólo puede tener componente en x. Por lo tanto,

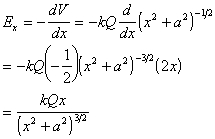
podemos utilizar la expresión Ex=-dV/dx.

Este resultado es igual al obtenido por integración directa. Note

que Ex=0 (el centro del anillo).

M.C Arturo Reyes Espinoza

26



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

**UNIDAD III**

**CAPACITANCIA**

[3.1. Introducción.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem3_1_.htm)

[3.2. Definición.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem3_2_.htm)

[3.3. Calculo de la Capacitancia en Diferentes Configuraciones.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem3_3_.htm)

**3.1. Introducción**

Además de los resistores, los capacitores y los inductores son

otros dos elementos importantes que se encuentran en los circuitos

eléctricos y electrónicos. Estos dispositivos, son conocidos como

elementos pasivos. Solo son capaces de absorver energía eléctrica.

A diferencia de un resistor que dicipa energía, los capacitores y los

inductores, la almacenan y la regresan al circuito al que están

conectados.

Como elementos activos en circuitos electrónicos tenemos a los

dispositivos semiconductores (diodos, transistores, circuitos

integrados, microprocesadores, memorias, etc).

**Capacitor :**

**Construcción** : Un capacitor se compone básicamente de 2 placas

conductoras paralelas, separadas por un aislante denominado

dieléctrico.

**Limitaciones a la carga de un conductor**

M.C Arturo Reyes Espinoza

27



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

Puede decirse que el incremento en potencial V es directamente

proporcional a la carga Q colocada en el conductor. Por

consiguiente, la razón de la cantidad de carga Q al potencial V

producido, será una constante para un conductor dado, Esta razón

refleja la capacidad del conductor para almacenar carga y se llama

capacidad C.

C=Q

V

La unidad de capacitancia es el coulomb por volt o farad (F). Por

tanto, si un conductor tiene una capacitancia de un farad, una

transferencia de carga de un coulomb al conductor elevará su

potencial en un volt.

Cualquier conductor tiene una capacitancia C para almacenar

carga. La cantidad de carga que puede colocarse en un conductor

está limitada por la rigidez dieléctrica del medio circundante.

**Rigidez dieléctrica**

Es la intensidad del campo eléctrico para el cual el material deja de

ser un aislador para convertirse en un material conductor.

Hay un limite para la intensidad del campo que puede exister en un

conductor sin que se ionice el aire circundante. Cuando ello ocurre,

el aire se convierte en un conductor.

El valor límite de la intensidad del campo eléctrico en el cual un

material pierde su propiedad aisladora, se llama rigidez dieléctrica

del material.

M.C Arturo Reyes Espinoza

28



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

**3.2. Definición**

Consideremos dos conductores que tienen una diferencia de

potencial V entre ellos, y supongamos que los dos conductores

tienen cargas iguales y de signo opusto. Esto se puede lograr

conectando los dos conductores descargados a las terminales de

una batería. Una combinación de conductores así cargados es un

dispositivo conocido como condensador. Se encuentra que la

diferencia de potencial V es proporcional a la carga Q en el

condensador.

**Capacitancia.**

La capacitancia entre dos conductores que tienen cargas de igual

magnitud y de signo contrario es la razón de la magnitud de la carga

en uno u otro conductor con la diferencia de potencial resultante

entre ambos conductores.

C=Q

V

Obsérvese que por definición la capacitancia es siempre una

cantidad positiva. Además, como la diferencia de potencial

aumenta al aumentar la carga almacenada en el condensador, la

razón Q/V es una constante para un condensador dado. Por lo

tanto, la capacitancia de un dispositivo es la medida de su capacidad

de almacenar carga y energía potencial eléctrica.

Las unidades de la capacitancia en el SI son el Coulomb por Volt. La

unidad en el SI para la capacitancia es el faradio (F), en honor a

Michael Faraday.

M.C Arturo Reyes Espinoza

29



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

1 farad (F) = 1 coulomb (C)

1 volt (V)

**Rigidez dieléctrica, aire.**

La rigidez dieléctrica es aquel valor de E para el cual un material

dado deja de ser aislante para convertirse en conductor. Para el

aire este valor es :

**Constante dieléctrica.**

La constante diélectrica K para un material particular se define

como la razón de la capacitancia C de un capacitor con el material

entre sus placas a la capacitancia C0 en el vacío.

K= C

C0

**3.3. Calculo de la capacitancia en**

**diferentes configuraciones**

La capacitancia de un par de conductores cargados con cargas

opuestas puede ser calculada de la siguiente manera. Se supone una

carga de magnitud Q. Así entonces simplemente se utiliza C=Q/V

para evaluar la capacitancia. Como podría esperarse, el cálculo de

la capacitancia es relativamente fácil si la geometría del

condensador es simple.

**Condensador de placas paralelas.**

M.C Arturo Reyes Espinoza

30



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

Dos placas paralelas de igual área A están separadas una distancia

d como en la figura 3.1. Una placa tiene carga +Q, y la otra, carga -

Q.

Fig. 3.1. Un condensador de placas paralelas consta de dos placas

paralelas cada una de área A, separadas una distnaci d. Las placas

tienen cargas iguales y opuestas.

La carga por unidad de área en cada placa es ô = Q/A. Si las placas

están muy cercanas una de la otra, podemos despreciar los efectos

de los extremos y suponer que el campo eléctrico es uniforme entre

las placas y cero en cualquier otro lugar. El campo eléctrico entre

las placas esta dado por :

La diferencia de potencial entre las placas es igual a Ed ; por lo

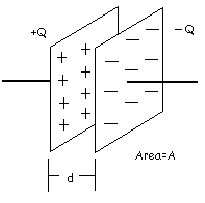
tanto,

Sustituyendo este resultado , encontramos que la capacitancia esta

dada por :

M.C Arturo Reyes Espinoza

31



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

Esto significa que la capacitancia de un condensador de placas

paralelas es proporcional al área de éstas e inversamente

proporcional a la separación entre ellas.

Ejemplo 3.1. Condensador de placas paralelas.

Un condensador de placas paralelas tiene un ára

A=2cm²=2X10¯4m² y una separación entre las placas d=1mm =

10¯³m. Encuentre su capacitancia.

**Solución:**

**Capacitores en Serie y Paralelo**

Con frecuencia los circuitos eléctricos contienen dos o más

capacitores agrupados entre sí. Al considerar el efecto de tal

agrupamiento conviene recurrir al diagrama del circuito, en el cual

los dispositivos eléctricos se representan por símbolos. En la

figura 3.2. se definen los símbolos de cuatro capacitores de uso

común. El lado de mayor potencial de una batería se denota por una

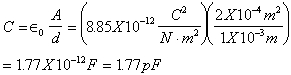
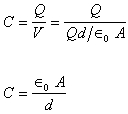
línea más larga. El lado de mayor potencial de un capacitor puede

representarse mediante una línea recta en tanto que la línea curva

representará el lado de menor potencial. Una flecha indica un

M.C Arturo Reyes Espinoza

32



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

capacitor variable. Una tierra es una conexión eléctrica entre el

alambrado de un aparato y su chasis metálico o cualquier otro

reservorio grande de cargas positivas y negativas.

Fig. 3.2. Definición de los simbolos que se usan con frecuencia con

capacitores.

Considérese primero el efecto de un grupo de capacitores

conectados a lo largo de una sola trayectoria, Una conexión de este

tipo, en donde la placa positiva de un capacitor se conecta a la placa

negativa de otro, se llama conexión en serie. La batería mantiene

una diferencia de potencial V entre la placa positiva C1 y la placa

negativa C3, con una transferencia de electrones de una a otra. La

carga no puede pasar entre las placas del capacitor ; en

consecuencia, toda la carga contenida dentro del paralelogramo

punteado, Fig. 3.3., es carga inducida. Por esta razón, la carga en

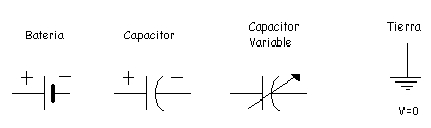
cada capacitor es idéntica. Se escribe :

Q=Q1=Q2=Q3

donde Q es la carga eficaz transferida por la batería.

M.C Arturo Reyes Espinoza

33



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

Fig. 3.3. Cálculo de la capacitancia equivalente de un grupo de

capacitores conectados en serie.

Los tres capacitores pueden reemplazarse por una capacitancia

equivalente C, sin que varíe el efecto externo. A continuación se

deduce una expresión que sirve para calcular la capacitancia

equivalente para esta conexión en serie. Puesto que la diferencia

de potencial entre A y B es independiente de la trayectoria, el

voltaje de la batería debe ser igual a la suma de las caídas de

potencial a través de cada capacitor.

V=V1+V2+V3

Si se recuerda que la capacitancia C se define por la razón Q/V, la

ecuación se convierte en

Para una conexión en serie, Q=Q1=Q2=Q3 así, que si se divide entre

la carga, se obtiene :

1 =1 + 1 + 1

Ce C1 C2 C3

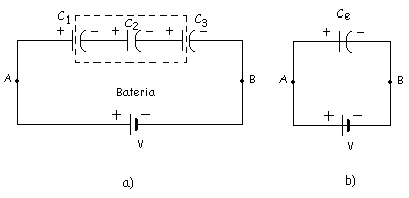
La capacitancia eficaz total para dos capacitores en serie es :

Ce = C1 C2

C1 + C2

M.C Arturo Reyes Espinoza

34



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

Ahora bien, considérese un grupo de capacitores conectados de tal

modo que la carga pueda distribuirse entre dos o más

conductores. Cuando varios capacitores están conectados

directamente a la misma fuente de potencial, como en la figura 3.4.,

se dice que ellos están conectados en paralelo.

Fig. 3.4. Capacitancia equivalente de un grupo de capacitores

conectados en paralelo

De la definición de capacitancia,, la carga en un capacitor conectado

en paralelo es :

Q1=C1V1

Q2=C22V2

Q3=C3V3

La carga total Q es igual a la suma de las cargas individuales

Q=Q1 =Q2+Q3

La capacitancia equivalente a todo el circuito es Q=CV, así que la

ecuación se transforma en

CV= C1V1 + C22V2 + C3V3

Para una conexión en paralelo,

V =V1=V2=V3

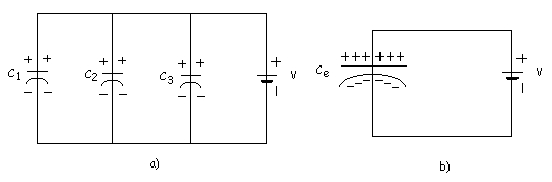
Ya que todos los capacitores están conectados a la misma

diferencia de potencial. Por tanto, al dividir ambos miembros de la

ecuación CV = C1V1 +C2V2 +C3V3 entre el voltaje se obtiene

M.C Arturo Reyes Espinoza

35



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

C = C1 +C2 +C3

Conexión en paralelo

Ejemplo 3.2.

a). Encuéntrese la capacitancia equivalente del circuito

mostrado en la fig. 3.5.

b). Determínese la carga en cada capacitor.

c). Cuál es la diferencia de potencial entre las placas del capacitor

de 4µF.

Fig. 3.5. Ejemplificación de un problema al sustituir sus valores

equivalentes de la capacitancia.

**Solucion a).**

Los capacitores de 4 y 2 ?F están conectados en serie ; su

capacitancia combinada se encuentra en la sig. ecuación.

