UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

FACULTAD REGIONAL CÓRDOBA

Física II Teórico

Hecho por Enrique Walter Philippeaux

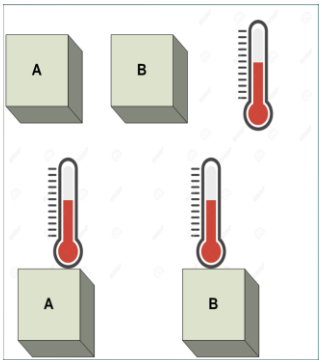
Con material de clase del Ing. Luis Oscar Manzano,
del resumen de Juan Pablo Martí (UTN-FRM),
y material del libro Serway (Volumen 1 y 2) 9na edición.

Año: 2021 – Curso: 2R4

CONTENIDO

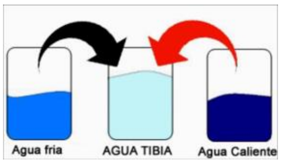
1 TERMOLOGÍA

1.1 TEMPERATURA / LEY 0 DE LA TERMODINÁMICA



Si dos cuerpos **A** y **B** están separados, pero ambos están en equilibrio térmico con un cuerpo **C**, **A** y **B** están en equilibrio térmico.

La temperatura, es lo que nos permite identificar si ambos cuerpos están en **equilibrio térmico,** ya que estarán a la misma temperatura.



El equilibrio térmico se logra cuando no hay intercambio de calor, es decir, cuando ambos cuerpos tienen la misma temperatura.

Algunas propiedades físicas que cambian con la temperatura son:

- El volumen de un líquido
- Las dimensiones de un sólido
- La presión de un gas a volumen constante
- El volumen de un gas a presión constante
- La resistencia eléctrica de un conductor
- El color de un objeto.

1.1.1 Contacto y equilibrio térmico

El **Contacto Térmico** es la situación en que dos cuerpos intercambian energía en forma de calor.
Estos cuerpos, alcanzan el **Equilibrio Térmico** cuando ya no se intercambia más energía. Quedan a la misma temperatura.

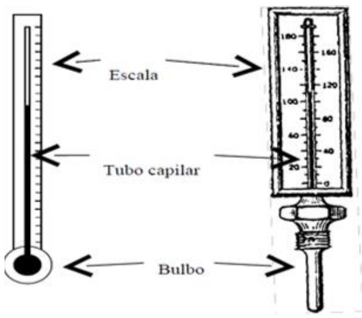
1.2 TERMÓMETROS

Los termómetros son dispositivos que sirven para medir la temperatura de un sistema.
Todos los termómetros se basan en el principio de que alguna propiedad física de un sistema cambia a medida que varía la temperatura del sistema.

1.2.1 Volumen de un líquido

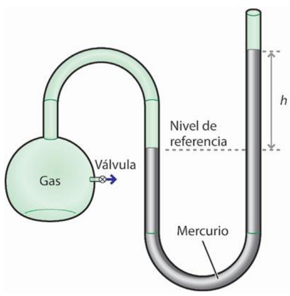
Funcionamiento del termómetro de mercurio, Inventado por Celsius.

El bulbo recibe calor del cuerpo a medir, esto causa que el líquido que contiene adentro se dilate y se expanda por el capilar donde podremos medir la expansión de este, y obtener así la temperatura.



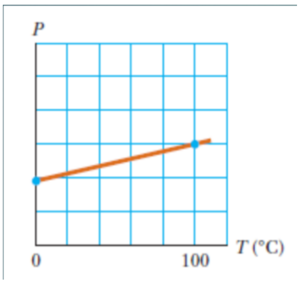
1.2.2 Presión de un gas a volumen constante

El termómetro de gas de constante es muy preciso, tiene un margen de aplicación extraordinaria: desde -27 °C hasta 1487 °C. Pero es más complicado, por lo que se utiliza más bien como un instrumento normativo para la graduación de otros termómetros.



1.2.3 Gas a volumen constante y escala absoluta de temperatura

Se aprovecha la variación de presión de un volumen de gas fijo debido a la temperatura. Se hace una calibración a 0 y 100ºC



Así tenemos dos puntos conocidos que usamos para elaborar la curva de variación. Esta correspondencia es casi lineal.

la presión es cero cuando la temperatura es -273.15°C

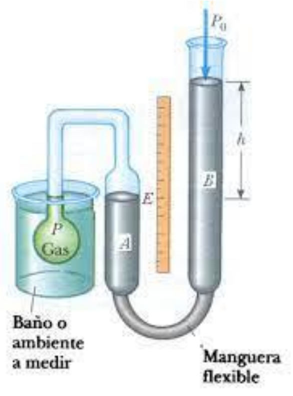
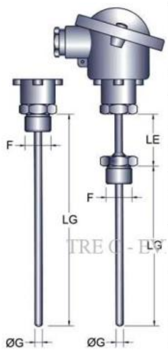


Figura 4

1.2.4 Resistencia eléctrica de un conductor

La resistencia a la termo-PT100 (comúnmente llamado "PT100") son adecuados para los elementos sensibles a la temperatura para medir la temperatura dada su especial sensibilidad, precisión y fiabilidad. Disponible en cualquier forma, tamaño y materiales, la PT100 se aplican habitualmente en todos los campos de aplicación donde la temperatura máxima de trabajo es ≤650ºC (1200°F).

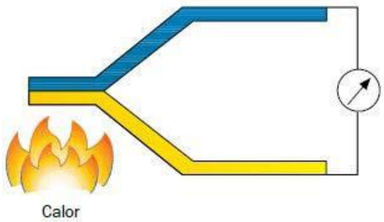


Temperatura [ºC]	Temperatura [ºF]	Resistencia [ohmios]
-200.00	-328.00	18.5201
-100.00	-148.00	60.2558
0.00	32.00	100.0000
100.00	212.00	138.5055
200.00	392.00	175.8560
300.00	572.00	212.0515
400.00	752.00	247.0920
500.00	932.00	280.9775
600.00	1112.00	313.7080
700.00	1292.00	345.2835
800.00	1472.00	375.7040
850.00	1562.00	390.4811

1.2.5 Termocuplas

Elementos bimetálicos que al calentarse genera un voltaje en relación con la temperatura.

Una termocupla se hace de dos alambres de distintos materiales unidos y uno de sus extremos (soldados generalmente). Al aplicar temperatura en la unión de los materiales se genera un voltaje (efecto Seebeck) muy pequeño del orden de los milivoltios el cual aumenta con la temperatura. La combinación es de un material magnético y otro no magnético. Diferentes combinaciones producen diferentes curvas de variación.



1.2.6 Color de un objeto

Cuando los objetos se calientan, emiten radiación infrarroja que puede ser captada con cámaras, o termómetros infrarrojos.

1.2.7 Dimensiones de un sólido

Se aprovecha la expansión térmica de los sólidos para medir cambios en temperatura.

1.3 ESCALAS DE TEMPERATURA

Celsius

$$T_F = \frac{9}{5}.T_C + 32°$$

Fahrenheit

$$T_C = \frac{5}{9}.(T_F - 32°)$$

$$T_K = T_C + 273$$

Kelvin

1.4 EXPANSIÓN TÉRMICA

1.4.1 Coeficiente de expansión térmica lineal promedio

Se identifica con alfa, es el cambio fraccionario en longitud por cada grado de cambio de temperatura.

$$\alpha = \frac{\Delta L}{Li \quad \Delta T}$$

1.4.2 Expansión térmica lineal

$$\boxed{\Delta L = \alpha . L_0 . \Delta T}$$

donde α es el coeficiente de expansión lineal, distinto para cada material, y cuyas unidades son $[\alpha] = \mathrm{K}^{-1}$ o $°\mathrm{C}^{-1}$.

Ésta fórmula sólo es correcta para ΔT relativamente pequeños.

1.4.3 Expansión térmica volumétrica

$$\boxed{\Delta V = \beta . V_0 . \Delta T}$$

donde β es el coeficiente de expansión de volumen, distinto para cada material, y cuyas unidades son $[\beta] = \mathrm{K}^{-1}$ o $°\mathrm{C}^{-1}$.

Ésta fórmula sólo es correcta para ΔT relativamente pequeños.

1.4.4 Relación entre los coeficientes

$$\boxed{\beta = 3.\alpha}$$

1.4.5 Esfuerzo Térmico (Módulo de Young)

Se calcula usando el módulo de Young:

$$Y = \frac{F/A}{\Delta L / L_0}$$

Para mantener constante la longitud de una varilla mientras se reduce la temperatura; se calcula el **esfuerzo térmico** con:

$$\frac{F}{A} = -Y.\alpha.\Delta T$$

1.5 CALOR

- La energía que se transfiere entre dos sistemas cuando hay una diferencia de temperatura entre ellos. Se manifiesta con la variación de la temperatura. Procede de la transformación de otras energías, originada por movimientos vibratorios de los átomos.
- 1 kcal = 1000cal = 4186 Joules
- 1 cal = 4,186 Joules
- 1 Btu = 0.252 cal

1.6 ENERGÍA INTERNA

- La energía interna es toda la energía de un sistema que se asocia con sus componentes microscópicos, átomos y moléculas, cuando se observa desde un sistema de referencia que está en reposo respecto al sistema.

1.7 CAPACIDAD CALORÍFICA $[\boldsymbol{C}]$

La cantidad de energía calorífica que se requiere para elevar la temperatura de una masa dada de sustancia a otra.

Capacidad calorífica ($\boldsymbol{C}$): de cualquier sustancia se define como la cantidad calorífica que se requiere para elevar la temperatura de la sustancia $1ºC$. Si decimos que Q unidades de calor se agregan a una sustancia y producen un cambio de temperatura ΔT

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \ \left[\frac{cal}{ºC}\right]$$

Observamos que la capacidad calorífica de un cuerpo es numéricamente igual a la cantidad de calor Q que hay que suministrarle para incrementar su temperatura en $1ºC$

1.8 CALOR ESPECÍFICO $[\boldsymbol{c}]$

Calor específico ($\boldsymbol{c}$): es la capacidad calorífica por unidad de masa:

$$c = \frac{C}{m} = \frac{Q}{m\,\Delta T} \quad \left[\frac{cal}{g\ ºC}\right]$$

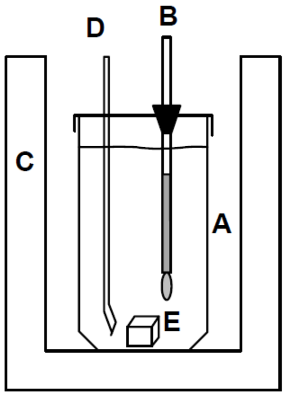
Cantidad de calor:

La cantidad de calor requerido para cambiar la temperatura de una cierta cantidad de masa es:

$$Q = m.c.\Delta T = m.c.(T_f - T_i) \quad [cal]$$

1.9 CALORÍMETRO DE AGUA

El calorímetro de agua se utiliza para determinar el calor específico de una sustancia.



1.9.1 Partes

A- Vasija metálica de paredes delgadas, capacidad aprox. 2 litros, con superficie exterior niquelada para reducir perdidas por radiación
B- Termómetro
C- Agitador
D- Envoltura impermeable al calor
E- Muestra

Para medir el calor específico de la muestra, se mide la temperatura de este, se mide la temperatura inicial del calorímetro, se inserta la muestra, se agita y se mide la temperatura ya en equilibrio.

1.9.2 Ecuaciones:

Partimos de el planteo de la primera ecuación:

$$m_c.c_c.(T_f - T_i) = m_A.c_A.(T_f - T_{ical}) + m_R.c_R.(T_f - T_{ical}) + m_{RE}.c_{RE}.(T_f - T_{ical}) + m_v.c_v.(T_f - T_{ical}) + m_{Hg}.c_{Hg}.(T_f - T_{ical})$$

Sacamos Factor común $c_A.(T_f - T_{ical})$

$$m_c.c_c.(T_f - T_i) = c_A.(T_f - T_{ical})\left[m_A + m_R\frac{c_R}{c_A} + m_{RE}\frac{c_{RE}}{c_A} + m_v\frac{c_v}{c_A} + m_{Hg}\frac{c_{Hg}}{c_A}\right]$$

Lo que se encuentra entre corchetes lo llamamos:

1.9.3 Equivalente en agua (π)

Es el equivalente en gramos de agua de la masa térmica del resto del calorímetro, ajustada por los calores específicos de cada uno de sus materiales. Es una propiedad del calorímetro con el que trabajamos.

Este valor se conoce cuando se trabaja con un calorímetro y la ecuación se reduce a:

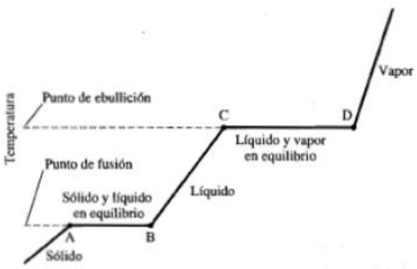
$$m_c.c_c.(T_f - T_i) = c_A.(T_f - T_{ical})[m_A + \pi]$$

1.10 CALOR LATENTE [Q]

Es la cantidad de energía calorífica por unidad de masa requerida para concretar el cambio de estado de una sustancia.

Para realizar un cambio de fase en la materia es requerida una cantidad de calor por unidad de masa.
Ese calor requerido es el **calor latente de fusión (L_f)** o **calor latente de vaporización (L_v)**, según el caso.
La cantidad de calor total necesaria será:

$$Q = \pm m.L$$



El eje X del grafico es Calor [Q], y el eje Y es Temperatura [T]

1.11 TRANSFORMACIÓN EN GASES

1.11.1 Gas ideal

Un gas ideal es un conjunto de átomos o moléculas que se mueven aleatoriamente sin ejercer fuerzas de gran alcance entre sí y que ocupan una fracción despreciable del volumen del recipiente que lo contiene.