Estos dos capacitores pueden reemplazarse por su equivalente,

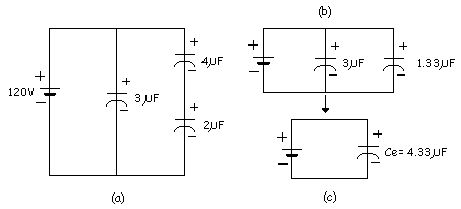
como se ve en la figura 3.5.b. Los dos capacitores restantes están

conectados en paralelo. Por tanto la capacitancia equivalente es

Ce = C3+C2,4 = 3µF + 1.33µF = 4.33µF

M.C Arturo Reyes Espinoza

36



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

**Solucion b).**

La carga total en la red es

Q = Ce V=(4.33µF)(120V) = 520µC

La carga Q3 en el capacitor de 3µF es Q3= C3V= (3µF)(120V) =

360µC

El resto de la carga, Q-Q3 = 520µC - 360µC = 160µC

debe amacenarse en los capacitores en serie. Por lo tanto, Q2 = Q4

= 160µC

**Solucion c).**

La caida de voltaje a través del capacitor de 4µF es

M.C Arturo Reyes Espinoza

37



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

**UNIDAD IV**

**ELECTRODINAMICA**

[4.1. Introducción.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem4_1_.htm)

[4.2. Definiciónes.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem4_2_.htm)

[4.3. Ley de OHM.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem4_3_.htm)

[4.4. Potencial Eléctrica.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem4_4_.htm)

[4.5. Ley de JOULE.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem4_5_.htm)

[4.6. Leyes de KIRCHHOFF.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem4_6_.htm)

**4.1. Introducción**

El término corriente eléctrica o simplemente corriente se utiliza

para describir la rapidez de flujo de la carga por alguna región del

espacio. La mayor parte de las aplicaciones prácticas de la

electricidad se refieren a las corrientes eléctricas. Por ejemplo, la

batería de una lámpara suministra corriente al filamento de la

bombilla (foco) cuando el interruptor se coloca en la posición de

encendido. Una gran variedad de aparatos domésticos funcionan

con corriente alterna. En estos casos comunes, el flujo de carga se

lleva a cabo en un conductor, como un alambre de cobre. Sin

embargo, es posible que existan corrientes fuera del

conductor. Por ejemplo, el haz de electrones en un cinescopio de

TV constituye una corriente.

M.C Arturo Reyes Espinoza

38



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

**4.2. Definiciónes**

**Corriente eléctrica**

Figura 4.1. Cargas en movimiento a través de un área A. La

dirección de la corriente es en la dirección en la cual fluirían las

cargas positiva.

Siempre que cargas eléctricas del mismo signo están en movimiento,

se dice que existe una corriente. Para definir la corriente con más

precisión, supongamos que las cargas se mueven

perpendicularmente a un área superficial A como en la figura

4.1. Por ejemplo, esta área podría ser la sección trasversal de un

alambre. La corriente es la rapidez con la cual fluye la carga a

través de esta superficie. Si Q es la cantidad de carga que pasa

a través de esta área en un tiempo t, la corriente promedio, Ip, es

igual a la razón de la carga en el intervalo de tiempo :

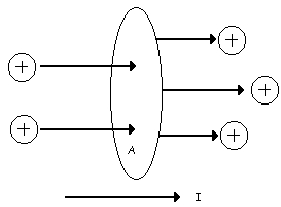
Ip =

t

Q

M.C Arturo Reyes Espinoza

39



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

Si la rapidez con que fluye la carga varía con el tiempo, la corriente

también varía en el tiempo y se define la corriente instantánea, I,

en el límite diferencial de la expresión anterior :

I = dQ

dt

La unidad de corriente en el SI es el ampere (A), donde : 1A = 1

C/s

Es decir, 1 A de corriente equivale a que 1 coulomb de carga que

pase a través de la superficie en 1 s. En la práctica con frecuencia

se utilizan unidades más pequeñas de corriente, tales como el

miliampere (1mA=10**¯**³A) y el microampere (1µA=10**¯6** A).

Cuando las cargas fluyen a través de la superficie en la figura 4.1,

pueden ser positivas, negativas o ambas. Por convención se escoge

la dirección de la corriente como la dirección en la cual fluyen las

cargas positivas. En un conductor como el cobre, la corriente se

debe al movimiento de los electrones cargados negativamente. Por

lo tanto, cuando hablamos de corriente en un conductor ordinario,

como el alambre de cobre, la dirección de la corriente será opuesta

a la dirección del flujo de electrones. Por otra lado, si uno

considera un haz de protones cargados positivamente en un

acelerador, la corriente está en la dirección del movimiento de los

protones. En algunos casos, la corriente es el resultado del flujo de

ambas cargas positiva y negativa. Esto ocurre, por ejemplo, en los

semiconductores y electrólitos. Es común referirse al movimiento

de cargas (positivas o negativas) como el movimiento de portadores

de carga. Por ejemplo, los portadores de carga en un metal son los

electrones.

**Resistencia**

M.C Arturo Reyes Espinoza

40



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

Es la oposición de un material al flujo de electrones. La resistencia

R del conductor esta dada por :

R= V

I

De este resultado se ve que la resistencia tiene unidades en el SI

de volts por ampere. Un volt por un ampere se define como un ohm

( ):

1 = 1 V/A

Es decir, si una diferencia de potencial de 1 volt a través de un

conductor produce una corriente de 1 A, la resistencia del

conductor es 1

. Por ejemplo, si un aparato eléctrico conectado a

120 V lleva corriente de 6 A, su resistencia es de 20

.

Las bandas de colores en un resistor representan un código que

representa el valor de la resistencia. Los primeros dos colores dan

los dos primeros dígitos del valor de la resistencia el tercer color

es el exponente en potencias de diez de multiplicar el valor de la

resistencia. El último color es la tolerancia del valor de la

resistencia. Por ejemplo, si los colores son naranja, azul, amarillo y

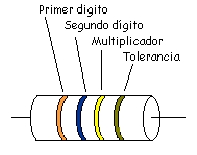
oro, el valor de la resistencia es 36X104 o bien 360K , con una

tolerancia de 18K

(5%). Figura. 4.2.

M.C Arturo Reyes Espinoza

41



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

4.2. Las bandas de colores en un resistor representan un código que

representa el valor de la resistencia.

**Código de colores para resistores.**

**Resistividad**

El inverso de la conductividad de un material se le llama

resistividad p :

p =1

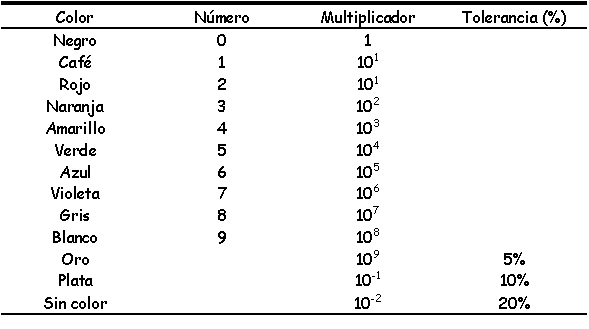
ô

**Resistividades y coeficientes de temperatura para varios**

**materiales.**

M.C Arturo Reyes Espinoza

42



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

**Densidad de corriente**

Considérese un conductor con área de sección trasversal A que

lleva una corriente I. La densidad de corriente J en el conductor

se define como la corriente por unidad de área. Como I = nqvdA, la

densidad de corriente está dada por :

J= I

A

donde J tiene unidades en el SI de A/m2. En general la densidad de

corriente es una cantidad vectorial. Esto es,

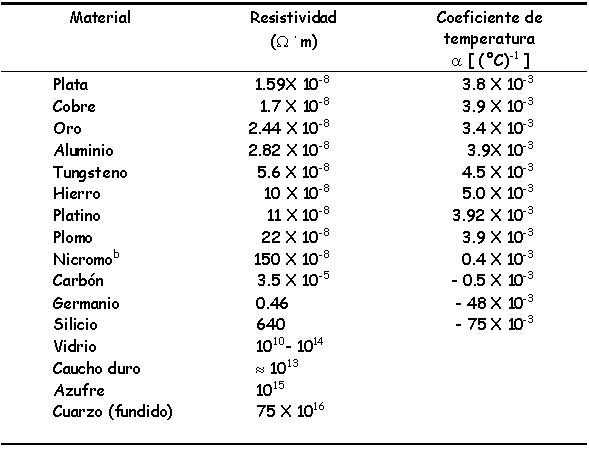
J= nqvd

Con base en la definición, se ve también que la densidad de

corriente está en la dirección del movimiento de las cargas para los

M.C Arturo Reyes Espinoza

43



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

portadores de cargas positivos y en dirección opuesta a la del

movimiento de los portadores de carga negativos.

Una densidad de corriente J y un campo eléctrico E se establecen

en un conductor cuando una diferencia de potencial se mantiene a

través del conductor. Si la diferencia de potencial es constante, la

corriente en el conductor será también constante.

Con mucha frecuencia, la densidad de corriente en un conductor es

proporcional al campo eléctrico en el conductor. Es decir,

J=ôE

**Conductividad**

Con mucha frecuencia, la densidad de corriente en un conductor es

proporcional al campo eléctrico en el conductor. Es decir,

J=ôE

donde la constante de proporcionalidad ô se llama la conductividad

del conductor. Los materiales cuyo comportamiento se ajustan a la

ecuación anterior se dice que siguen la ley de Ohm, su nombre se

puso en honor a George Simon Ohm.

**4.3. Ley de Ohm**

La ley de Ohm afirma que para muchos materiales (incluyendo la

mayor parte de los metales), la razón de la densidad de corriente al

campo eléctrico es una constante, ô, la cuales independiente del

campo eléctrico que produce la corriente.

Materiales que obedecen la ley de Ohm, y por tanto demuestran

este comportamiento lineal entre E y J, se dice que son ohmicos. El

comportamiento eléctrico de los muchos materiales es casi lineal

M.C Arturo Reyes Espinoza

44



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

con muy pequeños cambios en la corriente. Experimentalmente se

encuentra que no todos los materiales tienen esta

propiedad. Materiales que no obedecen la ley de Ohm se dicen ser

no ohmicos. La ley de Ohm no es una ley fundamental de la

naturaleza, sino una relación empírica válida sólo para ciertos

materiales.

Una forma de la ley de Ohm que se utiliza de modo más directo en

las aplicaciones prácticas puede ser obtenida al considerar un

segmento de un alambre recto de área en la sección trasversal A y

longitud l. Una diferencia de potencial Va - Vb mantenida a través

del alambre, crea un campo eléctrico en el alambre y una

corriente. Si se supone que el campo eléctrico en el alambre es

uniforme, la diferencia de potencial V = Va - Vb se relaciona con el

campo eléctrico a través de la relación :

V = El

El inverso de la conductividad de un material se le llama

resistividad p.

p = 1

ô

Fórmula para la resistencia R de un conductor

Formula para la aplicación de la Ley de Ohm.

I= V

R

Ejemplo 4.1. La resistencia de un conductor

Calcúlese la resistencia de una pieza de aluminio de 10cm. de

longitud que tiene un área de sección trasversal de 10**¯4** m².

M.C Arturo Reyes Espinoza

45



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

Repítase el cálculo para una pieza de vidrio de resistencia 10¹º

m.

.

**Solución**

Resistividad del aluminio = 2.82X10**¯8**

Resistividad del vidrio = 10¹º - 10**¯4**

La resistencia de la barra de aluminio es :

Del mismo modo, para el vidrio se encuentra que :

Como era de esperarse, el aluminio tiene una resistencia mucho

menor que el vidrio. Por esta razón el aluminio es buen conductor y

el vidrio es muy mal conductor.

Ejemplo 4.2.

La diferencia de potencial entre las terminales de un calentador

eléctrico es de 80V. Cuando la corriente es de 6 Amperios. Cual

será la corriente si el voltaje se incrementa a 120V.

V1 =80V.

I1= 6A.

V2 =120V

I2 = ?

**Solución**

M.C Arturo Reyes Espinoza

46



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

**4.4. Potencia Eléctrica**

Si una batería se utiliza para establecer una corriente eléctrica en

un conductor, existe una transformación continua de energía

química almacenada en la batería a energía cinética de los

portadores de carga. Esta energía cinética se pierde rápido como

resultado de las colisiones de los portadores de carga con el

arreglo de iones, ocasionando un aumento en la temperatura del

conductor. Por lo tanto, se ve que la energía química almacenada en

la batería es continuamente transformada en energía térmica.