En un cilindro confinado: *Se enuncia la:*

1.11.2 Ley de Boyle

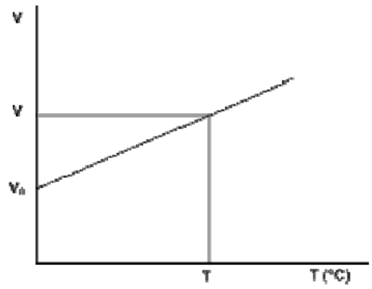
Si la temperatura es constante, la presión es inversamente proporcional al volumen.
Asumimos que la temperatura es la misma en ambos estados.

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1} \quad \therefore \quad P_1.V_1 = P_2.V_2 = cte$$

A presión constante: *Se enuncia la:*

1.11.3 Ley de Gay Lussac

Si la presión es constante, el volumen es directamente proporcional a la temperatura.



$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \qquad V = V_0[1 + \beta_0 T]$$

$$\beta_0 = 0.00366 = \frac{1}{273.15ºC}$$

1.11.4 Gas perfecto: Ecuación de estado

$$P\,V = n\,R\,T$$

Si la masa de un gas se mantiene constante **n = cte**. y el gas sufre una transformación cualquiera, pasando del estado 1 al 2 puede escribirse:

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

1.11.5 Constante universal de los gases

Se utiliza para establecer la relación entre **PRESIÓN** x **VOLUMEN** y **CANT. DE MOLES** x **TEMPERATURA** en la ecuación de los gases perfectos.

$$R = \begin{cases} = 0,08205746\left[\frac{\text{atm}\cdot\text{L}}{\text{mol}\cdot\text{K}}\right] \\ = 62,36367\left[\frac{\text{mmHg}\cdot\text{L}}{\text{mol}\cdot\text{K}}\right] \\ = 1,987207\left[\frac{\text{cal}}{\text{mol}\cdot\text{K}}\right] \\ = 8,314472\left[\frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}\right] \end{cases}$$

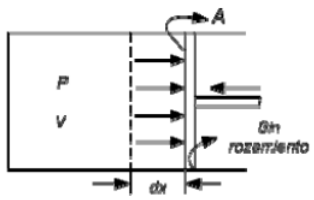
2 LOS PRINCIPIOS DE LA TERMODINÁMICA

Nota: En esta unidad no mencionamos el tema ENTROPÍA

Calor entrante ➔ $Q > 0$ Calor saliente ➔ $Q < 0$	Trabajo realizado por sistema sobre el entorno ➔ $W > 0$ Trabajo realizado por el entorno en el sistema ➔ $W < 0$

2.1 TRABAJO EN PROCESOS TERMODINÁMICOS

Las **variables de transferencias**: son aquellas que involucran transferencias de energía a través de las fronteras del sistema en uno y otro sentido. Por ejemplo, el calor, también se denominan variables de procesos.

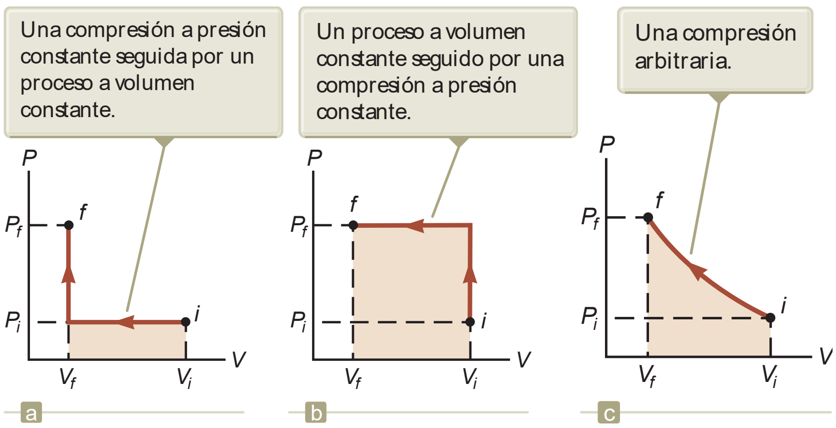


*El trabajo es una **variable de proceso**.*

$$P = \frac{F}{A} \quad \left[\frac{N}{m^2}\right] \quad [Pascal] \qquad W = \int_{v_i}^{v_f} P dv$$

- Si el gas se comprime consideremos negativo el trabajo
- Si el gas se expande consideramos positivo el trabajo
- Si el gas no cambia de volumen el trabajo es nulo

El trabajo realizado sobre un gas para llevarlo de un estado inicial a un estado final depende de la trayectoria seguida entre los puntos, y es igual al área debajo de la curva en el gráfico Presión y Volumen



2.2 PRIMERA LEY DE LA TERMODINÁMICA

$$\Delta U = Q - W$$

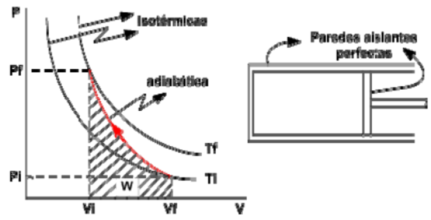
Donde ΔU es la energía interna del sistema (suma de la energía potencial propia y cinética propia)

Q y W dependen del camino, pero ΔU no depende del camino, solo depende del estado final y el inicial.

2.3 Clases de procesos termodinámicos

2.3.1 Proceso Adiabático

No entra ni sale calor del sistema $Q = 0 \rightarrow \Delta U = -W$

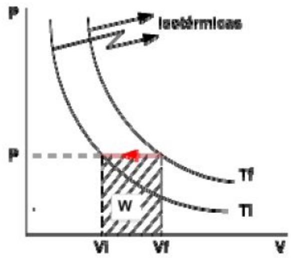


2.3.2 Proceso Isócoro

Se efectúa a volumen constante $W = 0 \rightarrow \Delta U = Q$

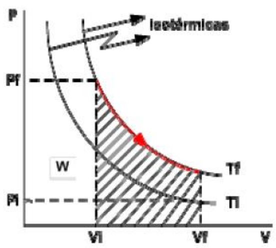
2.3.3 Proceso Isobárico

Se efectúa a presión constante, en general $Q \neq 0 \rightarrow W = P(V_2 - V_1) \neq 0$



2.3.4 Proceso Isotérmico

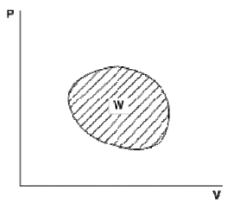
Se efectúa a temperatura constante $Q \neq 0 \rightarrow W \neq 0$



2.3.5 Proceso Cíclico

El proceso comienza y termina en el mismo estado. $\Delta U = 0 \rightarrow Q = W$

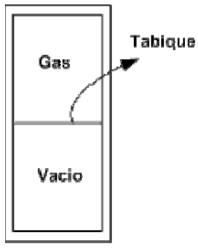
La variación de energía es 0. El trabajo neto realizado por el ciclo es igual al área delimitada por la trayectoria que representa el proceso en el diagrama PV



2.3.6 Expansión en el vacío

No se realiza trabajo exterior. $\Delta U = cte \quad \rightarrow \quad Q = 0 \;\; ; \quad W = 0$

Las energías internas inicial y final son iguales.



2.4 Calores específicos molares de un gas perfecto

Los gases tienen diferentes calores específicos

Capacidad calorífica molar:

$$C = c.M$$

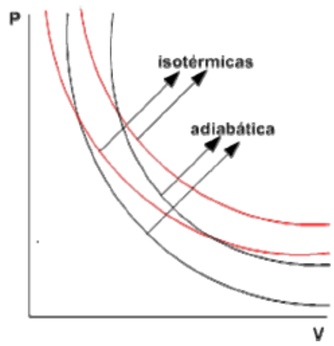
donde M es la masa molar o masa molecular del elemento o compuesto.

Capacidades caloríficas a presión constante: c_p y C_p

Capacidades caloríficas a volumen constante: c_V y C_V

$$(C_P - C_V) = \; R = 8{,}31 \left[\frac{J}{mol\ ºK}\right] \cong \; 2 \left[\frac{cal}{mol\ ºK}\right] \rightarrow cte.universal\ de\ los\ gases$$

2.5 Compresión adiabática de un gas perfecto



Cuando se comprime adiabáticamente un gas perfecto, el trabajo realizado sobre el gas incrementa su energía interna y como la energía interna de un gas depende solo de la temperatura esta se eleva.

Queremos encontrar la relación entre la temperatura T y el volumen V.

Partiendo de:

$$dQ = dU + P\, dV$$

$$P = \frac{n\,R\,T}{V} \quad ; \quad dQ = 0 \quad ; \quad dU = n\,C_V\,dT$$

$$n\,C_V\,dT + n\,R\,T\,\frac{dV}{V} = 0 \qquad \rightarrow \qquad C_V\frac{dT}{T} + R\frac{dV}{V} = 0$$

$$R = \; C_P - C_V; \;\; \delta = \frac{C_P}{C_V} \qquad \rightarrow \qquad \left[\frac{dT}{T} + \left(\frac{C_P}{C_V} - 1\right)\frac{dV}{V}\right]$$

$$\left[\frac{dT}{T} + (\delta - 1)\frac{dV}{V}\right] = 0$$

$$Ln\,T \; + \; (\delta - 1)Ln\,V = Ln\,C$$

$$T\,V^{\delta - 1} = C$$

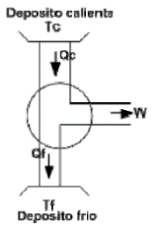
$$T_1\,{V_1}^{\delta - 1} = T_2\,{V_2}^{\delta - 1}$$

$$\boldsymbol{P_1\,{V_1}^{\delta} = P_2\,{V_2}^{\delta}}$$

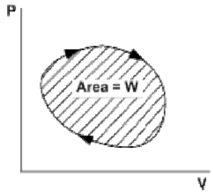
- $\delta = exponente\ adiabático$
- $\delta = 1{,}67\ para\ un\ gas\ monoatómico$
- $\delta = 1{,}40\ \ para\ un\ gas\ biatómico$

2.6 SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA (MÁQUINAS TÉRMICAS)

La máquina térmica es un dispositivo que convierte energía calorífica en otras formas de trabajo mecánico.



La máquina absorbe Q_C y realiza un trabajo W. Un Q_F se cede al depósito frio. El trabajo realizado por la maquina es igual al calor neto absorbido por la máquina. Si es un gas, el trabajo será igual al área encerrada por la curva del proceso en el diagrama $P\ V$.



La eficiencia es la relación entre la cantidad de trabajo y el calor absorbido y se expresa como: $\boldsymbol{\eta = \frac{W}{Q_C} = 1 - \frac{|Q_F|}{|Q_C|}}$

2.6.1 Kelvin-Planck

*No, no es Calvin Klein, el enunciado de Kelvin-Planck dice que **es imposible construir una máquina térmica que, funcionando cíclicamente, pueda absorber energía de un depósito y convertirla completamente en trabajo.***

2.7 PROCESOS REVERSIBLES E IRREVERSIBLES

Un proceso reversible es aquel para el cual el sistema puede revertirse a las condiciones iniciales a lo largo de la misma trayectoria y para la cual cada punto de la trayectoria está en un estado de equilibrio. Si no cumple estos requisitos será irreversible.

Los procesos naturales son irreversibles, siendo procesos reversibles una idealización.

Cuando un proceso real sucede muy despacio, de modo que el sistema está en cada momento muy cerca del equilibrio térmico este proceso se aproxima a un proceso reversible.

2.8 MÁQUINAS FRIGORÍFICAS

Trabajan a un régimen constante: $\Delta T = 0 \quad \therefore \quad \Delta U = 0$

- Ambiente (fuente caliente): T_2, su temperatura es $T_2 > T_1$
- Máquina:
  - funciona cíclicamente
  - Q_1 calor tomado de la fuente fría
  - Q_2 Calor desprendido al ambiente
  - W trabajo ejercido para hacer funcionar la máquina.
- $Q_1 - Q_2 = W$, pero el trabajo no puede ser negativo, sino que la maquina calienta más de lo que enfría: $Q_2 + W > Q_1$
- Rendimiento: $\eta = \frac{Q_1}{W}$

2.9 MÁQUINA DE CARNOT

El proceso $A \rightarrow B$ (figura a) es una expansión isotérmica a temperatura T_h. El gas se coloca en contacto térmico con un depósito de energía a temperatura Th. Durante la expansión, el gas absorbe energía Q_h del depósito a través de la base del cilindro y realiza trabajo W_{AB} para elevar el pistón.

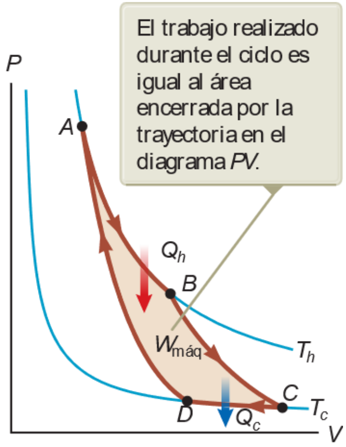


Figura 22.11 Diagrama *PV* para el ciclo de Carnot. El trabajo neto efectuado $W_{máq}$ es igual a la energía neta transferida en la máquina de Carnot en un ciclo, $|Q_h|$ 2 $|Q_c|$.

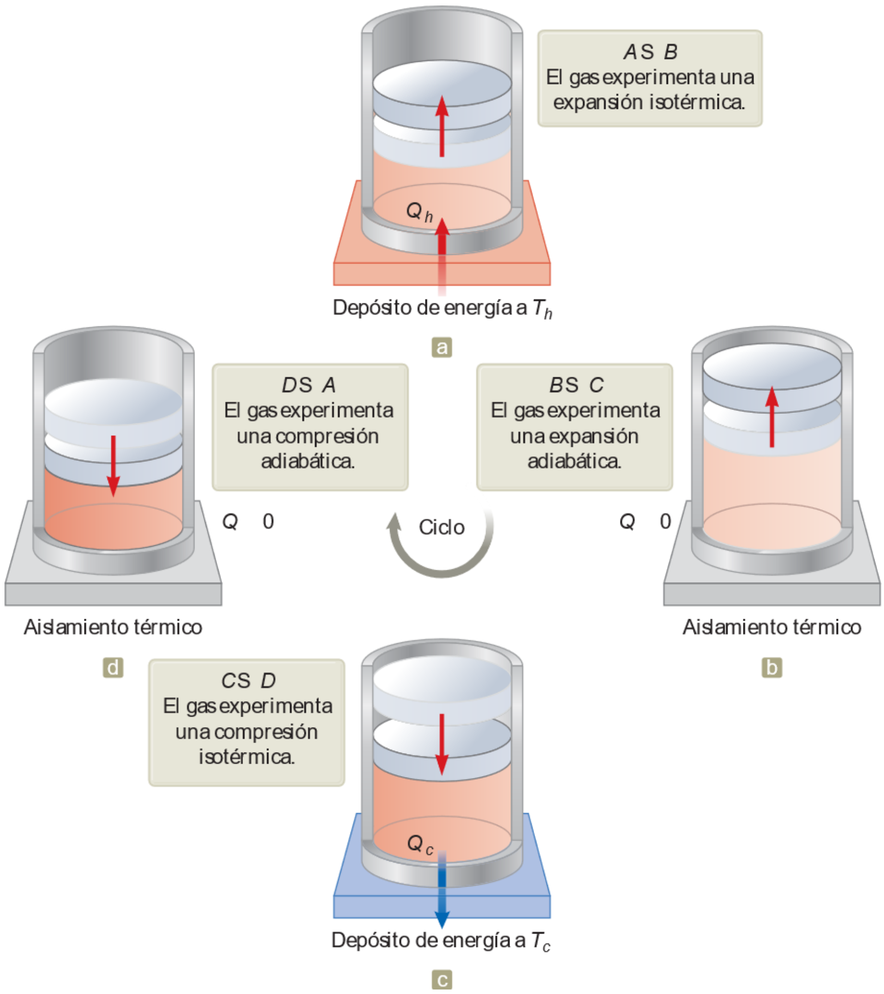
En el proceso $B \rightarrow C$ (figura b), la base del cilindro se sustituye por una pared térmicamente no conductora y el gas se expande adiabáticamente; esto es, no entra ni sale energía del sistema por calor. Durante la expansión, la temperatura del gas disminuye de T_h a T_c y el gas realiza trabajo W_{BC} para elevar el pistón.

En el proceso $C \rightarrow D$ (figura c), el gas se coloca en contacto térmico con un depósito de energía a temperatura Tc y se comprime isotérmicamente a temperatura T_c. Durante este tiempo, el gas expulsa energía Q_c al depósito y el trabajo que el pistón realiza sobre el gas es W_{CD}.

En el proceso final $D \rightarrow A$, (figura d), la base del cilindro se sustituye por una pared no conductora y el gas se comprime adiabáticamente. La temperatura del gas aumenta a T_h y el trabajo que el pistón realiza sobre el gas es W_{DA}. La eficiencia térmica de la máquina está dada por la ecuación

$$\eta = 1 - \frac{|Q_F|}{|Q_C|} = 1 - \frac{T_c}{T_h}$$

Se alcanza la eficiencia del 100% con una $T_c = 0\ ºK$



3 ELECTROSTÁTICA Y CAMPOS ELÉCTRICOS

3.1 PROPIEDADES DE LAS CARGAS ELÉCTRICAS

Las cargas del mismo signo se repelen y las cargas de signos opuestos se atraen.

Partícula	Protón	Neutrón	Electrón
Masa (m)	$1{,}67\,.\,10^{-27}kg$	$1{,}67\,.\,10^{-27}kg$	$9{,}11\,.\,10^{-31}kg$
Carga (q)	$+1{,}6\,.\,10^{-19}C$	$0\ C$	$-1{,}6\,.\,10^{-19}C$
Carga unitaria	$+1$	0	-1

Para los próximos conceptos, definimos lo que es la:

3.2 PERMITIVIDAD DEL VACÍO

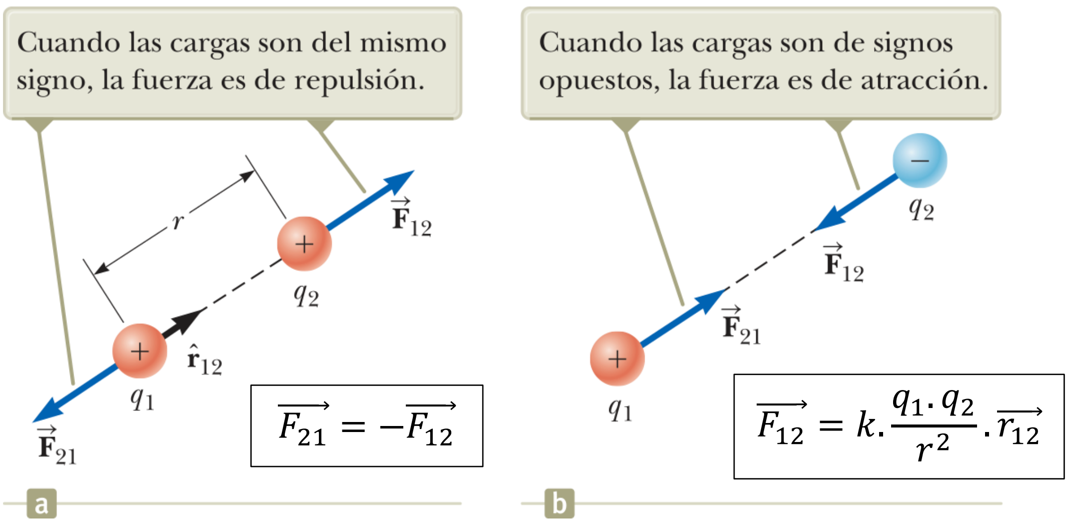
$$\varepsilon_0 = 8{,}84\,.\,10^{-12}\left[\frac{C^2}{N.m^2}\right]$$

3.3 LEY DE COULOMB

La fuerza de atracción o repulsión entre dos cargas puntuales es igual a una constante K, por el cociente entre las dos cargas eléctricas dividido a la distancia entre las cargas al cuadrado.

La constante K sirve para que la proporción, pase a ser una igualdad.

$$F_e = k.\frac{|q_1.q_2|}{r^2} \quad \text{donde: } k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9\,.\,10^9\left[\frac{N.m^2}{C^2}\right]$$



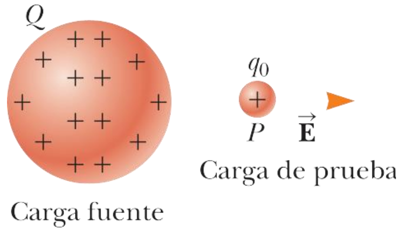
$$\overrightarrow{F_{21}} = -\overrightarrow{F_{12}}$$

$$\overrightarrow{F_{12}} = k.\frac{q_1.q_2}{r^2}.\overrightarrow{r_{12}}$$

3.4 CAMPO ELÉCTRICO $[\boldsymbol{E}]$

El campo eléctrico $\vec{E}$ en un punto es la fuerza por unidad de carga experimentada por una carga de prueba q_0 en ese punto.

En palabras del profe:
El campo eléctrico es la relación que existe entre una o varias fuerzas ejercidas por cargas "q" a el valor de la carga de prueba q0. Es una cantidad vectorial.



Este varía en función de la inversa de la distancia al cuadrado.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = k\frac{q}{r^2} \quad \left[\frac{N}{C}\right] \left[\frac{V}{m}\right]$$

La carga de prueba es positiva por convención.

Siendo q la carga generadora del campo.

Existe un campo eléctrico en un punto si una carga de prueba en dicho punto experimenta una fuerza eléctrica.

La carga de prueba es colocada únicamente para analizar el campo generado por la carga fuente.

3.4.1 Grupo de cargas puntuales

Cuando vamos a calcular el campo eléctrico en un punto **P** en un grupo de cargas puntuales:

1. Calculamos los vectores del campo eléctrico formados en el punto **P** por cada carga puntual **q**.

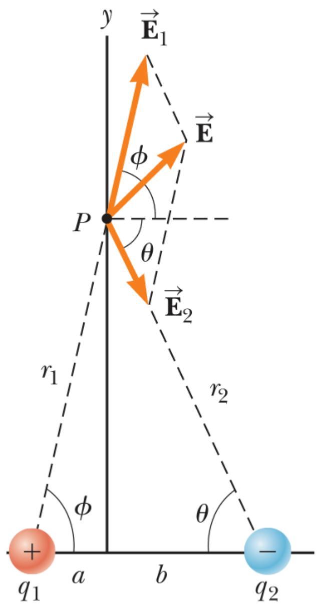
$$\overrightarrow{E_1} = k.\frac{|q_1|}{{r_1}^2} \rightarrow E_{1x} = k.\frac{|q_1|}{r_1.\cos\phi}\ ; E_{1y} = k.\frac{|q_1|}{r_1.\sin\phi}$$

$$\overrightarrow{E_2} = k.\frac{|q_2|}{{r_2}^2} \rightarrow E_{2x} = k.\frac{|q_2|}{r_2.\cos\theta}\ ; E_{2y} = k.\frac{|q_2|}{r_2.\sin\theta}$$

Nota: hay muchas maneras de escribir la distancia del denominador.

2. Se hace la suma vectorial y se obtiene el resultado.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = k\sum_i \frac{q}{{r_i}^2}\vec{r_i}$$

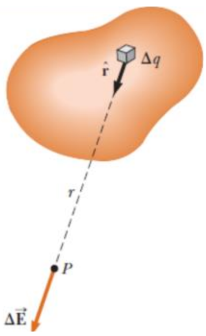


3.4.2 Cargas distribuidas

En la mayoría de los casos prácticos la separación media entre cargas es tan pequeña que puede suponerse que las cargas son continuas.

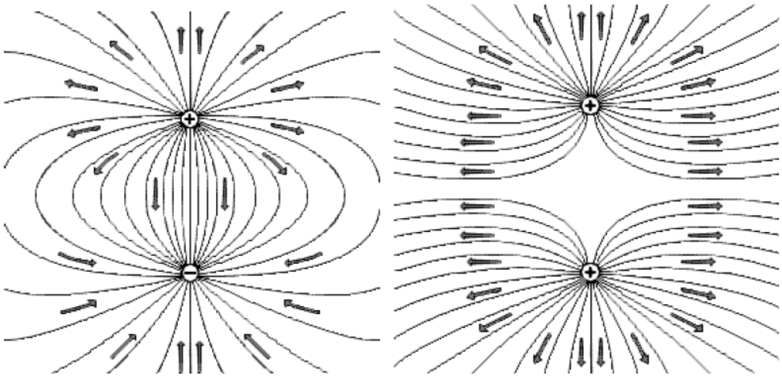
Si las cargas están embarradas en una distribución continua, la suma se transforma en una integral.

$$\overrightarrow{dE_\iota} = k\int\frac{dq}{{r_i}^2}\hat{r}_i \quad (suma\ vectorial)$$



3.5 DIPOLOS

Un dipolo es un par de cargas de diferentes signos.

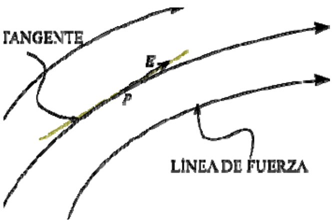


El campo eléctrico en un punto cualquiera cercano al dipolo seria la suma de los vectores del campo eléctrico. El campo creado en el punto p, es la suma vectorial entre las fuerzas de las cargas en se punto y cada una de las cargas del dipolo.

3.6 LÍNEAS DE CAMPO

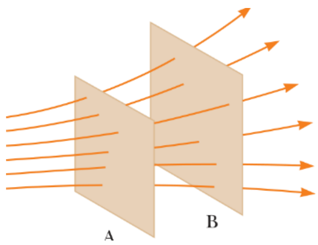
Una línea de campo eléctrico es una curva imaginaria dibujada a través de una región del espacio de manera que su tangente en cualquier punto tiene la dirección del vector de campo eléctrico en ese punto.

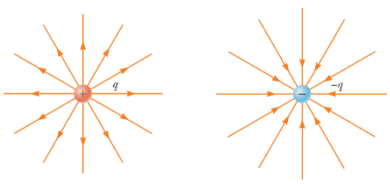
Las líneas de campo nunca se intersecan.



1. El vector E del campo eléctrico es tangente a la línea del campo eléctrico en cada punto. La dirección de la línea, indicada por una punta de flecha, es igual al vector del campo eléctrico. La dirección de la línea es la fuerza sobre una carga de prueba positiva colocada en el campo.

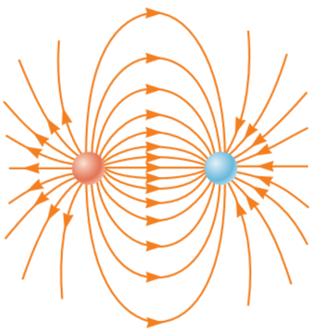
2. El número de líneas por unidad de área que pasan a través de una superficie perpendicular a dichas líneas es proporcional a la magnitud del campo eléctrico en dicha región. En consecuencia, las líneas de campo estarán cercanas donde el campo eléctrico sea intenso y separadas donde el campo sea débil.

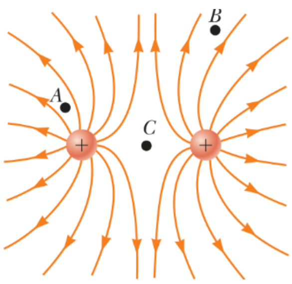




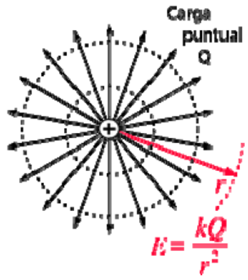
3. Las líneas de campo eléctrico de una carga positiva y negativas son radiales, en una carga eléctrica positivas las líneas son salientes, en una carga negativa las líneas son entrantes.

4. Líneas de campo eléctrico para dos cargas puntuales de igual magnitud y de signo opuesto (un dipolo eléctrico). El número de líneas que salen de la carga positiva es igual al número que termina en la carga negativa.





5. Líneas de campo eléctrico para dos cargas puntuales positivas.



6. La magnitud del campo eléctrico es la misma en todas las partes de la esfera por razones de simetría. Si N es el número de líneas que salen de la carga, el mismo número atraviesa la esfera.