Considérese un circuito simple que consista de una batería cuyas

terminales estén conectadas a una resistencia R, como en la figura

4.3. La terminal positiva de la batería está al mayor

potencial. Ahora imagínese que se sigue una cantidad de carga

positiva Q moviéndose alrededor del circuito desde el punto a a

través de la batería y de la resistencia, y de regreso hasta el punto

a.

El punto a es el punto de referencia que está aterrizado y su

potencial se ha tomado a cero. Como la carga se mueve desde a

hasta b a través de la batería su energía potencial eléctrica

aumenta en una cantidad V Q (donde V es el potencial en b)

mientras que la energía potencial química en la batería disminuye

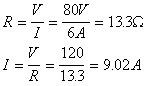
por la misma cantidad.

Sin embargo, como la carga se mueve desde c hasta d a través de la

resistencia, pierde esta energía potencial eléctrica por las

M.C Arturo Reyes Espinoza

47



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

colisiones con los átomos en la resistencia, lo que produce energía

térmica. Obsérvese que si se desprecia la resistencia de los

alambres interconectores no existe pérdida en la energía en las

trayectorias bc y da. Cuando la carga regresa al punto a, debe

tener la misma energía potencial (cero) que tenía al empezar.

4.3. Un circuito consta de una batería o fem E y de una resistencia

R. La carga positiva fluye en la dirección de las manecillas del reloj,

desde la terminal negativa hasta la positiva de la batería. Los

puntos a y d están aterrizados.

La rapidez con la cual la carga

Q pierde energía potencial cuando

pasa a través de la resistencia está dada por :

U

=

Q

V = IV

t

t

donde I es la corriente en el circuito. Es cierto que la carga vuelve

a ganar esta energía cuando pasa a través de la batería. Como la

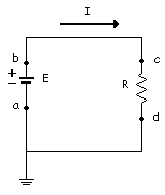
rapidez con la cual la carga pierde la energía es igual a la potencia

perdida en la resistencia, tenemos :

P = IV

M.C Arturo Reyes Espinoza

48



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

En este caso, la potencia se suministra a la resistencia por la

batería. Sin embargo, la ecuación anterior puede ser utilizada para

determinar la potencia transferida a cualquier dispositivo que lleve

una corriente I, y tenga una diferencia de potencial V entre sus

terminales. Utilizando la ecuación anterior y el hecho de que V=IR

para una resistencia, se puede expresar la potencia disipada en las

formas alternativas :

P= I²R = V²

R

Cuando I está en amperes, V en volts, y R en ohms, la unidad de

potencia en el SI es el watt (W). La potencia perdida como calor en

un conductor de resistencia R se llama calor joule; sin embargo, es

frecuentemente referido como una perdida I²R.

Una batería o cualquier dispositivo que produzca energía eléctrica

se llama fuerza electromotriz, por lo general referida como fem.

Ejemplo 4.3. Potencia en un calentador eléctrico

Se construye un calentador eléctrico aplicando una diferencia de

potencial de 110V a un alambre de nicromo cuya resistencia total es

de 8?. Encuéntrese la corriente en el alambre y la potencia nominal

del calentador.

**Solución**

Como V=IR, se tiene :

Se puede encontrar la potencia nominal utilizando P=I²R :

M.C Arturo Reyes Espinoza

49



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

P = I²R = (13.8 A)² (8

) = 1.52 kW

Si se duplicaran el voltaje aplicado, la corriente se duplicaría pero

la potencia se cuadruplicaría.

**4.5. Ley de Joule**

Podemos describir el movimiento de los electrones en un conductor

como una serie de movimientos acelerados, cada uno de los cuales

termina con un choque contra alguna de las partículas fijas del

conductor.

Los electrones ganan energía cinética durante las trayectorias

libres entre choques, y ceden a las partículas fijas, en cada choque,

la misma cantidad de energía que habían ganado. La energía

adquirida por las partículas fijas (que son fijas solo en el sentido de

que su posición media no cambia) aumenta la amplitud de su

vibración o sea, se convierte en calor.

Para deducir la cantidad de calor desarrollada en un conductor por

unidad de tiempo, hallaremos primero la expresión general de la

potencia suministrada a una parte cualquiera de un circuito

eléctrico.

Cuando una corriente eléctrica atraviesa un conductor, éste

experimenta un aumento de temperatura. Este efecto se

denomina ?efecto Joule?.

Es posible calcular la cantidad de calor que puede producir una

corriente eléctrica en cierto tiempo, por medio de la ley de Joule.

Supongamos, como en un calentador eléctrico, que todo el trabajo

realizado por la energía eléctrica es transformado en calor. Si el

M.C Arturo Reyes Espinoza

50



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

calentador funciona con un voltaje V y un intensidad I durante un

tiempo t, el trabajo realizado es :

W=VIt

y como cada J equivale a 0,24 cal, la cantidad de calor obtenido

será :

Q=0.24 VIt

V debe medirse en volts, I en amperes y t en segundos, para que el

resultado esté expresado en calorías.

**La ley de Joule enuncia que :**

" El calor que desarrolla una corriente eléctrica al pasar por un

conductor es directamente proporcional a la resistencia, al

cuadrado de la intensidad de la corriente y el tiempo que dura la

corriente " .

Ejemplo 4.4.

Un fabricante de un calentador eléctrico portátil por inmersión, de

110V garantiza que si el calentador se sumerge en un recipiente

lleno de agua ésta hervirá y en un minuto estará listo para hacer

té. Calcule la potencia de salida del calentador. Que corriente

fluirá por él?. Cual su resistencia ?

Suponga que el recipiente contiene 200 cm³ o sea 0.200kg de

agua. Si la temperatura del agua disponible en el casa es de 10°C la

diferencia de temperatura para que hierva será pT=90K. El

suministro de energía calorífica que debe darse al agua está dado

por :

M.C Arturo Reyes Espinoza

51



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

donde c es la capacidad calorífica del agua expresada en joules y no

kilocalorías. Como esta energía calorífica se transfiere al agua en

un tiempo pt, la potencia de salida del calentador es :

**Solución**

El flujo de corriente por el calentador se puede determinar por la

ecuación P=Vi. Así tenemos:

Mediante la ley de Ohm calculamos la resistencia , que es :

**4.6. Leyes de Kirchhoff**

El análisis de algunos circuitos simples cuyos elementos incluyen

baterías, resistencias y condensadores en varias combinaciones, se

simplifica utilizando las reglas de Kirchhoff.

Estas reglas se siguen de las leyes de conservación de la energía y

de la carga.

Un circuito simple puede analizarse utilizando la ley de Ohm y las

reglas de combinaciones en serie y paralelo de

resistencias. Muchas veces no es posible reducirlo a un circuito de

un simple lazo. El procedimiento para analizar un circuito más

complejo se simplifica enormemente al utilizar dos sencillas reglas

llamadas reglas de Kirchhoff :

1. La suma de las corrientes que entren en una unión debe ser igual

a la suma de las corrientes que salen de la unión. (una unión es

cualquier punto del circuito donde la corriente se puede dividir).

M.C Arturo Reyes Espinoza

52



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

2. La suma algebraica de los cambios de potencial a través de todos

los elementos alrededor de cualquier trayectoria cerrada en el

circuito debe ser cero.

La primera regla se establece de la conservación de la carga. Es

decir, cuanto corriente entre en un punto dado del circuito debe

salir de ese punto, ya que la carga no puede perderse en ese

punto. Si se aplica esta regla a la unión que se ve en la figura

siguiente se obtiene.

I1 = I2 + I3

La segunda regla se deduce de la conservación de la energía. Es

decir, cualquier carga que se mueve en torno a cualquier circuito

cerrado (sale de un punto y llega al mismo punto) debe ganar tanta

energía como la que pierde.

Su energía puede decrecer en forma de caída potencial -IR, a

través de una resistencia o bien como resultado de tener una carga

en dirección inversa a través de una fuente de fem. En una

aplicación práctica de este último caso, la energía eléctrica se

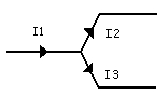
convierte en energía química al cargar una batería ; de manera

similar, la energía eléctrica puede convertirse en energía mecánica

al hacer funcionar un motor.

M.C Arturo Reyes Espinoza

53



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

Existen limitaciones sobre el número de veces que pueden utilizarse

la regla de nodos y la de mallas. La regla de nodos puede utilizarse

siempre que sea necesario pero considerando que, al escribir una

ecuación, se incluya una corriente que no haya sido utilizada

previamente en alguna ecuación de la regla de nodos.

En general, el número de veces que puede ser utilizada la regla de

nodos es uno menos que el número de uniones (nodos) que tenga el

circuito. La regla de la malla puede ser utilizada siempre que sea

necesario en tanto que un nuevo elemento de circuito (resistencia o

batería) o una nueva corriente aparezca en cada nueva ecuación.

En general, el número de ecuaciones independientes que se

necesiten debe ser al menos igual al número de incógnitas para

tener una solución al problema de un circuito particular.

Circuitos complejos con varias mallas y uniones generan un gran

número de ecuaciones linealmente independientes que corresponden

a un gran número de incógnitas. Tales situaciones deben ser

manejadas formalmente utilizando álgebra matricial. Se pueden

hacer programas en computadora para determinar los valores de las

incógnitas.

**Estrategia para la solución de problemas : Reglas de Kirchhoff.**

1. Primero, dibújese el diagrama del circuito y asígnense etiquetas y

símbolos a todas las cantidades conocidas y desconocidas. Se debe

asignar una dirección a la corriente en cada parte del circuito.

No debe preocupar que no se asigne correctamente la dirección de

la corriente; el resultado tendrá signo negativo, pero la magnitud

será la correcta. Aun cuando la asignación de la corriente es

arbitraria, debe respetarse rigurosamente la dirección asignada

M.C Arturo Reyes Espinoza

54

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

cuando se apliquen las reglas de Kirchhoff.

2. Aplíquese la regla de nodos (primera regla de Kirchhoff) a todas

las uniones en el circuito en las cuales se obtengan relaciones entre

varias corrientes. ! Este paso es fácil !

3. Ahora aplíquese la segunda regla de Kirchhoff a tantas mallas en

el circuito como sean necesarias para determinar las incógnitas. Al

aplicar esta regla, deben identificarse correctamente los cambios

de potencial de cada elemento al recorrer la malla (ya sea en

sentido de las manecillas del reloj o en sentido contrario). !cuidado

con los signos !

4. Por último, deben resolverse las ecuaciones simultáneamente

para las cantidades desconocidas. Es necesario ser cuidadoso en

los pasos algebraicos y verificar que las respuestas numéricas sean

congruentes.

M.C Arturo Reyes Espinoza

55

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

**UNIDAD V**

**ELECTROMAGNETISM**

**O**

[5.1. Introducción.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem5_1_.htm)

[5.2. Definición del Campo Magnético.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem5_2_.htm)

[5.3. Ley de BIOT-SAVART.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem5_3_.htm)

[5.4. Fuerza Magnética entre Conductores.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem5_4_.htm)

[5.5. Leyes de Circuitos Magnéticos.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem5_5_.htm)

[5.6. Propiedades de los Materiales Magnéticos.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem5_6_.htm)

[5.7. Leyes de FARDAY, LENZ y de AMPERE .](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem5_7_.htm)

**5.1. Introducción**

El fenómeno del magnetismo fue conocido por los griegos desde el

año 800 A.C. Ellos descubrieron que ciertas piedras, ahora llamadas

magnetita (Fe3O4), atraían piezas de hierro. La leyenda adjudica

el nombre de magnetita en honor al pastor Magnes, ? los clavos de

sus zapatos y el casquillo (o punta) de su bastón quedaron

fuertemente sujetos a un campo magnético cuando se encontraba

pastoreando su rebaño?.