3.6.1 Densidad de líneas

$$Densidad\ de\ lineas: \frac{N}{4\pi r^2}$$

El campo eléctrico E es proporcional a la densidad de líneas $E \propto \frac{1}{r^2}$

3.7 MOVIMIENTO DE PARTÍCULAS

Cuando una partícula con carga q y masa m se colocan en un campo eléctrico E, se ejerce una fuerza que le otorgará una aceleración:

Si el campo eléctrico es constante, la aceleración es constante.

$$\vec{F} = \vec{E}.q_0 = m.\vec{a} \qquad ; \qquad \vec{a} = \frac{\vec{E}.q_0}{m}$$

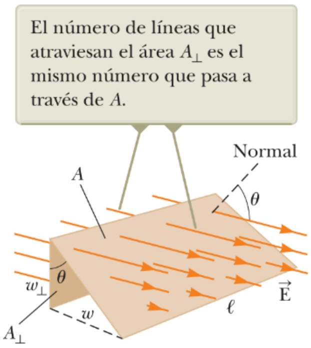
$$x(t) = x_i + v_i.t + \frac{a.t^2}{2} \qquad v_x = v_i + a.t \qquad {v_f}^2 = {v_0}^2 + 2.a.(x_f - x_i)$$

3.8 DENSIDADES DE CAMPO ELÉCTRICO

- **Densidad volumétrica de carga:** si la carga total Q está distribuida en un volumen se define como la carga por unidad de volumen $\rho = \frac{Q}{vol}\left[\frac{C}{m^3}\right]$
- **Densidad superficial de carga:** si la carga total Q está distribuida en una superficie se define como la carga por unidad de superficie $\sigma = \frac{Q}{A}\left[\frac{C}{m^2}\right]$
- **Densidad lineal de carga:** si la carga total Q está distribuida en una línea se define como la carga por unidad lineal: $\lambda = \frac{Q}{l}\left[\frac{C}{m}\right]$

3.9 FLUJO ELÉCTRICO $[\boldsymbol{\Phi_E}]$

Es el número de líneas de campo eléctrico que atraviesa una superficie.

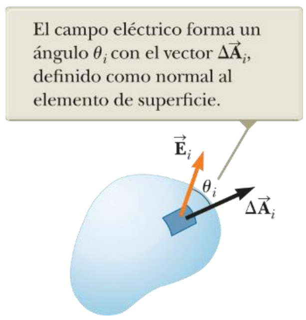


Si el campo eléctrico es uniforme, el cálculo del flujo se reduce a la ecuación:

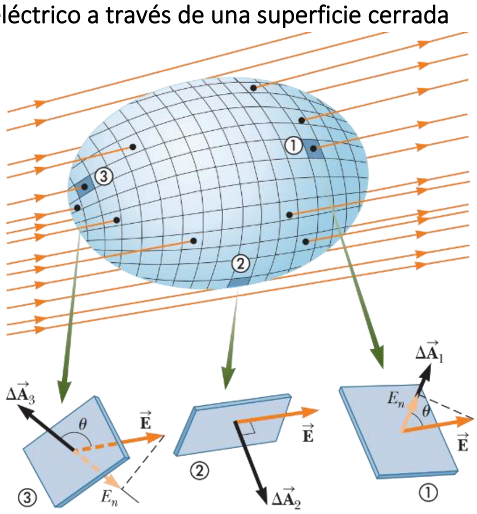
$$\Phi_E = \vec{E}.\vec{A} = E.A.\cos\theta \quad \left[\frac{N\,m^2}{C}\right]$$

Pero cuando el campo eléctrico es más general, debemos tomar diferenciales e integrar.

$$\Phi_E = \int \vec{E}.\overrightarrow{dA} \quad \left[\frac{N\,m^2}{C}\right]$$



3.9.1 Flujo eléctrico a través de una superficie cerrada



- Caso 1: El campo eléctrico se dirige hacia afuera. $\theta_i < 90º$ $\Phi_E > 0$
- Caso 2: El campo eléctrico no se dirige hacia afuera. $\theta_i = 90º$ $\Phi_E = 0$
- Caso 3: El campo eléctrico se dirige hacia adentro. $\theta_i > 90º$ $\Phi_E < 0$

Resumen:

- **Si hay más líneas que salen que las que entran el** $\Phi_E > 0$
- **Si hay más líneas que entran que las que entran el** $\Phi_E < 0$

3.10 LEY DE GAUSS

*En una superficie gaussiana **CERRADA**, el flujo eléctrico neto será igual a la carga neta dentro de esta dividido a la permeabilidad dieléctrica del vacío. Si no tiene carga en su interior, el flujo es 0.*

$$\Phi_E = \oint \vec{E}.\overrightarrow{dA} = \frac{q_{int}}{\varepsilon_0}$$

3.10.1 Aplicación a lámina cargada no conductora

El campo eléctrico es normal a la superficie de la lámina. El plano de carga positiva tiene una densidad de carga superficial uniforme: $\sigma = \frac{Q}{A}$.

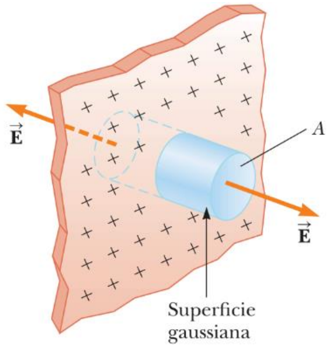


Figura 24.13 (Ejemplo 24.5) Superficie gaussiana cilíndrica que penetra un plano infinito de carga. El flujo es EA a través de cada extremo de la superficie gaussiana y cero a través de su superficie curva.

Siendo $\vec{A}$ el vector normal a la superficie, entonces el campo eléctrico $\vec{E}$ debe ser perpendicular al plano en todos los puntos:

$$\Phi_E = |\vec{E}|.|\vec{A}|.\cos(0) = E.A \qquad \leftrightarrow \qquad \vec{E} \perp \vec{A}$$

Como el cilindro tiene la misma superficie de ambos lados, los vectores del campo eléctrico son iguales, pero salientes para ambos, entonces:

$$\Phi_E = 2.E.A = \frac{q_{int}}{\varepsilon_0} = \frac{\sigma A}{\varepsilon_0}$$

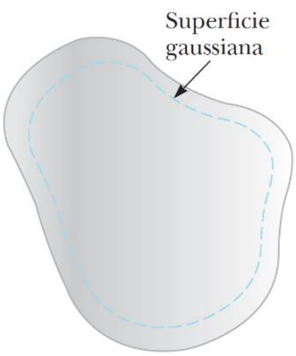
Despejando queda la ecuación final:

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$$

3.10.2 Conductores en equilibrio electrostático

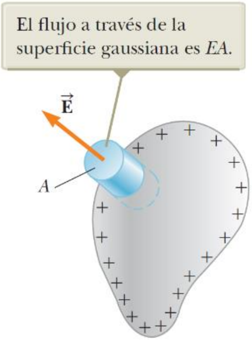
Cuando dentro de un conductor **no existe ningún movimiento neto de carga** el conductor está en equilibrio electrostático. Tiene las siguientes propiedades:

1. En el interior del conductor el campo eléctrico es cero, si el conductor es sólido o hueco.
2. Si un conductor aislado tiene carga, está siempre residirá en su superficie.
3. El campo eléctrico justo fuera de un conductor con carga es normal a la superficie del conductor y tiene una magnitud $\frac{\sigma}{\varepsilon_0}$ donde σ es la densidad de carga superficial en ese punto.
4. En un conductor de forma irregular, la densidad de carga superficial es máxima en aquellos puntos donde el radio de curvatura de la superficie sea menor. (Es decir, que haya mayor cantidad de superficie en un menor volumen)



La figura muestra un conductor de forma arbitraria. Se ha dibujado una superficie gaussiana en el interior del conductor, que puede acercarse a la superficie del conductor tanto como se desee. Como acaba de ver, el campo eléctrico en todos los puntos del interior del conductor es igual a cero cuando se encuentra en equilibrio electrostático.

Por lo tanto, el campo eléctrico debe ser cero en todos los puntos de la superficie gaussiana, y el flujo neto que pasa a través de la superficie gaussiana es cero. De este resultado y de la ley de Gauss se concluye que la carga neta en el interior de la superficie gaussiana es cero.



La carga del conductor reside en la superficie, por lo que en su interior es nula. Esto es debido al equilibrio electrostático: Las cargas siempre residen en la superficie exterior.
Si yo elaboro una “superficie gaussiana”, que se acerque infinitesimalmente a la superficie exterior del conductor, se comprueba que la carga en su interior = 0.

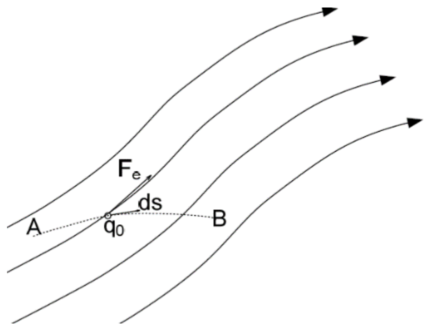
Si consideramos el siguiente cilindro, el campo es perpendicular a la superficie.
El flujo de la superficie gaussiana solo corre para el extremo superior del cilindro.

$$\Phi_E = E.A = \frac{q_{int}}{\varepsilon_0} = \frac{\sigma A}{\varepsilon_0} \quad \therefore \quad E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$

4 POTENCIAL ELÉCTRICO

4.1 TRABAJO ELÉCTRICO

La fuerza F_E que se genera sobre una carga q_0 en un campo eléctrico E es **conservativa**, Por lo que podemos avanzar hacia la definición del trabajo que hace esa fuerza.



$$dW = q_0.\vec{E}.\overrightarrow{ds}$$

El trabajo realizado para mover la carga de A a B es:

$$W = q_0 \int_A^B \vec{E}.\overrightarrow{ds}$$

4.2 ENERGÍA POTENCIAL ELÉCTRICA [$\Delta \boldsymbol{U}$]

Es el negativo del trabajo.

La energía potencial eléctrica de una carga situada en una posición **A** equivale al trabajo realizado por una fuerza externa para trasladar dicha carga desde el infinito hasta dicha posición **A**, o, dicho de otra forma, el opuesto del trabajo realizado por la fuerza eléctrica para llevarla desde el infinito hasta **A**.

La energía potencial queda:

$$\Delta U = U_B - U_A = -W = -q_0 \int_A^B \vec{E}.\overrightarrow{ds}$$

Una cosa es **energía potencial eléctrica**, y otra es **potencial eléctrico**.
El primero se mide en **JOULE** y depende de la carga en cuestión.
El segundo se mide en **VOLTIOS** y no depende de la carga.

4.3 POTENCIAL ELÉCTRICO [$\boldsymbol{V}$]

Es energía potencial por unidad de carga. Su unidad es Volt.

El potencial eléctrico en un punto del espacio de un campo eléctrico es la energía potencial eléctrica relativa que adquiere una unidad de carga positiva situada en dicho punto.

$$V = \frac{U}{q_0} = -\vec{E}.\overrightarrow{ds}$$

$$\boxed{V = \frac{U}{q_0} \quad \left[\frac{J}{C}\right], [V]}$$

El potencial eléctrico no es una propiedad del sistema carga-campo, sino exclusivamente del campo. Si sacamos la carga de prueba el potencial sigue existiendo mientras exista el campo.

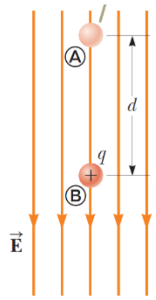
4.4 DIFERENCIA DE POTENCIAL [ΔV]

La diferencia de potencial es lo que comúnmente medimos como "voltaje". Por convención se elige un punto de potencial cero denominado tierra. Este punto suele tomarse en el infinito.

$$\Delta V = V_B - V_A = \frac{\Delta U}{q_0} = -\int_A^B \vec{E}.\overrightarrow{ds}$$

$$Si\ V_A = 0\ en\ el\ infinto \quad \therefore \quad en\ el\ punto\ p: V_p = -\int_\infty^p \vec{E}.\overrightarrow{ds}$$

4.4.1 En un campo eléctrico uniforme



En la imagen, ya que la dirección del vector desplazamiento $\overrightarrow{ds}$ y del vector campo eléctrico $\vec{E}$ ($\vec{E} \parallel \overrightarrow{ds}$), la diferencia de potencial se simplifica a: $\Delta V = -E\ d$ Y la diferencia de **energía** potencial es: $\Delta U = -q_0\ E\ d$

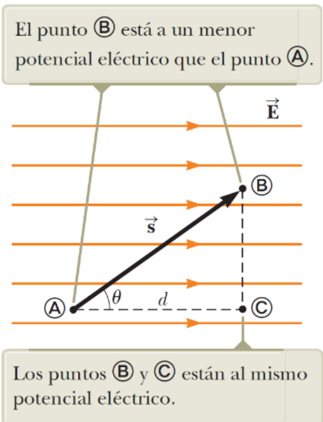
Con cargas positivas:
Cuando la carga se mueve en dirección del campo, la energía potencial eléctrica disminuye. Cuando lo hace en sentido contrario, aumenta.
Cuando la carga (positiva) se encuentra en el infinito, la energía potencial eléctrica es 0.
Cuando la carga (positiva) se encuentra en la carga generadora del campo, la energía potencial eléctrica es infinita.
Con cargas negativas:
Mientras más cerca la carga del origen del campo, la fuerza de atracción mayor.
Cuando la carga se mueve e**n dirección del campo contrario al campo** (**hacia el origen**, ósea la carga positiva), **la energía potencial eléctrica aumenta**.
Cuando la carga se mueve **en dirección del campo eléctrico**, (**hacia afuera** del origen), la **energía potencial eléctrica disminuye**, y por **ley de conservación de la energía**, debe haber un **agente externo** que provoque el **trabajo positivo** necesario en la carga.

El signo negativo se debe a que en el punto **B** se encuentra a menor potencial que en el punto **A**. ($V_B < V_A$). Las líneas de campo siempre están dirigidas a puntos de menor potencial. Si la carga de prueba q_0 se mueve desde **A** hasta **B**, el cambio de energía potencia sería:

$$Si\ q_0 > 0, (es\ positiva) \quad \therefore \quad \Delta U < 0, (disminuye)$$
$$Si\ q_0 < 0, (es\ negativa) \quad \therefore \quad \Delta U > 0, (aumenta)$$

Esto último se debe a que la partícula se acelera en sentido contrario al campo. Esta adquiere **energía potencial eléctrica** U cuando la carga se mueve en **dirección** $\vec{E}$ del campo.

4.4.2 Superficies equipotenciales



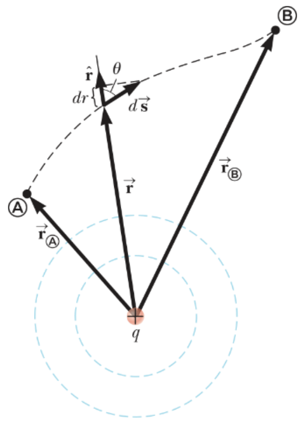
En un caso más general del anterior, con un campo eléctrico uniforme, todos los puntos en un plano perpendicular tendrán el mismo potencial eléctrico.

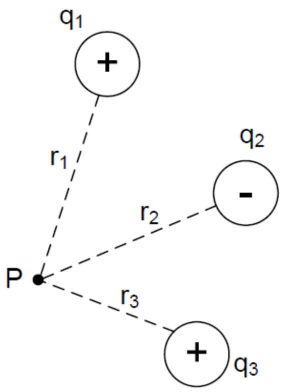
$$\Delta V = -\vec{E}.\overrightarrow{ds} \quad \therefore \quad V_B = V_C$$

Este plano se denominaría una **superficie equipotencial**, y siempre <u>la diferencia de potencial entre dos puntos dentro de esa superficie es 0.</u>

4.4.3 A causa de cargas puntuales

Podemos imaginar que "<u>radialmente</u>" es un campo uniforme. Ya que el potencial eléctrico y la **energía potencial** eléctrica varían solo a causa de la distancia $\boldsymbol{r}$ a la carga $\boldsymbol{q}$ y a la carga misma.





$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}.\frac{q}{r} = k\frac{q}{r}$$

Si tenemos varias cargas puntuales, el potencial eléctrico se resume con la sig. suma algebraica:

$$V = k\sum\frac{q_i}{r_i}$$

No confundir con la fórmula de fuerza eléctrica, esta lleva $\boldsymbol{r}$ en el denominador, no $\boldsymbol{r}^{\mathbf{2}}$.

4.5 CÁLCULO DEL VALOR DEL CAMPO ELÉCTRICO A PARTIR DEL POTENCIAL ELÉCTRICO

El campo eléctrico E y el potencial V están relacionados por la expresión:

$$\Delta V = -\int_A^B \vec{E}.\overrightarrow{ds}$$

Derivamos para quitar la integral, y resolvemos, suponiendo que el campo eléctrico E tiene solo componente en el eje x:

$$dV = -\overrightarrow{E_x}.\overrightarrow{dx} \quad \therefore \quad \overrightarrow{E_x} = \frac{dV}{dx}$$

El campo eléctrico es igual al negativo de la derivada del potencial respecto a la coordenada.

4.5.1 Caso de una carga puntual

El potencial depende solo de **r**, asique el potencial se define así:

$$V = k\frac{q}{r} \quad ; \quad E = k\frac{q}{r^2}$$

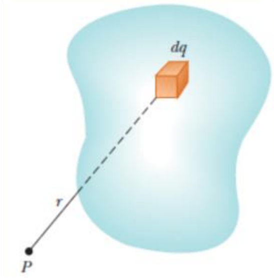
Eso determina una **superficie equipotencial** a la cual el **campo eléctrico** es **normal**.

4.5.2 Gradiente de potencial

En su forma más general el campo es función de tres coordenadas espaciales.
En el caso de coordenadas rectangulares, denominamos al **gradiente de potencial**:

$$\vec{E} = -\left\langle \frac{dV}{dx} \middle| \frac{dV}{dy} \middle| \frac{dV}{dz} \right\rangle$$

4.6 POTENCIAL ELÉCTRICO DEBIDO A DISTRIBUCIONES DE CARGA CONTINUAS



Existen dos maneras de calcular el potencial eléctrico debido a una distribución de carga continua. Si conoce la distribución de carga, considere el potencial debido a un elemento de carga dq pequeño, y trate a este elemento como una carga puntual como se muestra en la figura. Por la siguiente ecuación el potencial eléctrico dV en algún punto P, debido al elemento de carga dq, es:

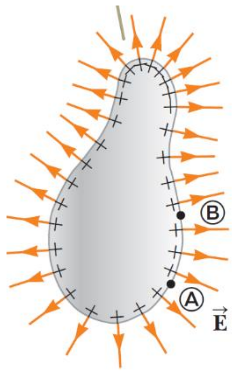
$$dV = k\frac{dq}{r}$$

donde r es la distancia desde el elemento de carga al punto P. Para tener el potencial total en el punto P, integramos la ecuación a fin de incluir las contribuciones de todos los elementos de la distribución de carga. Ya que cada elemento está, por lo general, a una distancia diferente del punto P, y k es constante, expresamos V como

$$V = k\int\frac{dq}{r}$$

Luego, reemplazo dq por la distribución de carga multiplicando a la dimensión, dependiendo de la geometría del problema: $\boldsymbol{dq = \lambda.dl}$; $\boldsymbol{\sigma.dA}$; $\boldsymbol{\rho.dV}$

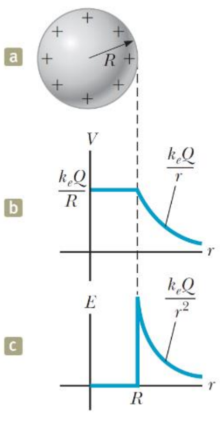
4.7 POTENCIAL ELÉCTRICO A CAUSA DE UN CONDUCTOR CON CARGA



El campo eléctrico justo en el exterior del conductor es siempre normal a la superficie, y tiene un valor de: $E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$

Como el campo es normal a la superficie, la diferencia de potencial entre A y B es 0. $\Delta V = -\int_A^B \vec{E}.\overrightarrow{ds} = 0$

<u>*Todos los puntos de la superficie de un conductor cargado en equilibrio electrostático se encuentran al mismo potencial eléctrico.*</u>



Dentro de la esfera: El campo es nulo, porque las cargas eléctricas residen en la superficie exterior de la esfera.

Por lo anterior, en el interior de la esfera, el potencial eléctrico es constante, e igual al de la superficie exterior de la esfera.

No es necesario realizar trabajo para mover una carga dentro del conductor.
Consideremos una esfera conductora de radio R y carga positiva Q:

El potencial en el exterior de la esfera es:

$$V = k\frac{Q}{r} \quad para\ r > R$$

Si el conductor esférico tiene carga neta distinta de cero la densidad superficial de carga (σ) es uniforme.

5 CAPACITORES

Un capacitor es un dispositivo que almacena **Energía Potencial Eléctrica** y **Carga Eléctrica**. Este se construye aislando dos conductores y se carga realizando un trabajo, el cual se almacena como **Energía Potencial Eléctrica**.

La capacidad de un capacitor. es carga por unidad de potencial. Esta depende de la geometría.

5.1 CAPACITANCIA $[F]$

En un capacitor conectado a una fuente, la carga Q ($+Q$ en la placa positiva, y $-Q$ en la placa negativa) es directamente proporcional a la diferencia de potencial ΔV aplicada. Entonces:

$$C = \frac{Q}{\Delta V} \ \left[\frac{C}{V}\right] \ [F] \ faradios$$

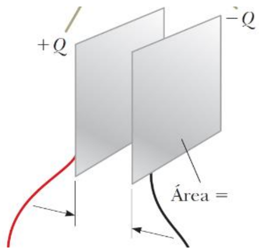
Donde C es una constante llamada **capacitancia**, propia a cada capacitor en especial.

La capacitancia es una medida de la habilidad del capacitor para almacenar energía y depende solamente de la forma y el tamaño de los conductores y del aislante colocado entre ellos.

5.2 CÁLCULO DE CAPACITORES EN EL VACÍO

Recordar: $\varepsilon_0 = 8{,}85.10^{-12}\left[\frac{C^2}{N.m^2}\right] \ \left[\frac{F}{m}\right]$

5.2.1 Capacitor de placas paralelas

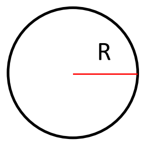


Partimos de: $E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} = \frac{Q}{\varepsilon_0.A}$ $\quad y \quad$ $\Delta V = E.d = \frac{Q.d}{\varepsilon_0.A}$

Resolvemos: $C = \frac{Q}{\Delta V} = \frac{Q}{\frac{Q.d}{\varepsilon_0.A}}$

$$\boxed{C = \frac{\varepsilon_0.A}{d}}$$

5.2.2 Capacitor esférico

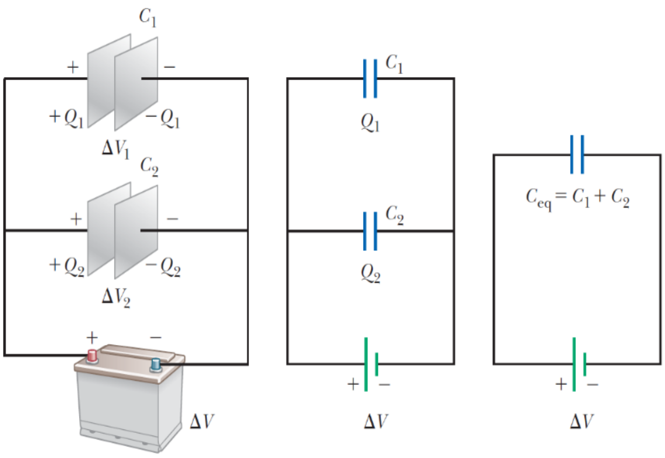


Partimos de: $C = \frac{Q}{V}$ $\quad y \quad$ $V = k\frac{Q}{R} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{R}$

Reemplazamos y resolvemos: $C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{R}}$

$$\boxed{C = 4\pi\varepsilon_0 R}$$

5.3 CAPACITORES EN PARALELO



Los capacitores se encuentran a la misma diferencia de potencial:

$$\Delta V_1 = \Delta V_2 = \Delta V$$

Ambos capacitores se comportan como uno solo, y se cargan y descargan a la misma velocidad:

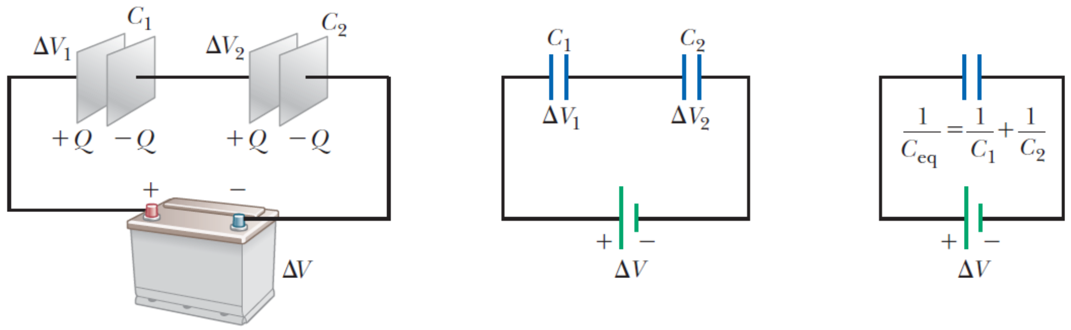
$$Q_{total} = Q_1 + Q_2 = C_{eq}\,\Delta V$$

Reemplazando:

$$C_{eq} = \frac{Q_{total}}{\Delta V} = \frac{Q_1 + Q_2}{\Delta V} = \frac{Q_1}{\Delta V} + \frac{Q_2}{\Delta V}$$

$$\boxed{C_{eq} = C_1 + C_2 + \cdots + C_n \ (paralelo)}$$

5.4 Capacitores en serie



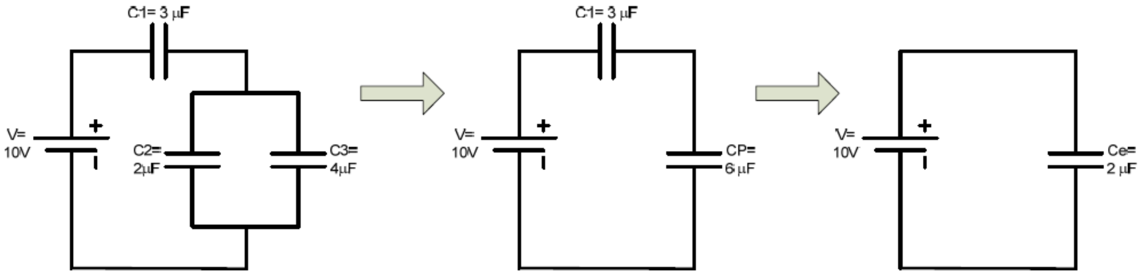
Al cargarse, los electrones se transfieren de un capacitor a otro, en el proceso se logra que **las cargas de los capacitores conectados en serie sean iguales**. $Q_1 = Q_2 = Q$

$$\Delta V_{total} = \Delta V_1 + \Delta V_2 = \frac{Q}{C_{eq}}$$

$$\frac{\Delta V}{Q} = \frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

$$\boxed{C_{eq} = \left({C_1}^{-1} + {C_2}^{-1} + \cdots + {C_n}^{-1}\right)^{-1} \ (serie)}$$

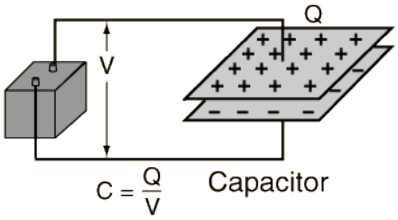
5.5 Combinación de capacitores



1. Calculo el capacitor paralelo: $C_P = C_2 + C_3 = 2\mu F + 4\mu F = 6\mu F$
2. Calculo capacitor serie y determino el capacitor equivalente:
   $C_{eq} = \left({C_1}^{-1} + {C_P}^{-1}\right)^{-1} = (3\mu F^{-1} + 6\mu F^{-1})^{-1} = 2\mu F$
3. Calculo la carga equivalente: $Q_{eq} = C_{eq}.V = 2\mu F.10V = 20\mu C$
4. Los capacitores en serie tienen la misma carga:
   $Q_{eq} = Q_1 = Q_P = 20\mu C$
5. Calculo las diferencias de potencial en cada capacitor:
   $V_{C_1} = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{0{,}2\mu C}{3\mu F} = 6{,}66\ V$
   $V_{C_P} = \frac{Q_P}{C_P} = \frac{0{,}2\mu C}{6\mu F} = 3{,}33\ V$
6. Podemos calcular la carga en los capacitores que están en paralelo:
   $Q_2 = C_2.V_{C_P} = 2\mu F.3{,}33\ V = 6{,}66\ \mu C$
   $Q_3 = C_3.V_{C_P} = 4\mu F.3{,}33\ V = 13{,}32\ \mu C$

5.6 ENERGÍA ALMACENADA EN UN CAPACITOR

¿Cuál es la forma y la energía en un capacitor almacenado?
Es energía potencial eléctrica, se almacenan cargas en cada placa del capacitor.