En 1269 Pierre de Maricourt, mediante un imán natural esférico,

elaboró un mapa de las direcciones tomadas por una aguja al

colocarla en diversos puntos de la superficie de la esfera. Encontró

que las direcciones formaban líneas que rodeaban a la esfera

M.C Arturo Reyes Espinoza

56



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

pasando a través de dos puntos diametralmente opuestos uno del

otro, a los cuales llamo polos del imán.

Experimentos subsecuentes demostraron que cualquier imán, sin

importar su forma, tiene dos polos, llamados polo norte y polo sur,

los cuales presentan fuerzas que actúan entre sí de manera análoga

a las cargas eléctricas. Es decir, polos iguales se repelen y polos

diferentes se atraen.

En 1600 William Gilbert extendió estos experimentos a una

variedad de materiales. Utilizando el hecho de que una aguja

magnética (brújula) se orienta en direcciones preferidas, sugiere

que la misma Tierra es un gran imán permanente.

En 1750, John Michell (1724-1793) usó la balanza de torsión para

demostrar que los polos magnéticos ejercen fuerzas de atracción y

repulsión entre sí, y que estas fuerzas varían como el inverso del

cuadrado de la distancia de separación. Aun cuando la fuerza entre

dos polos magnéticos es similar a la fuerza entre dos cargas

eléctricas, existe una importante diferencia.

Las cargas eléctricas se pueden aislar (lo que se manifiesta en la

existencia del protón y el electrón), mientras que los polos

magnéticos no se pueden separar. Esto es, los polos magnéticos

siempre están en pares. Todos los intentos por detectar un polo

aislado han fracasado. No importa cuántas veces se divida un imán

permanente, cada trozo siempre tendrá un polo norte y un polo sur.

La relación entre el magnetismo y la electricidad fue descubierta

en 1819 cuando, en la demostración de una clase, el científico danés

Hans Oersted encontró que la corriente eléctrica que circula por un

alambre desvía la aguja de una brújula cercana. Poco tiempo

después, André Ampere (1775-1836) obtuvo las leyes cuantitativas

de la fuerza magnética entre conductores que llevan corrientes

eléctricas.

M.C Arturo Reyes Espinoza

57

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

También sugirió que órbitas de corriente eléctrica de magnitud

molecular son las responsables de todos los fenómenos

magnéticos. Esta idea es la base de la teoría moderna del

magnetismo.

En la década de 1820, se demostraron varias conexiones entre la

electricidad y el magnetismo por Faraday e independientemente por

Joseph Henry (1797-1878). Ellos comprobaron que se podía

producir una corriente eléctrica en un circuito al mover un imán

cercano al circuito o bien variando la corriente de un circuito

cercano al primero.

Estas observaciones demuestran que un cambio en el campo

magnético produce un campo eléctrico. Años después, el trabajo

teórico realizado por Maxwell mostró que un campo eléctrico

variable da lugar a un campo magnético.

**5.2. Definición del campo**

**magnético**

El campo eléctrico E en un punto del espacio se ha definido como la

fuerza por unidad de carga que actúa sobre una carga de prueba

colocada en ese punto. Similarmente, el campo gravitacional g en un

punto dado del espacio es la fuerza de gravedad por unidad de masa

que actúa sobre una masa de prueba.

Ahora se definirá el vector de campo magnético B (algunas veces

llamado inducción magnética o densidad de flujo magnético) en un

punto dado del espacio en términos de la magnitud de la fuerza que

sería ejercida sobre un objeto de velocidad v . Por el momento,

supongamos que no están presentes el campo eléctrico ni el

gravitacional en la región de la carga.

M.C Arturo Reyes Espinoza

58

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

Los experimentos realizados sobre el movimiento de diversas

partículas cargadas que se desplazan en un campo magnético han

proporcionado los siguientes resultados:

1. La fuerza magnética es proporcional a la carga q y a la

velocidad v de la partícula.

2. La magnitud y la dirección de la fuerza magnética dependen de la

velocidad de la partícula y de la magnitud y dirección del campo

magnético.

3. Cuando una partícula se mueve en dirección paralela al vector

campo magnético, la fuerza magnética F sobre la carga es cero.

4. Cuando la velocidad hace un ángulo

con el campo magnético, la

fuerza magnética actúa en una dirección perpendicular tanto a v

como a B; es decir, F es perpendicular al plano formado por v y

B. (Fig. 5.1a)

5. La fuerza magnética sobre una carga positiva tiene sentido

opuesto a la fuerza que actúa sobre una carga negativa que se

mueva en la misma dirección. (Fig. 5.1b)

6. Si el vector velocidad hace un ángulo

con el campo magnético,

la magnitud de la fuerza magnética es proporcional al sen .

Estas observaciones se pueden resumir escribiendo la fuerza

magnética en la forma:

F = qv X B

donde la dirección de la fuerza magnética está en la dirección de v

X B, la cual por definición del producto vectorial, es perpendicular

M.C Arturo Reyes Espinoza

59



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

tanto a v como a B.

Fig. 5.1. Dirección de la fuerza magnética sobre una partícula

cargada que se mueve con velocidad v en presencia de un campo

magnético. a). Cuando v forma un ángulo

con B, la fuerza

magnética es perpendicular a ambos, v y B. b). En presencia de un

campo magnético, las partículas cargadas en movimiento se desvían

como se indica por medio de las líneas punteadas.

La fuerza magnética es siempre perpendicular al

desplazamiento. Es decir,

F \* ds = (F \* v)dt = 0

Ya que la fuerza magnética es un vector perpendicular a v. De esta

propiedad y del teorema de trabajo y energía, se concluye que la

energía cinética de la partícula cargada no puede ser alterada sólo

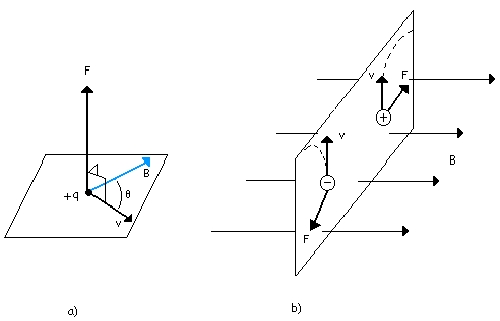
por el campo magnético. en otras palabras

" Cuando una carga se mueve con una velocidad v, el campo

magnético aplicado sólo puede alterar la dirección del vector

M.C Arturo Reyes Espinoza

60



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

velocidad, pero no puede cambiar la rapidez de la partícula ".

Ejemplo 5.1. Un protón que se mueve en un campo magnético.

Un protón se mueve con una rapidez de 8X10 elevado a 6 m/s a lo

largo del eje x. Entra a una región donde existe un campo de 2.5 T

de magnitud, dirigido de tal forma que hace un ángulo de 60° con el

eje de las x y está en el plano xy (Fig. 5.2.). Calcúlese la fuerza

magnética y la aceleración inicial del protón

**Solución.**

De la ecuación F = qvB sen

se obtiene

F = (1.6X10**¯**19C) (8X10a la 6 m/s) (2.5T) (sen 60°)

F = 2.77X10**¯¹²**N

Como vXB está en la dirección z positiva y ya que la carga es

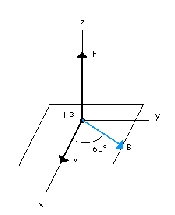
positiva, la fuerza F está en la dirección z positiva. Dado que la

masa del protón es 1.67X10**¯²**7kg, su aceleración inicial es

En la dirección z positiva.

M.C Arturo Reyes Espinoza

61



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

Fig. 5.2. La fuerza magnética F sobre un protón está en la

dirección positiva del eje z cuando v y B se encuentra en el plano xy.

**5.3. Ley de Biot-Savart**

Poco tiempo despues del descubrimiento de Oersted en 1819, donde

la aguja de la brújula se desviaba a causa de la presencia de un

conductor portador de corriente, Jean Baptiste Biot y Felix Savart

informaron que un conductor de corriente estable produce fuerzas

sobre un imán. De sus resultados experimentales, Biot y Savart

fueron capaces de llegar a una expresión de la que se obtiene el

campo magnético en un punto dado del espacio en términos de la

corriente que produce el campo.

Fig. 5.3. El campo magnético dB en el punto P debido a un elemento

de corriente ds está dado por la ley de Biot-Savart.

La ley de Biot-Savart establece que si un alambre conduce una

corriente constante I, el campo magnético dB en un punto P debido

a un elemento ds (Figura. 5.3.) tiene las siguientes propiedades :

1. El vector dB es perpendicular tanto a ds (el cual tiene la

dirección de la corriente) como al vector unitario ê dirigido desde

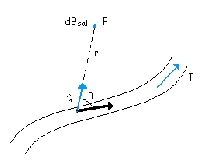
el elemento hasta el punto P.

2. La magnitud dB es inversamente proporcional a r**²**, donde r es la

distancia desde el elemento hasta el punto p.

M.C Arturo Reyes Espinoza

62



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

3. La magnitud de dB es proporcional a la corriente y la longitud ds

del elemento.

4. La magnitud de dB es proporcional a sen

, donde

es el ángulo

entre el vector ds y ê.

La ley de Biot-Savart puede ser resumida en la siguiente fórmula :

donde Km es una constante que en SI de unidades es exactamente

10**¯**7 Wb/A\*m. La constante Km es por lo general escrita como

µ0/4 , donde µ0 es otra constante, llamada permeabilidad del

espacio libre. Es decir,

µ0 = 4 Km = 4 X 10**¯**7 Wb/A\*m

Por lo que la ley de Biot-Savart, también puede escribirse como :

Es importante hacer notar que la ley de Biot-Savart proporciona el

campo magnético en un punto dado para un pequeño elemento del

conductor. Para encontrar el campo magnético total B en algún

punto debido a un conductor para tamaño finito, se deben sumar las

contribuciones de todos los elementos de corriente que constituyen

el conductor. Esto es, se debe evaluarse B por la integración de la

ecuación anterior :

donde la integral se evalúa sobre todo el conductor, Esta expresión

debe ser manejada con especial cuidado desde el momento que el

integrando es una cantidad vectorial.

Se presentan rasgos similares entre la ley de Biot-Savart del

magnetismo y la ley de Coulomb de la electrostá tica. Es decir, el

elemento de corriente I ds produce un campo magnético, mientras

M.C Arturo Reyes Espinoza

63



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

que una carga puntual q produce un campo eléctrico. Además, la

magnitud del campo magnético es inversamente proporcional al

cuadrado de la distancia desde el elemento de la corriente, como lo

hace el campo eléctrico debido a una carga puntual.

Sin embargo, las direcciones de los dos campos son muy

diferentes. El campo eléctrico debido a una carga puntual es

radial. En el caso de una carga puntual positiva, E está dirigido

desde la carga hacia el punto del campo. Por otro lado, el campo

magnético debido a un elemento de corriente es perpendicular

tanto al elemento de corriente como al vector. Por lo que, si el

conductor se encuentra en el plano del papel, como en la figura 5.3,

dB está dirigido hacia afuera del papel en el punto P y hacia

adentro del papel en el punto P?.

Ejemplo 5.2. Campo magnético de un conductor delgado rectilíneo.

Considérese un alambre conductor recto, muy delgado, que lleva una

corriente I colocado a lo largo del eje x como en la figura 5.4. Se

calculará el campo magnético en el punto P localizado a una

distancia a del alambre.

Solución.

El elemento ds está a un a distancia r de P. La dirección del campo

en P debida a este elemento es hacia afuera del papel, ya que ds X r

está hacia afuera del papel. De hecho, todos los elementos dan una

contribución dirigida hacia afuera del papel en P.

M.C Arturo Reyes Espinoza

64

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

Fig.5.4. a). Un segmento de alambre recto lleva una corriente I. El

campo magnético en P debido a cada elemento ds está dirigido hacia

afuera del papel, y por lo tanto el campo total también está dirigido

hacia afuera del papel. b). Los ángulos límite

geometría.