Al cargar y descargar un capacitor se realiza un trabajo.
El trabajo requerido para cargar el capacitor viene de:

$$dW = \Delta V\, dq = \frac{q}{C}\, dq$$

Si integramos, queda este trabajo:

$$W = \int_0^Q \frac{q}{C}\, dq = \frac{1}{C}\int_0^Q q\, dq = \frac{Q^2}{2C}$$

$$W = \int_0^Q \frac{q}{C} dq = \frac{1}{C}\int_0^Q q\; dq = \frac{Q^2}{2C}$$

y la energía de este trabajo, tiene que deparar en la **energía potencial eléctrica** almacenada en el capacitor, que se resume con:

$$U = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2} Q\, V = \frac{1}{2} C\, V^2$$

Este resultado nos muestra que la energía almacenada es independiente de la geometría.

Surge algo llamado la **densidad de energía**, y está dada por la siguiente ecuación:

$$\mu_e = \frac{U}{vol} = \frac{1}{2}\varepsilon_0\, E^2$$

También podemos calcular la Energía Potencial de un Capacitor integrando la densidad de energía:

$$U = \int \mu_e\, dV$$

donde dV es el diferencial de volumen que dependerá de la forma del capacitor.

5.7 DIELÉCTRICOS $[\boldsymbol{K}]$

Cuando colocamos un material dieléctrico entre las placas, aumenta la diferencia de potencial máxima posible sin que ocurra la ruptura dieléctrica y entre en conducción. Además, la carga Q se mantiene, pero el potencial V disminuye, por lo que la capacitancia C aumenta

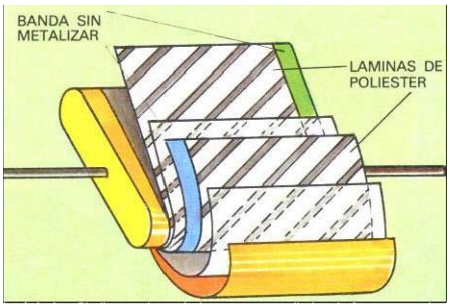
$$K = \frac{C}{C_0} \qquad ; \qquad C > C_0$$

Constante Dieléctrica

Esta constante toma valor **1** en el vacío, y mayor que **1** para otros materiales (a 20ºC)

Otro derivado de esta expresión es la:

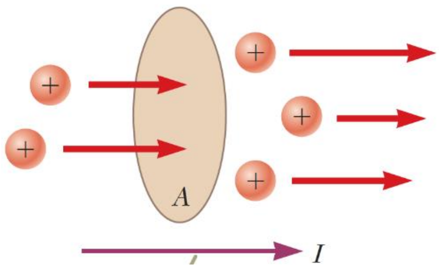
$$Capacidad\ específica\ de\ inducción\text{:}\ \varepsilon = K.\varepsilon_0$$



Los dieléctricos proporcionan las siguientes ventajas:

- Aumenta la capacidad
- Aumenta el máximo voltaje de operación
- Actúa como soporte mecánico soporte para placas

6 CORRIENTE ELÉCTRICA $[\boldsymbol{I}]$



Es la cantidad de carga que pasa por un área determinada en una unidad de tiempo.

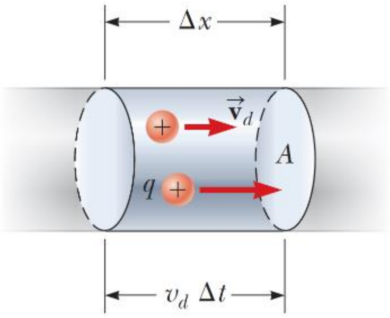
$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad \left[\frac{Q}{s}\right] \quad [A]$$

La corriente instantánea está dada por la derivada de la anterior: $I_{inst} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{dQ}{dt}$

6.1 SENTIDO CONVENCIONAL DE LA CORRIENTE

Es el sentido del flujo de las cargas positivas, independientemente del signo real que tengan las cargas en movimiento. La dirección de la corriente es opuesta al flujo de electrones

6.2 VELOCIDAD DE ARRASTRE



También podemos definir la corriente a través de $\boldsymbol{n}$ (concentración de partículas por unidad de volumen en $\boldsymbol{m^3}$), $\boldsymbol{v_d}$ (velocidad de arrastre de las partículas), $\boldsymbol{A}$ (área de la sección de conductor) y $\boldsymbol{q}$ (carga de cada partícula), de la siguiente manera:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = n.A.q.v_d$$

6.3 DENSIDAD DE CORRIENTE

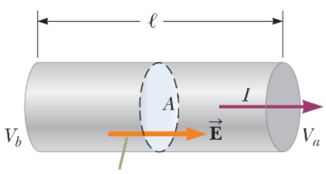
Definimos también **densidad de corriente** J como la corriente que pasa por una unidad de área transversal:

$$J = \frac{I}{A} = n.q.v_d \quad \left[\frac{A}{m^2}\right]$$

6.4 RESISTENCIA Y RESISTIVIDAD $[\boldsymbol{R}]$

Un material que obedece la Ley de Ohm razonablemente bien se conoce como conductor óhmico o lineal. Para tales materiales, a una temperatura dada, la **resistividad** (ρ) es constante y no depende del campo eléctrico E.

$$\rho = \frac{E}{J} \quad [\Omega.m]$$



También se encuentra lo que se llama la **conductibilidad** ($\sigma = \rho^{-1}$) que afecta a la densidad de corriente que maneja ese conductor:

$$J = \frac{I}{A} = \sigma.E$$

Con la **resistividad** podemos conocer la resistencia de un conductor específico, dado su material y dimensiones geométricas:

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

Pero en realidad la resistencia del conductor también depende de la temperatura.
Entonces, ρ debe depender de la temperatura. Para conductores óhmicos la resistividad $\rho = cte$.
La resistividad de un material varía dependiendo de la temperatura. En un pequeño intervalo de temperaturas (hasta unos 100ºC), la resistividad del metal puede representarse aproximadamente por la ecuación:

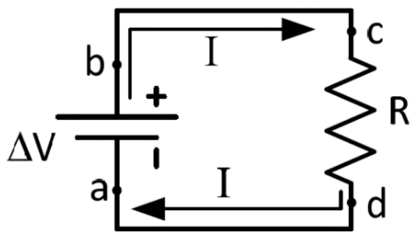
$$\rho(T) = \rho_0.(1 + \alpha[T - T_0])$$

ρ es la resistividad a la temperatura T
ρ_0 es la resistividad a una temperatura $T_0 = 20°\text{C}$
$\boldsymbol{\alpha}$ es el **coeficiente de temperatura de la resistividad**.

Ya que la resistividad es proporcional a la resistencia se puede escribir:
$$R = R_0.(1 + \alpha[\Delta T])$$

6.5 ENERGÍA ELÉCTRICA Y POTENCIA $[\boldsymbol{P}]$

Supongamos una carga Q que parte del punto **a**. Cuando se mueve de **a** hacia **b** pasando por la batería cuya $\boldsymbol{ddp}$ es ΔV, la energía potencial eléctrica del sistema aumenta en $\Delta V.Q$ y la energía potencial química disminuye en la misma cantidad.



$$\Delta U = \Delta V.Q$$

Cuando la carga se mueve de **c** a **d**, pasando por la resistencia **R**, el sistema pierde esta energía potencial durante las colisiones con los átomos en la resistencia, y se convierte en energía interna que deriva en calor. Esta energía se transfiere al aire en forma de radiación térmica.

La rapidez con que el sistema pierde energía a medida que la carga Q atraviesa la resistencia es:

$$\frac{dU}{dt} = \frac{d(\Delta V.Q)}{dt} = \frac{dQ}{dt}\Delta V = I.\Delta V$$

Esto se conoce como la:

6.5.1 Ley de Joule

La ley de Joule relaciona el calor generado por una corriente eléctrica a través de un conductor, la corriente, resistencia y/o tensión, y el tiempo.

La potencia (**WATTS**) se puede calcular así:

$$P = I.\Delta V \quad [V.A.] \quad [W]$$

$\Delta V = R.I$	$P = I^2.R$
$I = \frac{\Delta V}{R}$	$P = \frac{\Delta V^2}{R}$

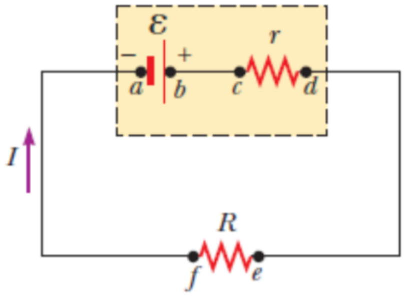
Y multiplicando la potencia por tiempo, tenemos energía (**JOULE**).

7 EL CIRCUITO ELÉCTRICO

Para que un conductor tenga una corriente estacionaria, debe formar parte de una trayectoria que constituya un camino cerrado o **circuito completo**. Cuando en dos extremos de un conductor se establece una diferencia de potencial, las cargas *"bajan"* de un punto de mayor potencial a uno de menor, generando un movimiento de cargas y por lo tanto una corriente eléctrica.

7.1 FUERZA ELECTROMOTRIZ [$\boldsymbol{\varepsilon}$]

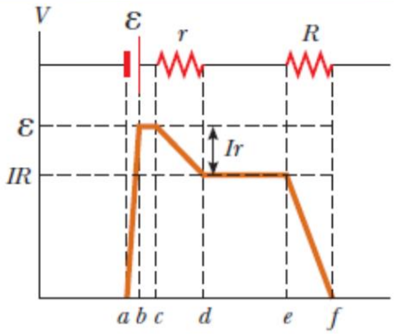
Para poder llevar las cargas nuevamente hacia el punto de un mayor potencial es necesaria una *"fuerza"*, a la que llamaremos **Fuerza Electromotriz** o $\boldsymbol{fem}$, pero es importante tener en cuenta que la fem no es una fuerza sino una **cantidad de energía por unidad de carga** representada por la misma unidad que el potencial ($Volt$). Representaremos a la fem con el símbolo ε.



$$\varepsilon = \frac{\Delta W}{Q} \quad [V]$$

¿Por qué se menciona esta nueva magnitud?
La batería presenta una **resistencia interna** $\boldsymbol{r_i}$ por lo que la $\boldsymbol{ddp \neq \varepsilon}$ salvo en un caso ideal.

7.2 RESISTENCIA INTERNA



En cualquier circuito completo con una corriente estacionaria debe haber un dispositivo que proporcione fuerza electromotriz, al que llamaremos fuente de fem.

Entre los terminales de la batería la diferencia de potencia es:

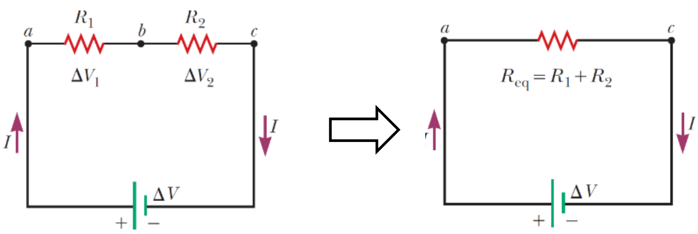
$$V_{ab} = \varepsilon - r_i . I$$

7.3 RESISTENCIAS EN SERIE

Simplemente se suman.

$$\Delta V = IR_1 + IR_2 = I(R_1 + R_2)$$

$$\Delta V = IR_{eq} \quad ; \quad R_{eq} = R_1 + R_2$$

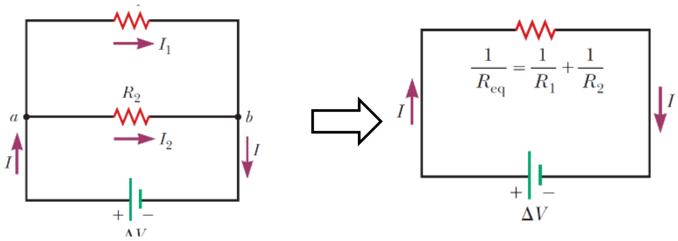


7.4 RESISTENCIAS EN PARALELO

La inversa de la suma de las inversas.

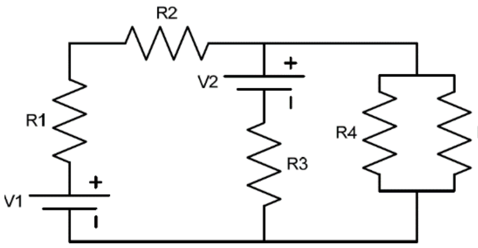
$$I = I_1 + I_2 \quad ; \quad I_1 = \frac{\Delta V}{R_1} \quad ; \quad I_2 = \frac{\Delta V}{R_2}$$

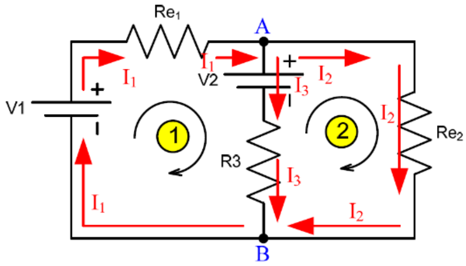
$$I = \Delta V \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{\Delta V}{R_{eq}}$$



$$R_{eq} = \left(R_1^{-1} + R_2^{-1} + \cdots + R_n^{-1} \right)^{-1}$$

7.5 EL FAMOSO KIRCHHOFF (*LEYES DE KIRCHHOFF*)





- **Mallas**: Todo circuito cerrado que se puede establecer dentro de la red.
- **Nudos**: Es un punto del circuito al cual concurren tres o más ramas.