1

y

2

para esta

Por lo tanto, se tiene que determinar sólo la magnitud del campo en

P. Ahora, si se considera O como el origen y P situado sobre el eje

y positivo, con k siendo el vector unitario dirigido hacia afuera del

papel, se ve que

sustituyendo, dado que dB=kdB, con

Para integrar esta expresión, se deben relacionar de alguna manera

las variables

términos de

, x y r. Una forma de lograrlo es expresar x y r en

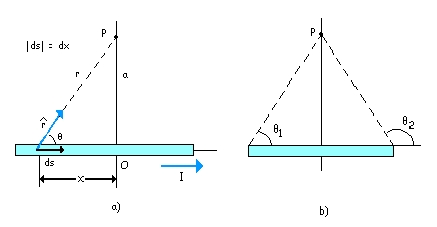
.

De la geometría en la figura 5.4a y una simple diferenciación, se

obtiene la siguiente relación :

M.C Arturo Reyes Espinoza

65



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

Ya que tan = -a/x del triángulo rectángulo de la figura 5.4a,

Por consiguiente, se ha logrado reducir la expresión a una que

implica sólo a la varible

. Ahora se puede obtener el campo

magnético total en el punto P integrando sobre todos los elementos

que subtienden ángulos comprendidos entre

1

y

2

definidos como

en la figura 5.4b. Esto da

Puede aplicarse este resultado para determinar el campo magnético

de cualquier alambre recto si se conoce su geometría y también los

ángulos

1

y

2.

Considérese el caso especial de un alambre conductor delgado,

infinitamente largo. En este caso, 1 = 0 y 2 = , como puede

verse en la figura 5.4b, para segmentos que van desde

x=- hasta x = +.. Como (cos

ecuación se convierte en

11

- cos

2)

= (cos 0 - cos

) = 2, la

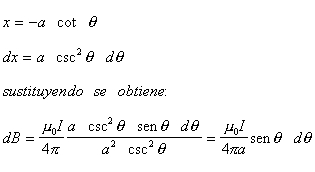
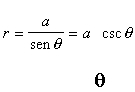
Ejercicio 1.

Calcúlese el campo magnético de un alambre recto que lleva una

corriente de 5A, a una distancia de 4cm del alambre.

M.C Arturo Reyes Espinoza

66



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

**Respuesta.**

2.5X10-5 T

**5.4. Fuerza magnética entre**

**conductores**

Como una corriente en un conductor crea su propio campo

magnético, es fácil entender que dos conductores que lleven

corriente ejercerán fuerzas magnéticas uno sobre el otro. Como se

verá, dichas fuerzas pueden ser utilizadas como base para la

definición del ampere y del coulomb. Considérese dos alambres

largos, rectos y paralelos separados una distancia a y que llevan

corriente I1 e I2 en la misma dirección, como se muestra en la

figura 5.5. Se puede determinar fácilmente la fuerza sobre uno de

los alambres debida al campo magnético producido por el otro

alambre.

Fig. 5.5. Dos alambres paralelos que llevan cada uno una corriente

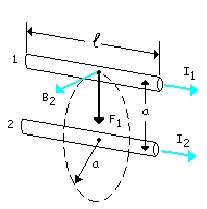
estable ejercen una fuerza uno sobre el otro. El campo B2 en el

alambre 1 debido al alambre 2 produce una fuerza sobre el alambre

1 dada por F1= I1l B2. La fuerza es atractiva si las corrientes son

M.C Arturo Reyes Espinoza

67



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

paralelas como se muestra y repulsiva si las corrientes son

antiparalelas.

El alambre 2, el cual lleva una corriente I2, genera un campo

magnético B, en la posición del alambre 1. La dirección de B2 es

perpendicular al alambre, como se muestra en la figura. De acuerdo

con la ecuación F = I l X B, la fuerza magnética sobre una longitud

l del alambre 1 es F1 = I1 l XB2. Puesto que l es perpendicular a B2,

la magnitud de F1 esta dada por F1 = I1 l XB2. Como el campo debido

al alambre 2 está dado por la ecuación

Esto se puede reescribir en términos de la fuerza por unidad de

longitud como

La dirección de F1 es hacia abajo, hacia el alambre 2, ya que l XB2

es hacia abajo. Si se considera el campo sobre el alambre 2 debido

al alambre 1, la fuerza F2 sobre el alambre 2 se encuentra que es

igual y opuesta a F1. Esto es lo que se esperaba ya que la tercera

ley de Newton de la acción-reacción debe cumplirse. Cuando las

corrientes están en direcciones opuestas, las fuerzas son inversas

y los alambres se repelen uno al otro. Por ello, se determina que:

" Conductores paralelos que lleven corrientes en la misma dirección

se atraen uno al otro, mientras que conductores paralelos que lleven

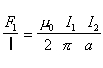
corrientes en direcciones opuestas se repelen uno al otro ".

La fuerza entre dos alambres paralelos que lleven corriente se

utilizan para definir el ampere como sigue:

M.C Arturo Reyes Espinoza

68



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

" Si dos largos alambres paralelos separados una distancia de 1 m

llevan la misma corriente y la fuerza por unidad de longitud en cada

alambre es de 2 X 10**¯**7 N/m, entonces la corriente que llevan se

define como 1 A ".

El valor numérico de 2 X 10**¯**7 N/m se obtiene de la ecuación

anterior, con I1=I2=1A y a=1m. Por lo tanto, se puede emplear una

medición mecánica para normalizar el ampere.

Por ejemplo, en la National Burea of Standars (Oficina Nacional de

Normas) se utiliza un instrumento llamado balanza de corriente

para normalizar otros instrumentos más convencionales, como el

amperímetro.

La unidad de carga en él SI, el coulomb, puede ahora ser definido

en términos de ampere como sigue:

" Si un conductor transporta una corriente estable de 1 A, entonces

la cantidad de carga que fluye a través de una sección trasversal

del conductor en 1s es 1 C ".

**Fuerza sobre un alambre por el cual circula una corriente.**

Cuando una corriente eléctrica circula a través de un conductor que

a su vez se encuentra en un campo magnético, cada carga q que

fluye por el conductor experimenta una fuerza magnética. Estas

fuerzas se transmiten al conductor como un todo, y hacen que cada

unidad de longitud del mismo experimente una fuerza. Si una

cantidad total de carga Q pasa por la longitud l del alambre con una

velocidad media promedio , perpendicular a un campo magnético B,

la fuerza neta sobre dicho segmento de alambre es

M.C Arturo Reyes Espinoza

69



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

La velocidad media para cada carga que pasa por la longitud l en el

tiempo t es l/t. Por ende, la fuerza neta sobre toda la longitud es

Si sé rearegla y simplifica, se obtiene

donde:

I representa la corriente en el alambre.

Del mismo modo que la magnitud de la fuerza sobre una carga en

movimiento varía con la dirección de la velocidad, la fuerza sobre un

conductor por el cual circula una corriente depende del ángulo que

la corriente hace con la densidad de flujo. En general si el alambre

de longitud l hace un ángulo

con el campo B, el alambre

experimentará una fuerza dada por

Ejemplo 5.3.

El alambre de la figura 5.6. forma un ángulo de 30° con respecto al

campo B de 0.2. Si la longitud del alambre es 8 cm y la corriente

que pasa por él es de 4A, determínese la magnitud y dirección de la

fuerza resultante sobre el alambre.

M.C Arturo Reyes Espinoza

70



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

Fig. 5.6.

**Solución**

Al sustituir directamente en la ecuación se obtiene

La dirección de la fuerza es hacia arriba como se indica en la figura

5.6. Si se invirtiera el sentido de la corriente, la fuerza actuaría

hacia abajo.

**5.5. Leyes de circuitos magnéticos**

Por lo común se cree que el magnetismo de la metería es el

resultado del movimiento de los electrones en los átomos de las

sustancias. Si esto es cierto, el magnetismo es una propiedad de la

carga en movimiento y está estrechamente relacionado con

fenómenos eléctricos. De acuerdo con la teoría clásica, los átomos

individuales de una sustancia magnética son, de hecho, pequeños

imanes con polos norte y sur. La polaridad magnética de los átomos

se basa principalmente en el espín de los electrones y se debe sólo

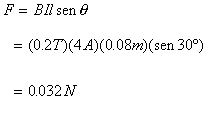
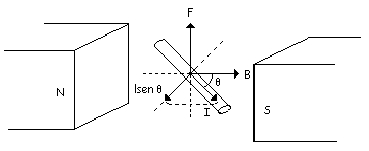
parcialmente a sus movimientos orbitales alrededor del núcleo.

Los átomos en un material magnético se agrupan en regiones

magnéticas microscópicas llamadas dominios. Se considera que

M.C Arturo Reyes Espinoza

71



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

todos los átomos dentro de un dominio están magnéticamente

polarizados a lo largo del eje cristalino.

El magnetismo inducido suele ser solo temporal, y cuando el campo

se suprime, paulatinamente los dominios se vuelven a

desorientar. Si los dominios permanecen alineados en cierto grado

después de que el campo ha sido retirado, se dice que el material ha

sido magnetizado permanentemente. Se llama retentividad a la

capacidad para retener el magnetismo.

Otra propiedad de los materiales magnéticos que puede explicarse

fácilmente mediante la teoría de los dominios es la saturación

magnética. Parece que hay un límite para el grado de magnetización

que un material puede experimentar. Una vez que se llega a este

límite ningún campo externo de mayor intensidad puede

incrementar la magnetización. Se considera que todos los dominios

han sido alineados.

Cada línea de inducción es una curva cerrada. Aunque no hay nada

que fluya a lo largo de estas líneas, es útil establecer una analogía

entre las trayectorias cerradas de las líneas de flujo y un circuito

cerrado conductor por el cual circula una corriente. La región

ocupada por el flujo magnético se denomina circuito magnético, del

cual el ejemplo más sencillo es el anillo de Rowland.

Fig. 5.7. Anillo de Rowland.

Se ha visto que las líneas de flujo magnético son más para un

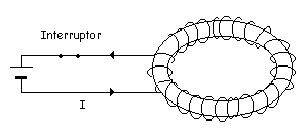
solenoide con núcleo de hierro que para un solenoide en aire. La

densidad de flujo está relacionada con la permeabilidad µ del

material que sirve como núcleo para el solenoide. La intensidad del

M.C Arturo Reyes Espinoza

72



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

campo H y la densidad e flujo B están relacionadas entre sí según la

ecuación B = µH

Al hacer una comparación de esta relación se demuestra que para

un solenoide

Nótese que la intensidad del campo magnético es independiente de

la permeabilidad del núcleo; sólo es función del número de vueltas N,

la corriente I y la longitud L del solenoide. La intensidad magnética

se expresa en amperes por metro.

El campo magnético que se establece por una corriente en el

devanado magnetizante se confina por completo al toroide. Este

dispositivo es llamado frecuentemente anillo de Rowland debido a

J.H.Rowland, quien lo utilizó para estudiar las propiedades de

muchos materiales.

Supóngase que se inicia el estudio de las propiedades magnéticas de

un material con un anillo de Rowland no magnetizado moldeado con

la misma sustancia.

Inicialmente, B=0 y H=0. El interruptor se cierra y la corriente

magnetizante I se incrementa en forma gradual, de tal modo que se

produce una intensidad de campo magnética expresada por

donde:

L es la longitud de la circunferencia del anillo.

A medida que el material se somete a una intensidad de campo

magnético H en aumente, la densidad de flujo B también crece

hasta que el material se satura. Observe la curva AB de la figura

M.C Arturo Reyes Espinoza

73



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

5.8. Ahora bien, si gradualmente la corriente se reduce a 0, la

densidad de flujo B a lo largo del núcleo no regresa a 0 sino que

retiene cierta intensidad magnética, como muestra la curva BC. La

pérdida de la restitución magnética se conoce como histéresis.

**Histérisis** es el retraso de la magnetización con respecto a la

intensidad del campo magnético.

La única forma de regresar a cero la densidad de flujo B en el anillo

consiste en invertir el sentido de la corriente que fluye por el

devanado. Este procedimiento origina la intensidad magnética H en

sentido opuesto, como indica la curva CD. Si la magnetización

continúa incrementándose en sentido negativo, el material

finalmente se satura de nuevo con una polaridad invertida. Véase la

curva DE. Si se reduce otra vez la corriente a cero y luego se

aumenta en el sentido positivo, se obtendrá la curva EFB. La curva

completa se llama ciclo de histéresis.

El área encerrada por el ciclo de histéresis es una indicación de la

cantidad de energía que se pierde al someter un material dado a

través de un ciclo completo de magnetización. El rendimiento de

muchos dispositivos electromagnéticos depende de la selección de

materiales magnéticos con baja histéresis. Por otro lado, los

materiales que se requiere que permanezcan bien magnetizados

deberán presentar una gran histéresis.

M.C Arturo Reyes Espinoza

74

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

Fig. 5.8. Ciclo de histéresis.

**5.6. Propiedades de los materiales**

**magnéticos**

**Densidad de Flujo y Permeabilidad.**

El número de líneas N dibujadas a través de la unidad de área A

es directamente proporcional a la intensidad del campo eléctrico E.

La constante de proporcionalidad , que determina el número de

líneas dibujadas, es la permisividad del medio por el cual pasan las

líneas.

Puede presentarse una descripción semejante para un campo

magnético si se considera el flujo magnético

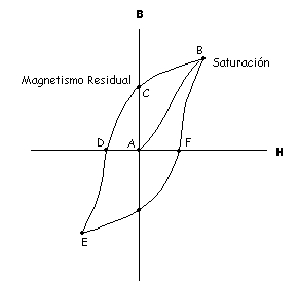
que pasa

perpendicularmente a través de una unidad de área A. Esta razón B

se llama densidad de flujo magnético.

M.C Arturo Reyes Espinoza

75



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

" La densidad de flujo magnético en una región de un campo

magnético es el número de líneas de flujo que atraviesan

perpendicularmente la unidad de área en dicha región ".

En él SI la unidad de flujo magnético es el weber (Wb). Por tanto,

la unidad de densidad de flujo será webers por metro cuadrado, y

se redefine como el tesla (T). Una unidad antigua que aún se usa es

el gauss (G). En resumen,

Ejemplo 5.4. Cálculo del flujo magnético en una espira rectangular.

Una espira rectangular de 19cm de ancho y 20cm de largo forma un

ángulo de 30° con respecto al flujo magnético. Si la densidad de

flujo es 0.3 T, calcúlese el flujo magnético que penetra en la espira.

**Solución**

El área efectiva que el flujo penetra es aquella componente del

área perpendicular al flujo. Así pues, de la ecuación

se

obtiene

La densidad de flujo en cualquier punto de un campo magnético se

ve muy afectada por la naturaleza del medio o por la naturaleza de

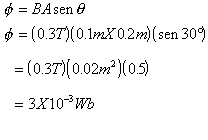
algún material que se coloque entre el polo y el objeto. Por esta

razón conviene definir un nuevo vector de campo magnético, la

intensidad del campo magnético H, que no depende de la naturaleza

M.C Arturo Reyes Espinoza

76



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

del medio. En cualquier caso, el número de líneas establecidas por

unidad de área es directamente proporcional a la intensidad del

campo magnético H. Puede escribirse

donde la constante de proporcionalidad µ es la permeabilidad del

medio a través del cual pasan las líneas de flujo. La ecuación

anterior es análoga a la ecuación para campos eléctricos.

Así pues, la permeabilidad de un medio puede definirse como la

medida de la capacidad para establecer líneas de flujo

magnético. Cuanto más grande sea la permeabilidad del medio,

mayor será el número de líneas de flujo que pasarán por la unidad

de área.

La permeabilidad del espacio libre (el vacío) se denota mediante µ0.

Los materiales magnéticos se clasifican conforme a sus

permeabilidades comparadas con la del espacio vacío. La razón de

la permeabilidad de un material con la correspondiente para el vacío

se llama permeabilidad relativa y está expresada por

Materiales con una permeabilidad relativa ligeramente menor que la

unidad tienen la propiedad de poder ser repelidos débilmente por

un imán potente. Este tipo de materiales se denominan

diamagnéticos y la propiedad correspondiente, diamagnetismo.

Por otro lado, a los materiales que presentan una permeabilidad

ligeramente mayor que la del vacío se denominan

paramagnéticos. Dichos materiales son atraídos débilmente por un

imán poderoso.

Pocos materiales, como el hierro, cobalto, níquel, acero y aleaciones

de estos elementos prestan permeabilidades extremadamente altas,

M.C Arturo Reyes Espinoza

77



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

comprendidas desde pocos cientos a miles de veces la del

vacío. Estos materiales son atraídos fuertemente por un imán y se

dice que son ferromagnéticos.

**5.7. Ley de Faraday, Ley de Lenz,**

**Ley de Ampere**

**Ley de Faraday**

Los experimentos llevados a cabo por Michael Faraday en

Inglaterra en 1831 e independientemente por Joseph Henry en los

Estados Unidos en el mismo año, demostraron que una corriente

eléctrica podría ser inducida en un circuito por un campo magnético

variable. Los resultados de estos experimentos produjeron una

muy básica e importante ley de electromagnetismo conocida como

ley de inducción de Faraday. Esta ley dice que la magnitud de la

fem inducida en un circuito es igual a la razón de cambio de flujo

magnético a través del circuito.

Como se verá, la fem inducida puede producirse de varias

formas. Por ejemplo, una fem inducida y una corriente inducida

pueden producirse en una espira de alambre cerrada cuando el

alambre se mueve dentro de un campo magnético. Se describirán

tales experimentos junto con un importante número de aplicaciones

que hacen uso del fenómeno de inducción electromagnética.

Con el estudio de la ley de Faraday, se completa la introducción a

las leyes fundamentales del electromagnetismo. Estas leyes

pueden resumirse en un conjunto de cuatro ecuaciones llamadas

ecuaciones de Mexwell. Junto con la ley de la fuerza de Lorentz,

representan una teoría completa para la descripción de las

M.C Arturo Reyes Espinoza

78



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

interacciones de objetos cargados. Las ecuaciones de Maxwell

relacionan los campos eléctricos y magnéticos y sus fuentes

fundamentales es decir, las cargas eléctricas.

**LEY DE INDUCCION DE FARADAY**

Se principiará describiendo dos experimentos sencillos que

demuestran que una corriente puede ser producida por un campo

magnético cambiante. Primero, considérese una espira de alambre

conectada a un galvanómetro. Si un imán se mueve hacia la espira,

la aguja del galvanómetro se desviará en una dirección, si el imán se

mueve alejándose de la espira, la aguja del galvanómetro se

desviará en dirección opuesta.

Si el imán se mantiene estacionario en relación a la espira, no se

observará desviación. Finalmente, si el imán permanece

estacionario y la espira se mueve acercándola y alejándola del imán,

la aguja del galvanómetro también sé deflectará. A partir de estas

observaciones, se puede concluir que siempre que exista un

movimiento relativo entre el imán y el circuito de la espira se

generará una corriente en el circuito.

Estos resultados son muy importantes en vista del hecho de que se

crea una corriente en el circuito ¡ aun cuando exista batería en el

circuito !. Esta corriente se denominó corriente inducida, la cual se

produce por una fem inducida.

Ahora se describirá un experimento, realizado por primera vez por

Faraday, el cual se representa en la figura 5.9. Parte del aparato

consta de una bobina conectada a una batería y a un interruptor.

Se hará referencia a esta bobina como la bobina primaria y a su

correspondiente circuito como circuito primario. La bobina se

M.C Arturo Reyes Espinoza

79

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

devana alrededor de un anillo (núcleo) de hierro para intensificar el

campo producido por la corriente a través de la bobina. Una

segunda bobina a al derecha, también se devana alrededor del anillo

de hierro y se conecta a un galvanómetro. Se hará referencia a

está como bobina secundaria y a su correspondiente circuito como

circuito secundario.

No existe batería en el circuito secundario y la bobina secundaria

no está conectada con la bobina primaria. El único propósito de

este circuito es detectar cualquier corriente que pueda ser

producida por un cambio en el campo magnético.

Fig. 5.9. Experimento de Faraday. Cuando el interruptor en el

circuito primario, a la izquierda, se cierra, el galvanómetro en el

circuito secundario se desvía momentáneamente.

La primera impresión que se puede tener es que no debería de

detectar ninguna corriente en el circuito secundario. Sin embargo,

algo sucede cuando de repente se abre y se cierra el interruptor.

En el instante que se cierra el interruptor en el circuito primario, el

galvanómetro en el circuito secundario se desvía en una dirección y

luego regresa a cero. Cuando se abre el interruptor, el

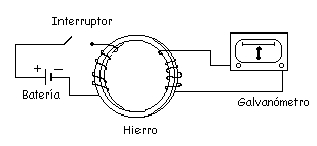
galvanómetro se desvía en la dirección opuesta y de nuevo regresa a

cero. Finalmente, el galvanómetro da una lectura de cero cuando la

corriente es estable en el circuito primario.

M.C Arturo Reyes Espinoza

80



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

Como resultado de estas observaciones, Faraday concluyó que una

corriente eléctrica puede ser producida por cambios en el campo

magnético. Una corriente no puede ser producida por un campo

magnético estable. La corriente que se produce en el circuito

secundario ocurre sólo en el instante en que el campo magnético a

través de la bobina secundaria está cambiando. En efecto, el

circuito secundario se comporta como si existiera una fem

conectada en un corto instante. Esto se puede enunciar diciendo

que:

" Una fem inducida es producida en el circuito secundario por los

cambios en el campo magnético ".

Estos dos experimentos tienen algo en común. En ambos casos, una

fem es inducida en un circuito cuando el flujo magnético a través

del circuito cambia con el tiempo. En efecto, un enunciado que

puede resumir tales expresiones que implican corrientes y fem

inducidas es el siguiente:

" La fem inducida en un circuito es directamente proporcional a la

rapidez de cambio del flujo magnético a través del circuito ".

Este enunciado, conocido como Ley de inducción de Faraday, puede

escribirse como:

Donde m es el flujo magnético que abarca el circuito, el cual

puede ser expresado como:

M.C Arturo Reyes Espinoza

81



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

La integral dada por la ecuación anterior debe tomarse sobre el

área limitada por el circuito. Si el circuito consta de una bobina de

N espiras, todas de la misma área, y si el flujo pasa a través de

todas las espiras, la fem inducida está dada por:

Supóngase que el flujo magnético es uniforme en un circuito de

área A que está en un plano como el de la figura 5.10. En este caso,

el flujo a través del circuito es igual a BA cos

inducida puede expresarse como:

, entonces la fem

De esta expresión, se ve que la fem puede ser inducida en el

circuito de varias formas:

1). Variando la magnitud de B con respecto al tiempo, 2). Variando

el área del circuito con respecto al tiempo, 3). Cambiando el

ángulo

entre B y la normal al plano con respecto al tiempo y, 4). O

bien cualquier combinación de éstas.

M.C Arturo Reyes Espinoza

82



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

Fig. 5.10. Espira conductora de área A en presencia de un campo

magnético uniforme B, el cual hace un ángulo

espira.

con la normal a la

Ejemplo 5.5. Aplicación de la ley de Faraday.

Una bobina consta de 200 vueltas de alambre enrolladas sobre el

perímetro de una estructura cuadrada cuyo lado es de 18cm. Cada

vuelta tiene la misma área, igual a la de la estructura y la

resistencia total de la bobina es de 2 . Se aplica un campo

magnético uniforme y perpendicular al plano de la bobina. Si el

campo cambia linealmente desde 0 hasta 0.5Wb/m² en un tiempo

de 8s, encuéntrese la magnitud de la fem inducida en la bobina

mientras el campo está cambiando.