Es necesario para analizar el circuito simplificarlo a su mínima expresión convirtiendo cada conjunto de resistencias posible en una resistencia equivalente.

Para analizar los circuitos recurrimos a las leyes de Kirchhoff para plantear las diferentes ecuaciones:

7.5.1 1º Ley de Kirchhoff: Ley de nudos

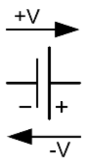
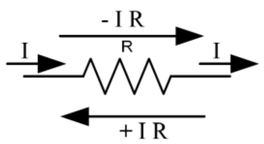
La suma algebraica de las corrientes que concurren a un nudo es cero: $\sum I_i = 0$
Las corrientes que ingresan al nudo las tomamos como positivas y son negativas las que salen.

$$Nudo\ A:\ +I_1 - I_2 - I_3 = 0 \quad ; \quad Nudo\ B:\ -I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

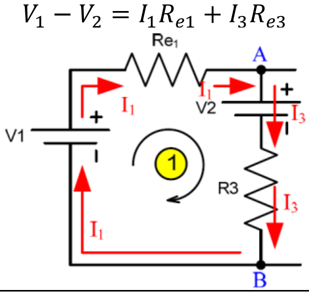
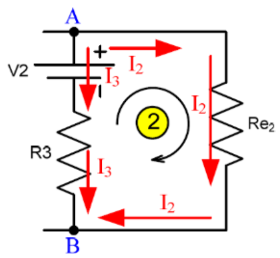
7.5.2 2º Ley de Kirchhoff: Ley de las mallas

La suma algebraica de las caídas de tensión al recorrer una malla completa es cero (conservación de la energía): $\sum V_i = 0$

Se suelen poner de un lado de la igualdad las F.E.M. y del otro las caídas de tensión.

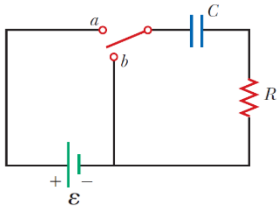
Para esto establecemos una convención de signos:	
Para las F.E.M	Para las resistencias
	

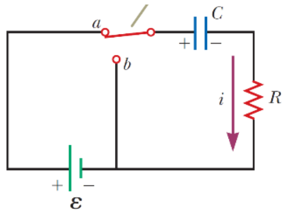
Analizando para el ejemplo:

Malla 1	Malla 2
$V_1 - I_1 R_{e1} - V_2 - I_3 R_{e3} = 0$ $V_1 - V_2 = I_1 R_{e1} + I_3 R_{e3}$ 	$V_2 - I_2 R_{e2} + I_3 R_{e3} = 0$ $V_2 = I_2 R_{e2} - I_3 R_{e3}$ 

7.6 CIRCUITO $\boldsymbol{RC}$

Los circuitos RC son ampliamente utilizados en circuitos de tiempo, como osciladores y filtros.





Suponemos un capacitor descargado, cuando cerramos el interruptor ($t = 0s$) se cierra el circuito y se comenzará a cargar el capacitor. La carga máxima de este dependerá de la $f.e.m.$ de la batería. Cuando la carga se complete, la corriente I caerá a 0. Aplicando la 2da ley de Kirchhoff:

$$\varepsilon - \frac{q}{C} - I.R = 0$$

Donde $I.R = ddp\ en\ la\ resistencia$ y $\frac{q}{C} = ddp\ en\ el\ capacitor.$

7.6.1 Carga del capacitor

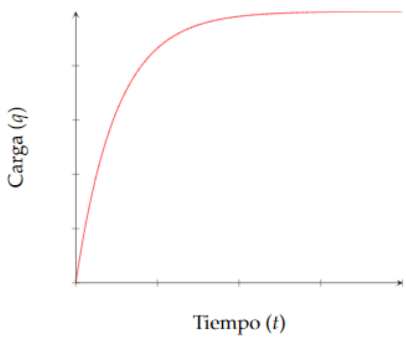
Cuando conectamos el interruptor **a**, se iniciará la carga en el capacitor:

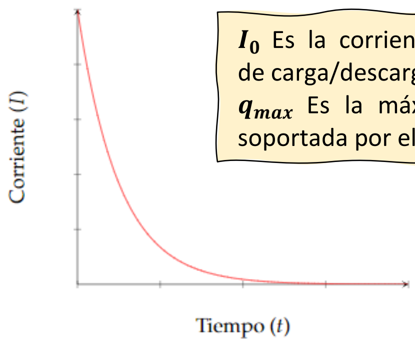
Ecuaciones:

Carga: $q(t) = q_{max}.\left(1 - e^{-\frac{t}{R.C}}\right)$ donde: $t \to 0 : q \to 0$; $t \to \infty : q \to q_{max}$

Corriente: $I(t) = I_0.e^{-\frac{t}{R.C}}$ donde: $t \to 0 : I \to I_0$; $t \to \infty : I \to 0$

Gráficas:





$\boldsymbol{I_0}$ Es la corriente máxima de carga/descarga.
$\boldsymbol{q_{max}}$ Es la máxima carga soportada por el capacitor.

7.6.2 Descarga del capacitor

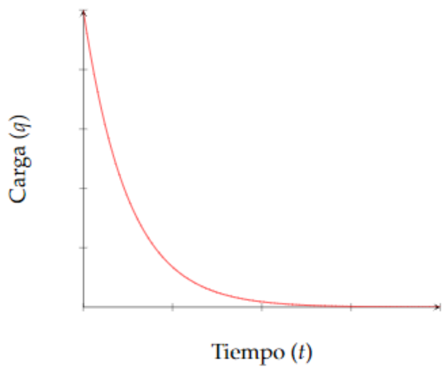
Cuando conectamos el interruptor **b**, siendo que está cargado el capacitor, se iniciará la descarga en este:

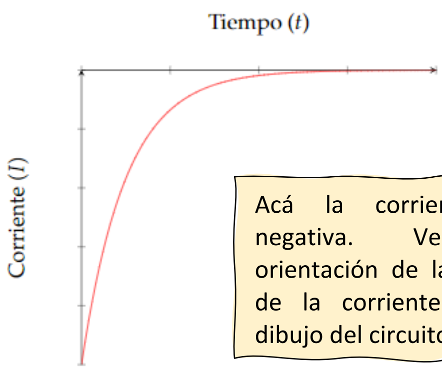
Ecuaciones:

Carga: $q(t) = q_{max}.e^{-\frac{t}{R.C}}$ donde: $t \to 0 : q \to q_{max}$; $t \to \infty : q \to 0$

Corriente: $I(t) = -I_0.\left(1 - e^{-\frac{t}{R.C}}\right)$ donde: $t \to 0 : I \to I_0$; $t \to \infty : I \to 0$

Gráficas:



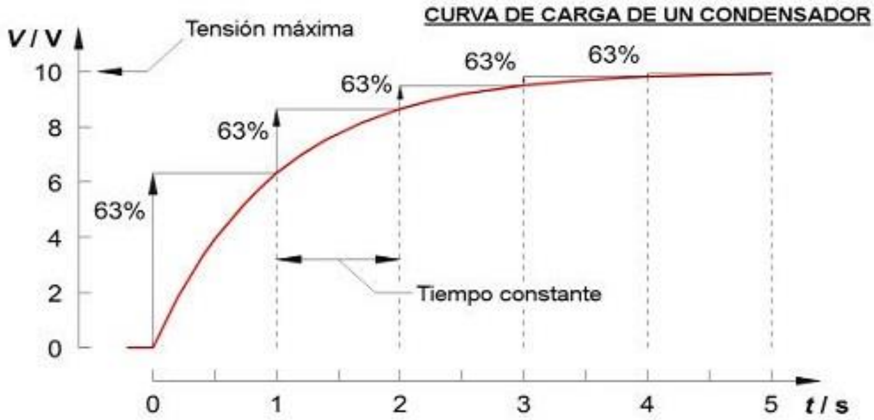


Acá la corriente es negativa. Ver la orientación de la flecha de la corriente en el dibujo del circuito.

Nota: no está completo el desarrollo de las ecuaciones.

7.6.3 Constante de tiempo Tau

Definimos a la constante de tiempo Tau ($\tau = R.C$) , esta representa el intervalo de tiempo durante el cual la corriente disminuye hasta $1/e$ de su valor inicial. También como una medida de tiempo asociada al circuito del capacitor. Ver el gráfico



Decimos en la práctica, que con $5\ \tau\ (tau)$ aseguramos la carga "completa" del capacitor.

7.6.4 Energía en el proceso

La energía de salida de la batería cuando el capacitor está totalmente cargado es:

$$Q\ \varepsilon = C\ \varepsilon^2$$

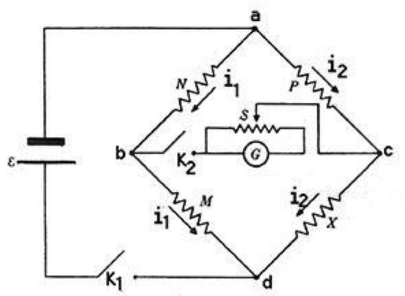
Una vez cargado el capacitor, la energía almacenada en el mismo es:

$$\frac{1}{2} Q\ \varepsilon = \frac{1}{2} C\ \varepsilon^2$$

que es exactamente la mitad de la energía de salida de la batería.

7.7 Puente de Wheatstone

Este instrumento es utilizado para la medida rápida y precisa de resistencias. **M**, **N** y **P** son resistencias variables previamente graduadas y **X** representa la resistencia desconocida. Para la puesta en marcha del puente se cierran los interruptores **K1** y **K2** y se comienzan a variar la resistencia **P** hasta que el galvanómetro no experimente desviación. En este momento los puntos **b** y **d** están al mismo potencial.



Puesto que la corriente sobre el galvanómetro es nula, la intensidad sobre **M** es igual a la de **N** o sea $\boldsymbol{i_1}$, y la intensidad de corriente en **P** es igual a la de **X** o sea $\boldsymbol{i_2}$. Podemos escribir entonces:

$$V_{ab} = V_{ac} \quad i_1.N = i_2.P \qquad\qquad V_{bd} = V_{cd} \quad i_1.M = i_2.X$$

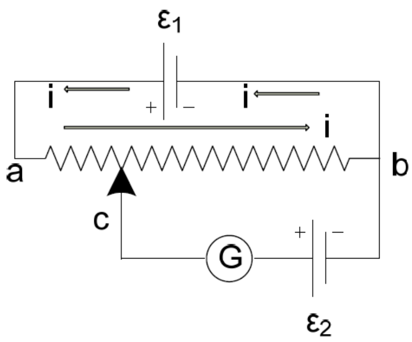
Si dividimos la segunda ecuación por la primera tenemos:

$$\frac{i_1.M}{i_1.N} = \frac{i_2.X}{i_2.P} \qquad \therefore \qquad X = P\frac{M}{N}$$

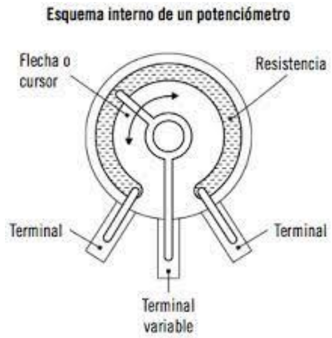
Por consiguiente, si se conocen **M**, **N** y **P** puede calcularse **X**. En los tanteos preliminares, cuando el puente está lejos del equilibrio y $\boldsymbol{V_{bc}}$ puede ser muy grande se protege el galvanómetro con el Shunt "**S**"

7.8 POTENCIÓMETROS

El potenciómetro es un instrumento el cual puede medir una $\boldsymbol{fem}$ sin que pase corriente por él.



Esencialmente el potenciómetro equilibra una diferencia de potencial conocida con una diferencia de potencial desconocida variable y medible. El potenciómetro es una resistencia de hilo $\boldsymbol{ab}$ que está conectada constantemente a los bornes de una $\boldsymbol{fem}\ \boldsymbol{\varepsilon_1}$. Un contacto deslizante c está conectado a través de un galvanómetro $\boldsymbol{G}$ a una segunda pila cuya $\boldsymbol{fem}\ \boldsymbol{\varepsilon_2}$ se desea medir. Se mueve el contacto $\boldsymbol{c}$ hasta lograr que el galvanómetro $\boldsymbol{G}$ no experimente desviación alguna. Esto que: $\boldsymbol{V_{ab}} \geq \boldsymbol{\varepsilon_2}$



Recorrido superior:

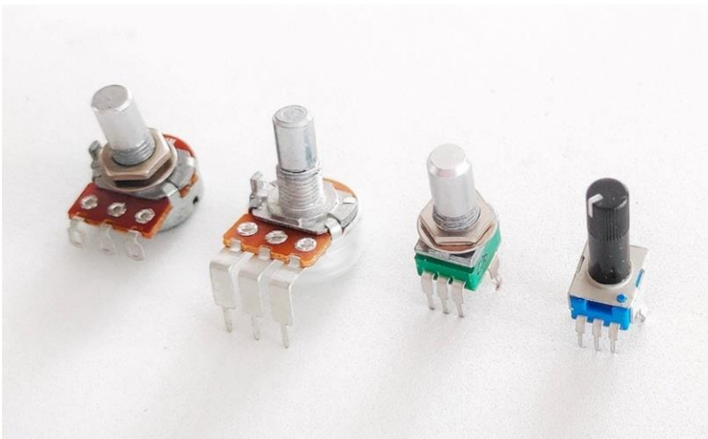
$$V_{cb} = i.R_{cb}$$

Recorrido Inferior:

$$V_{cb} = \varepsilon_2$$

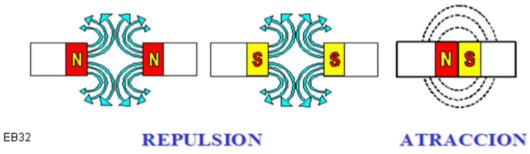
$$i.R_{cb} = \varepsilon_2$$

- Entonces podemos calcular $\boldsymbol{\varepsilon_2}$ si conocemos i e $\boldsymbol{R_{cb}}$.
- No es necesario hacer la corrección "$\boldsymbol{i.r}$" debido a que $\boldsymbol{i}$ por $\boldsymbol{\varepsilon_2}$ es nula.