**Solución.**

El área de la espira es (0.18m)² = 0.0324 m². El flujo magnético a

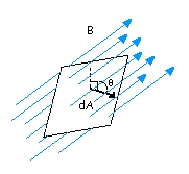
través de la espira par t=0 es cero por lo que B=0. Para t=0.8s, el

flujo magnético a través de la espira es

Por lo tanto, la magnitud de la fem inducida es

M.C Arturo Reyes Espinoza

83



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

Ejercicio 1. Cual es la magnitud de la corriente inducida en la

bobina mientras el campo está cambiando.

**Respuesta** 2.03A

**Ley de Lenz**

La dirección de la fem inducida y la corriente inducida pueden ser

determinadas de la ley de Lenz, la cual puede ser establecida como

sigue:

" La polaridad de la fem inducida es tal que está tiende a producir

una corriente que crea un flujo magnético que se opone al cambio en

el flujo magnético a través del circuito ".

Es decir, la corriente inducida tiende a mantener el flujo original a

través del circuito. La interpretación de este enunciado depende

de las circunstancias.

Como se verá, esta ley es una consecuencia de la ley de

conservación de la energía.

Para comprender mejor la ley de Lenz considérese el ejemplo de la

barra que se mueve hacia la derecha sobre dos rieles paralelos en

presencia de un campo magnético dirigido perpendicularmente hacia

dentro del papel (Fig. 5.11.a).

Cuando la barra se mueve hacia la derecha, el flujo magnético a

través del circuito aumenta con el tiempo ya que el área de la

espira aumenta. La ley de Lenz dice que la corriente inducida debe

M.C Arturo Reyes Espinoza

84



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

ser en la dirección tal que el flujo que produzca se oponga al cambio

en el flujo magnético externo.

Como el flujo debido al campo externo aumenta hacia dentro del

papel, la corriente inducida, si ésta se debe oponer al cambio, debe

producir un flujo hacia afuera del papel. Por lo tanto, la corriente

inducida debe de circular en dirección contraria a las manecillas del

reloj cuando la barra se mueva hacia la derecha para dar un flujo

hacia afuera del papel en la región interna del circuito (Utilícese la

regla de la mano derecha para verificar esta dirección). Por otro

lado, si la barrera se mueve hacia la izquierda como en la figura

5.11b., el flujo magnético a través del circuito disminuye con el

tiempo.

Como el flujo está hacia dentro del papel, la corriente inducida

tiene que circular en dirección de las manecillas del reloj para

producir un flujo hacia dentro del papel en el interior del

circuito. En ambos caso, la corriente inducida tiende a mantener el

flujo original a través del circuito.

Fig. 5.11. a). Cuando una barra conductora se desliza sobre dos

rieles conductores, el flujo a través de la espira aumenta con el

tiempo. Por la ley de Lenz, la corriente inducida debe estar en

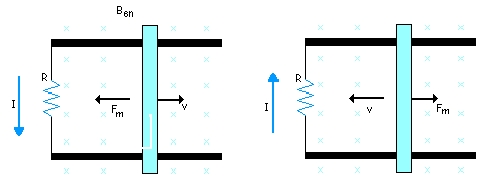
dirección contraria a la de las manecillas del reloj, así que produce

un flujo en dirección contraria saliendo del papel. b). Cuando la

barra se mueve hacia la izquierda, la corriente inducida debe ser en

M.C Arturo Reyes Espinoza

85



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

la dirección de las manecillas del reloj.

Se verá esta situación desde el punto de vista de consideraciones

energéticas. Supóngase que a la barra se le da un ligero empujón

hacia la derecha. En el análisis anterior se encontró que este

movimiento genera en el circuito una corriente que circula en

dirección contraria a las manecillas del reloj. Ahora véase qué

sucede si se supone que la corriente circula en dirección de las

manecillas del reloj, Para una corriente I, que circula en la

dirección de las manecillas del reloj,

Ejemplo 5.6. Aplicación de la ley de Lenz.

Una bobina de alambre se coloca cerca de un electroimán como se

muestra en la figura 5.12a. Encuéntrese la dirección de corriente

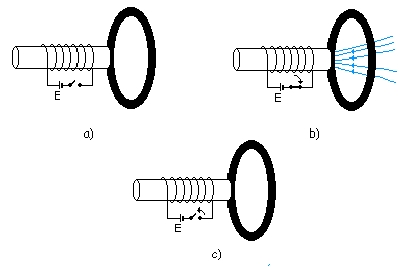
inducida en la bobina: a) en el instante que el interruptor se

cierra, b) varios segundos después de que el interruptor ha sido

cerrado y c) cuando el interruptor se abre.

M.C Arturo Reyes Espinoza

86



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

Fig. 5.12. Ejemplo 5.

**Solución.**

a). Cuando el interruptor se cierra, la situación cambia desde una

condición en la cual no pasan líneas de flujo a través de la bobina, a

una en la cual las líneas de flujo pasan a través de ella en la

dirección que se ve en la figura 5.12b.

Para contrarrestar este cambio en el número de líneas, la bobina

debe generar un campo de izquierda a derecha como en la

figura. Esto requiere que la corriente esté dirigida como se

muestran en la figura 5.12b.

b). Después de varios segundos de haber cerrado el interruptor, no

existe cambio en el número de líneas a través de la espira; por lo

tanto la corriente inducida es cero.

c). Abrir el interruptor causa que el campo magnético cambie de

una condición en la cual las líneas de flujo mantenidas a través de la

espira de derecha a izquierda hasta una condición de cero flujo. La

corriente inducida debe entonces ser como se muestra en la figura

5.12c, para que genere un campo de derecha a izquierda que

mantenga el flujo.

**Ley de Ampere**

Un experimento simple realizado por primera vez por Oerted en

1820 demostró claramente el hecho de que un conductor que lleva

M.C Arturo Reyes Espinoza

87



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

una corriente produce un campo magnético. En este experimento,

varias brújulas se colocan en un plano horizontal cercanas a un

alambre largo vertical.

Cuando no existe corriente en el alambre, todas las brújulas

apuntan en la misma dirección (que el campo terrestre) como se

esperaría. Sin embargo, cuando el alambre lleva una gran corriente

estable, las brújulas necesariamente se desviarán en la dirección

tangente a un círculo. Estas observaciones demuestran que la

dirección B es congruente con la regla de la mano derecha.

" Si se toma el alambre con la mano derecha, de tal forma que el

dedo pulgar apunte en la dirección de la corriente, los dedos

curvados definirán la dirección de B ".

Cuando la corriente se invierte, necesariamente las brújulas se

invertirán también.

Puesto que las brújulas apuntan en la dirección de B, se concluye

que las líneas de B forman círculos alrededor del alambre. Por

simetría, la magnitud de B es la misma en cualquier lugar sobre una

trayectoria circular que esté centrada en le alambre y que se

encuentre en un plano perpendicular al alambre. Si se varía la

corriente y la distancia al alambre, se encuentra que B es

proporcional a la corriente e inversamente proporcional a la

distancia al alambre.

Ahora se evaluará el producto B \* ds y se sumarán estos productos

sobre una trayectoria circular centrada en el alambre. A lo largo

de esta trayectoria, los vectores ds y B son paralelos en cada punto,

así que B \* ds =Bds. Además, B es constante en magnitud sobre

este círculo. Por lo tanto la suma de los productos Bds sobre la

trayectoria cerrada, la cual es equivalente a la integral de B \* ds

está dada por:

M.C Arturo Reyes Espinoza

88

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

donde

es la circunferencia del círculo.

Este resultado, conocido como ley de Ampere, fue encontrado para

el caso especial de una trayectoria circular alrededor del

alambre. Sin embargo, el resultado puede aplicarse en el caso

general en el que una trayectoria cerrada sea atravesada por una

corriente estable, es decir,

La ley de Ampere establece que la integral de línea de B \* ds

alrededor de cualquier trayectoria cerrada es igual µ0I, donde I es

la corriente estable total que pasa a través de cualquier superficie

limitada por la trayectoria cerrada.

La ley de Ampere es válida sólo para corrientes estables. Además,

la ley de Ampere se utiliza sólo para el cálculo de campos

magnéticos de configuraciones de corriente con un alto grado de

simetría.

Ejemplo 5.7. Campo magnético de una bobina toroidal.

Una bobina toroidal consta de N vueltas de alambre alrededor de

una estructura en forma de aromo como en la figura

30.11. Suponiendo que las vueltas están estrechamente espaciadas,

calcúlese el campo magnético en el interior de la bobina, a una

distancia r de su centro.

**Solución.**

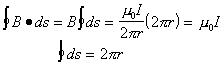
Para calcular el campo magnético en el interior de la bobina, se

evalúa la integral de línea de B\*ds sobre un círculo de radio r. Por

simetría, se ve que el campo magnético es constante en magnitud

M.C Arturo Reyes Espinoza

89



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

sobre esta trayectoria y tangente a ésta, así que B\*ds =

Bds. Además, obsérvese que la trayectoria cerrada encierra N

espiras de alambre cada uno de los cuales lleva una corriente I. Por

lo tanto, aplicando la ley de Ampere a esta trayectoria se obtiene

entonces:

Este resultado demuestra que B varía como 1/r y por lo tanto no es

uniforme dentro de la bobina. Sin embargo, si r es grande

comparado con a, donde a es el radio de la sección trasversal del

toroide, entonces el campo será aproximadamente uniforme en el

interior de la bobina. Además para una bobina toroidal ideal, donde

las vueltas están estrechamente espaciadas, el campo externo es

cero. Esto puede verse al observar que la corriente neta encerrada

por cualquier trayectoria cerrada situada fuera de la bobina

toroidal es cero (incluyendo la ?cavidad en el aro?). Por tanto, de la

ley de Ampere se encuentra que B=0, en las regiones exteriores a la

bobina toroidal. En realidad, las espiras de una bobina toroidal

forman hélices en lugar de espiras circulares (en el caso

ideal). Como resultado, existe siempre un pequeño campo

magnético externo a la bobina.

**UNIDAD VI**

**INDUCTANCIA**

M.C Arturo Reyes Espinoza

90

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

[6.1. Definición de Inductancia.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem6_1_.htm)

[6.2. Calculo de la Inductancia.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem6_2_.htm)

[6.3. Energía Asociada al Campo Magnético.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem6_3_.htm)

[6.4. Densidad de Energía Magnética.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem6_4_.htm)

[6.5. Inductancia Mutua.](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem6_5_.htm)

**.1.**

**Definición de inductancia**

Cuando la corriente cambia de intensidad se debe considerar un

efecto denominado inducción.

**Inducción**. Es la propiedad de un circuito que hace que se oponga a

cualquier cambio en la intensidad de la corriente

Al considerar primero el aumento de los valores de la intensidad

que transcurre entre 0 y 90°, lógicamente también aumentará la

fuerza del campo magnético. Al aumentar la intensidad, las líneas

magnéticas alrededor del conductor A se expansionarán y al

hacerlo cortarán al conductor B, que es adyacente al A. Siempre

que hay un movimiento relativo entre un conductor y líneas

magnéticas, se induce una Fem en el conductor ; por tanto, habrá

una fem inducida en el conductor B.

El efecto de esta fuerza se puede simular cortando el conductor B

y colocando en su lugar una fuente de voltaje. El efecto total será

el de detener una bobina y dos fuentes de voltaje ; estas son la

fem aplicada y la fem inducida. Según esto, la fem inducida será de

dirección opuesta a la aplicada y se reducirá el efecto de la fem

aplicada en su intento de empujar a la corriente a tráves de la

bobina.

M.C Arturo Reyes Espinoza

91



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

Cuanto más rápido sea el cambio en la intensidad, mayor será la

fem inducida y por lo tanto mayor l oposición al cambio de

intensidad.

**6.2. Cálculo de la inductancia**

Considere un circuito aislado formado por un interruptor, una

resistencia y una fem como fuente. Cuando se cierra el interruptor

la corriente no alcanza su valor máximo, E/R, instantáneamente.

La ley de la inducción electromagnética (ley de Faraday) impide que

esto ocurra. Lo que sucede es lo siguiente : al incrementarse la

corriente en el tiempo, se genera a través de la espira un flujo

magnético que se incrementa en el tiempo.

Este aumento en el flujo induce al circuito una fem que se opone al

cambio del flujo magnético a través de la espira. Por la ley de Lenz,

el campo eléctrico inducido en el alambre tiene sentido opuesto al

de la corriente que circula por el circuito, y esta contra fem

produce un incremento gradual en la corriente.

Este efecto se llama autoinducción, ya que el flujo variable a través

del circuito se produce por el mismo circuito. La fem producida se

llama fem autoinducida.

Para dar una descripción cuantitativa de la autoinducción,

partiremos de la ley de inducción de Faraday, la cual dice que la

fem inducida es igual al negativo de la razón de cambio del flujo

magnético en el tiempo.

Como el flujo magnético es proporcional al campo magnético, que a

su vez es proporcional a la corriente en el circuito, la fem

M.C Arturo Reyes Espinoza

92

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

autoinducida siempre será proporcional a la razón de cambio de la

corriente en el tiempo. Para una bobina de N espiras muy juntas y

de geometría fija (una bobina toroidal o un selenoide ideal) se

encuentra que

donde L es una constante de proporcionalidad, llamada inductancia

del dispositivo, que depende de las características geométricas y

físicas del circuito. De esta ecuación, se puede ver que la

inductancia de una bobina de N espiras se puede calcular con la

ecuación :

donde se supone que el flujo a través de cada espira es el

mismo. Esta ecuación se utilizará para calcular la inductancia de

algunas geometrías específicas.

También se puede escribir la inductancia como la relación.

Esta ecuación se toma como la definición de la inductancia de

cualquier bobina independientemente de su forma, dimensiones o

características del material. Así como la resistencia es una medida

de la oposición a la corriente, la inductancia es una medida de

oposición al cambio de la corriente.

La unidad SI de la inductancia es el henry (H), el cual, se puede ver

que equivale a 1 volt-segundo por ampere :

Como se podrá ver, la inductancia de un dispositivo depende

únicamente de su geometría. Sin embargo, el cálculo de la

inductancia de cualquier dispositivo puede ser muy difícil para

geometrías complejas.

M.C Arturo Reyes Espinoza

93



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

Ejemplo 6.1. Inductancia de un selenoide.

Calcule la inductancia de un selenoide devanado uniformemente con

N espiras y longitud l. Se supone que l es muy grande comparada

con el radio y que el núcleo del selenoide es aire.

**Solución.**

En este caso, puede considerarse que el campo dentro del selenoide

es uniforme y se puede calculara con la ecuación :

donde n es el número de vueltas por unidad de longitud, N/l. El

flujo a traves de cada vuelta se obtiene de:

en donde A es el área de la sección trasversal del

selenoide. Utilizando esta expresión y la ecuación

se

encuentra :

Esto demuestra que L depende de los factores geométricos y es

proporcional al cuadrado del número de vueltas.

Ejemplo 6.2. Cálculo de la inductancia y de la fem.

a). Calcule la inductancia de un selenoide que tiene 300 vueltas si la

longitud del selenoide es de 25cm y el área de la sección trasversal

es 4cm² = 4 X 10**¯**4m².

**Solución.**

Utilizando la ecuación

M.C Arturo Reyes Espinoza

se obtiene

94



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

b). Calcule la fem autoinducida en el selenoide descrito en a) si la

corriente que circula por la inductancia decrece a razón de 50 A/s.

**Solución.**

Utilizando la ecuación

y dado que dI/dt=50A/s,

se obtiene:

**6.3. Energía asociada al campo**

**magnético**

La fem inducida por un inductor impide a la batéria establecer

instantáneamente una corriente. Por lo tanto, la batería tiene que

realizar un trabajo contra el inductor para generar una corriente.

Parte de la energía suministrada por la bateíra se convierte en

calor en la resistencia por el efecto Joule, mientras que la energía

restante se almacena en le campo magnético del inductor.

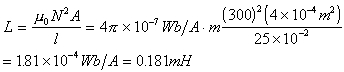
Si se multiplica cada término de la ecuación

por la

corriente I y se ordenan los términos de la expresión, se tiene:

M.C Arturo Reyes Espinoza

95



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

Esta ecuación dice que la razón con la cual la batería suminsitra

energía, IE, es igual a la suma del calor perdido en la resistencia

por efecto Joule, I2R, y la razón con la cual se almacena energía en

el inductor, LI (dI/dt). Por lo tanto, la ecuación anterior es una

expresión de la conservación de la nergía. Si Um designa la energía

almacenada en el inductor para cualquier tiempo, entonces la razon

dUm/dt con la cual se almacena energía en el inductor se puede

escribir en la forma

Para encontrar la energía almacenada en el inductor, se puede

escribir esta ecuación como dUm=LI dI e integrar :

donde L es constante y se ha saco la integral.

La ecuación anterior representa la energía almacenada como

energía magnética en el campo del inductor cuando la corriente es

I. Nótese que la ecuación es similar en forma a la ecuación de la

energía almacenada en el campo eléctrico de un capacitor,

Q²/2C. En cualquier caso, se puede ver que se realiza un trabajo

para establecer un campo. También se puede determinar la energía

por unidad de volumen, o densidad de energía, almacenada en un

campo magnético.

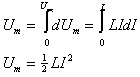
**6.4. Densidad de energía magnética**

Ya que Al es el volumen del selenoide, la energía almacenada por

unidad de volumen en un campo magnético está dada por

M.C Arturo Reyes Espinoza

96



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

Aunque la ecuación anterior se dedujo para el caso específico de

un soleniode, ésta es valida pora cualquier región del espacio en

donde exista un campo magnético. Obsérvese que es similar en

forma a la ecuación de la energía por unidad de volumen almacenada

por un campo eléctrico. En ambos casos la densidad de energía es

proporcional al cuadrado de la intensidad del campo.

**6.5. Inductancia Mutua**

Con frecuencia el flujo magnético a través de un circuito varía con

el tiempo como consecuancia de las corrientes variables que existen

en circuitos cercanos. Esto da origen a una fem inducida mediante

un proceso conocido como inducción mutua, llamada así proque

depende de la interacción de dos circuitos.

Consideremos dos bobinas devanadas en forma muy estrecha, como

se muestra en la vista de la sección trasversal de la figura 6.1. La

corriente I1 en la bobina 1, que tiene N1 espiras, genera líneas de

compo magnético, algunas de ellas atravesarán la bobina 2, que tine

N2 espiras.

M.C Arturo Reyes Espinoza

97

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

Fig. 6.1. Una vista de sección trasversal de dos bobinas

adyacentes. Una corriente en la bobina 1 genera un flujo, parte del

cual atraviesa a la bobina 2.

El flujo correspondiente a través de la bobina 2 producido por la

bobina 1 se representa por

21.

Se define la inductancia mutua

M21 de la bobina 2 con respecto a la bobina 1 como la razón de N2

21

a la corriente I1

La inductancia mutua depende de la geometría de los dos circuitos y

de sus orientaciones relativas entre sí. Es claro que al

incrementarse la separcación entre los circuitos, la inductancia

mutua decrece ya que el flujo que une a los dos circuitos decrece.

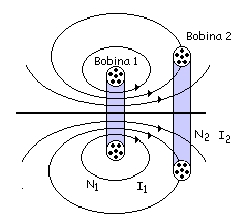
Si la corriente I1, varía con el tiempo, se puede ver por la ley de

Faraday y la ecuación anterior que la fem inducida en la bobina 2

por la bobina 1 está dada por

M.C Arturo Reyes Espinoza

98



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

De igual forma , si la corriente I2 varía con el tiempo, la fem

inducida en la bobina 1 por la bobina 2 está dada por

Estos resultados son semejantes en su forma a la expresión de la

fem autoinducida . La fem inducida por inducción mutua

en una bobina siempre es proporcional a la razón de cambio de la

corriente en la otra bobina. Si las razones con las cuales las

corrientes camiban con el tiempo son iguales (esto es, si

dI1/dt=dI2/dt), entonces se encuentra que E1=E2. Aunque las

constantes de proporcionalidad M12 y M21 aparenten ser diferentes,

se puede demostrar que son iguales. Entonces haciendo M12 = M21 =

M, las ecuaciones

en :

y

se convierten

y

La unidad de la inductancia mutua también es el henry.

Ejemplo 6.3. Inductancia mutua de dos solenoides.

Un solenoide de longitud l tiene N1 espiras, lleva una corriente I y

tiene un área A en su sección trasversal. Una segunda bobina está

devanada alrededor del centro de la primera bobina, como se

muestra en la figura 6.2. Encuentre la inductancia mutua del

sistema.

M.C Arturo Reyes Espinoza

99



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

Fig. 6.2. Una pequeña bobina de N2 vueltas enrolladas alrededor

del centro de un solenoide largo de N1 vueltas.

**Solución.**

Si el solenoide lleva una corriente I1, el campo magnético en el

centro está dado por

Como el flujo

21 a través de la bobina 2 debido a la bobina 1 es BA,

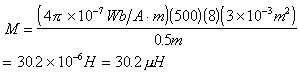
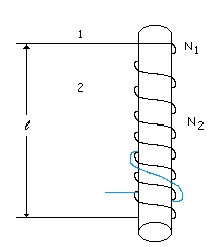
la inductancia mutua es :

Por ejemplo, si N1=500 vueltas, A=3X10-3m2, l=0.5m y N2=8

vueltas, se obtiene :

M.C Arturo Reyes Espinoza

100



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

**UNIDAD VII**

**APLICACIONES**

[7.1. Precipitadores Electrostáticos..](http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/electymagnet/tem7_1_.htm)

**7.1. Precipitadores electrostáticos**

Una aplicación importante de la descarga eléctrica en los gases es

un aparato llamado precipitador electrostático. Este aparato se

emplea para eliminar partículas de los gases de combustión,

reduciendo en consecuencia la contaminación del aire. Resultan

especialmente útiles en las plantas generadoras que queman carbón

y en las operaciones industriales que generan grandes cantidades

de humo. Los sistemas actuales pueden eliminar más del 99% de la

ceniza y el polvo del humo. En la figura 25.25, se muestra la idea

básica del precipitador electróstatico.

Un alto voltaje (usualmente de 40kV a 100kV) se mantiene entre un

alambre que baja por el centro de un ducto y la pared externa del

ducto es conectada a tierra. El alambre se mantiene a un potencial

negativo respecto de las paredes, y así el campo eléctrico está

dirigido hacia el alambre.

El campo eléctrico cerca del alambre alcanza valores

suficientemente altos como para provocar una corona de descarga

en torno a él, y la formación de iones positivos, electrones y iones

negativos como el O2. A medida que los electrones y los iones

negativos son acelerados hacia la pared exterior por el campo

eléctrico no uniforme, las partículas contaminantes que están en la

corriente del gas se cargan por las colisiones y la captura de iones.

Ya que la mayoría de las partículas cargadas son negativas, ésta

también son arrastradas haia la pared esterior del ducto por el

M.C Arturo Reyes Espinoza

101



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.T

campo eléctrico. Al sacudir periódicamente el ducto, las partículas

caen y se recogen en el fondo.

Además de reducir el nivel de gases peligrosos y partículas de

materia en la atmósfera, el precipitador electrostático también

recupera materiales valiosos que provienen de la chimenea en forma

de óxidos metálicos.

**BIBLIOGRAFIA**

**Física,**

**Serway,**

**Mc Graw-Hill,**

**Tercera Edición,**

**Tomo II.**

**Física, Conceptos y aplicaciones,**

**Tippens,**

**Mc Graw-Hill,**

**Tercera Edición.**

**Física con aplicaciones,**

**Wilson**

**Mc Graw-Hill,**

**Segunda Edición.**

**Física,**

**Paul A. Tipler,**

**Edit. Reverté, S. A.**

**Física General,**

**Sears/Zemansky,**

**Addison Wesley**

M.C Arturo Reyes Espinoza

102