8 MAGNETOSTÁTICA

8.1 MAGNETISMO



Las fuerzas magnéticas entre dos cuerpos se deben principalmente a la interacción entre los electrones en movimiento de los átomos de los cuerpos. Dentro de un cuerpo magnetizado, existe un movimiento coordinado de algunos electrones atómicos; en un cuerpo no magnetizado, ese movimiento no es coordinado.

8.1.1 Características de la fuerza magnética

- Su magnitud es proporcional a la magnitud de la carga, a la magnitud o "intensidad" del campo magnético.
- También depende de la velocidad de la partícula.
- No tiene la misma dirección del campo magnético, sino que es perpendicular a él y a la velocidad de la partícula al mismo tiempo.

"Cuando una carga se mueve con velocidad v, el campo magnético aplicado solo puede alterar la dirección de la velocidad, pero no cambia la rapidez de la partícula, (el campo debe ser estático, no depende del tiempo)"

8.2 CAMPO MAGNÉTICO $[\boldsymbol{B}]$

Se define la inducción magnética B en términos de la fuerza que se ejerce sobre una partícula cargada que se mueve con velocidad $\vec{v}$.

Fuerza magnética:

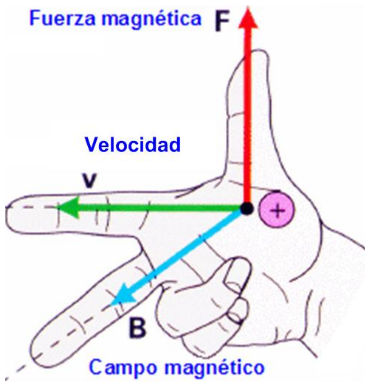
$$F_m = q\ v\ B\ sen\ \theta \qquad \left[C.\frac{m}{s}.T\right]\ [N] \qquad \overrightarrow{F_m} = q\ \vec{v} \times \vec{B}$$

Una carga en movimiento o una corriente producen un campo magnético $\vec{B}$ en el espacio circundante (además del campo eléctrico).
El campo magnético $\vec{B}$ ejerce una fuerza $\overrightarrow{F_m}$ sobre cualquier otra carga en movimiento o corriente que esté presente en el campo.
En cualquier punto, la dirección de $\vec{B}$ está definida como aquella a la que tiende a señalar el polo norte de la aguja de una brújula.

Despejando B de la ecuación de arriba, tenemos el **campo magnético**

$$\boxed{B = \frac{F_m}{q\ v\ \ sen\ \theta}} \quad [T][Tesla] \left[\frac{N}{C\frac{m}{s}}\right] \left[\frac{N}{Am}\right] \left[\frac{Wb}{m^2}\right]$$

La unidad es Tesla, y se usan submúltiplos ya que es muy grande.



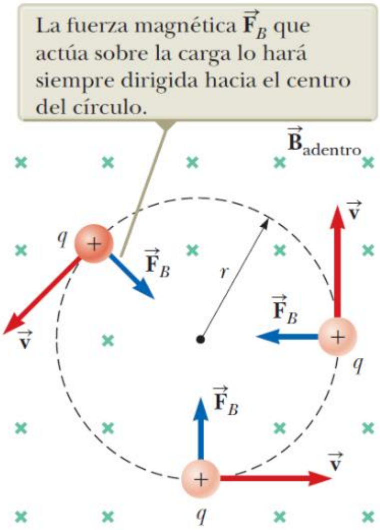
8.2.1 Propiedades

- La fuerza magnética es proporcional a la carga q, la velocidad $\vec{v}$ y la magnitud del campo magnético $\vec{B}$.
- La magnitud y dirección de la fuerza depende de la velocidad $\vec{v}$ de la partícula y de la magnitud y dirección del campo magnético $\vec{B}$:
    - Cuando la partícula se mueve en la dirección del campo magnético $\vec{B}$ (paralelo) la fuerza es nula.
    - Cuando la partícula se mueve en dirección perpendicular al campo magnético $\vec{B}$, la fuerza magnética es máxima.
    - Si la partícula se mueve formando ángulo θ la fuerza magnética es proporcional al $sen\ \theta$
- La fuerza magnética siempre actúa en dirección perpendicular tanto a la velocidad $\vec{v}$ como al campo magnético $\vec{B}$.

8.3 MOVIMIENTO DE UNA PARTÍCULA CON CARGA EN UN CAMPO MAGNÉTICO UNIFORME

8.3.1 Perpendicular a un campo magnético uniforme

En el ejemplo, el campo magnético es **entrante a la hoja**.



Se produce una fuerza **"centrípeta"**: $\boxed{F_c = m\frac{v^2}{r}}$

Esta fuerza será de origen magnético, entonces: $q\ v\ B = m\frac{v^2}{r}$

Despejando el **radio** queda: $\boxed{r = \frac{mv}{qB}}$

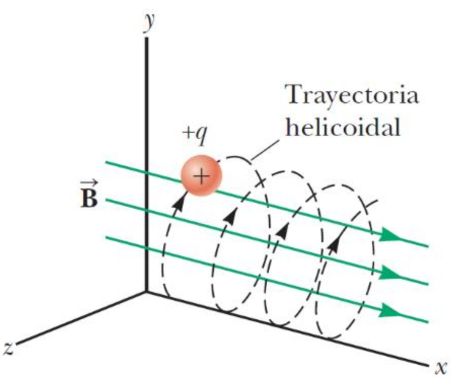
Su **velocidad angular**: $\boxed{v = \omega r}$ $\therefore$ $\boxed{\omega = \frac{qB}{m}}$

Su **período**: $\boxed{T = \frac{2\pi m}{qB}}$

Estos dos últimos son independientes de la velocidad tangencial y del radio.

El desplazamiento de una partícula cargada bajo la acción exclusiva de un campo magnético siempre es un movimiento con rapidez constante.

8.3.2 No perpendicular a un campo magnético uniforme



Si una partícula cargada se mueve en un campo magnético uniforme, donde su velocidad $\vec{v}$ forma un Angulo θ con $\vec{B}$, su trayectoria será un espiral. Si el campo está dirigido en la dirección x, no existe componente de la fuerza en esta dirección, dando como resultado $a_x = 0$ por lo que

$$v_x = cte$$

La fuerza magnética $q\vec{v} \times \vec{B}$ hace que cambien las componentes v_y y v_z en relación con el tiempo. Por lo que el espiral queda con su eje central paralelo a $\vec{B}$.

La proyección de la trayectoria sobre el plano yz es un círculo.

Las proyecciones de la trayectoria sobre los planos xy y xz son sinusoidales.

8.4 FUERZA DE LORENTZ $[\boldsymbol{F_L}]$

La **Fuerza de Lorentz** es la fuerza ejercida por el campo electromagnético al que está aplicado una partícula cargada.

Una carga móvil con una velocidad $\vec{v}$ en presencia tanto de un campo eléctrico $\vec{E}$ y un campo magnético $\vec{B}$ experimenta a la vez una fuerza eléctrica $\overrightarrow{F_E} = q\,\vec{E}$ y una fuerza magnética $\overrightarrow{F_E} = q\vec{v} \times \vec{B}$.

La fuerza total (conocida como fuerza de Lorentz) que actúa sobre la carga es:

$$\boxed{\overrightarrow{F_L} = \overrightarrow{F_B} + \overrightarrow{F_E} = q\vec{v} \times \vec{B} + q\,\vec{E}}$$

8.5 APLICACIONES DEL MOVIMIENTO DE PARTÍCULAS CARGADAS:

8.5.1 Selector de velocidad

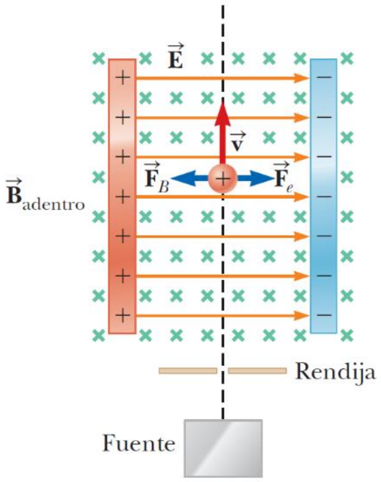
Un selector de velocidad es un aparato que permite, a través de la combinación de un campo magnético y uno eléctrico, que **sólo pasen sin desviarse a través** de ellos *(los que se desvían no pasan)* las partículas cuya velocidad cumple con la siguiente condición:

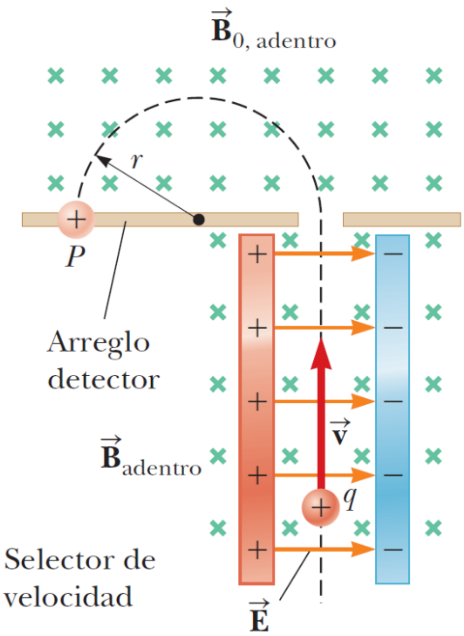
$$\boxed{v = \frac{E}{B}}$$

Hay 2 fuerzas en juego, una **eléctrica** y una **magnética**. Cuando estas son iguales, la partícula pasara por el selector sin desviarse.

$$\overrightarrow{F_M} = q\,\vec{v} \times \vec{B} \quad ; \quad \overrightarrow{F_E} = q\,\vec{E}$$

$$q\,\vec{v} \times \vec{B} = q\,\vec{E} \quad \therefore \quad v = \frac{E}{B}$$





8.5.2 Espectrómetro de masas

Este aparato sirve para determinar la masa de ciertos iones, a través del radio que trazan hasta la placa fotográfica.

*Primero los iones pasan por un **selector de velocidad**, posterior a esto, pasarán por un **campo magnético uniforme** que tiene la misma dirección que el campo del **selector de velocidad.***

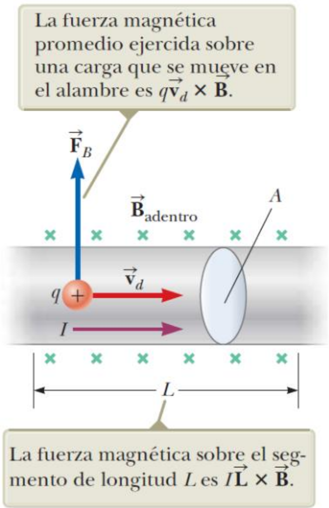
*Cuando entran acá, se genera una **fuerza centrípeta** por lo visto en **movimiento de una partícula con carga en un campo magnético**.*

*Los iones impactarán en un punto **P**. Si el ion tiene carga negativa, se desviará hacia la derecha.*

$$\frac{m}{q} = \frac{r\,B_0}{v}$$

Reemplazando: $v = \frac{E}{B} \quad \rightarrow \quad \boxed{\frac{m}{q} = \frac{r\,B_0\,B}{E}}$

8.6 FUERZA MAGNÉTICA SOBRE UN CONDUCTOR CON CORRIENTE



Como la corriente eléctrica es un **flujo de cargas**, aparece una fuerza en cada una de ellas que se **transmitirá al conductor:** $\vec{f} = q\,\vec{v} \times \vec{B}$

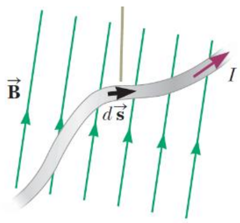
Necesitamos tener la **cantidad total de cargas en movimiento** para calcular la **fuerza sobre el conductor**.

- $\vec{L}$: Vector en dirección de la corriente

1. Obtenemos la cantidad de cargas TOTAL:
   $vol = A.L$
   $\boldsymbol{N} = n\,.vol = n\,A\,L$
2. Calculamos la **Fuerza Magnética**
   $\overrightarrow{F_M} = N.f = n.A.L\,(q\,\vec{v} \times \vec{B})$
3. Reemplazo con la ***velocidad de arrastre de la corriente***.

$$\boxed{\overrightarrow{\boldsymbol{F_M}} = \boldsymbol{I}\,(\vec{\boldsymbol{L}} \times \vec{\boldsymbol{B}})}$$

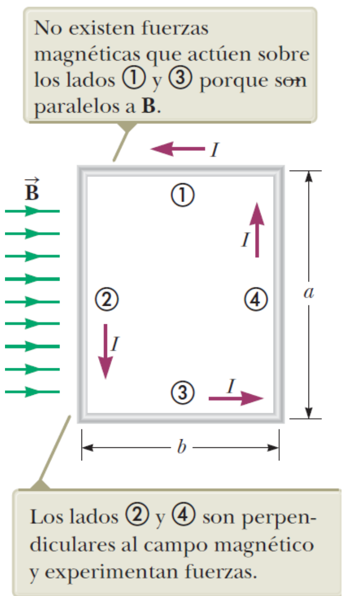
Si el conductor no es recto, se lo puede medir en diferenciales de fuerza e integrar a través de una integral de línea.



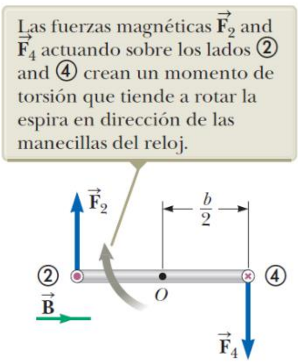
$$\boxed{\overrightarrow{F_M} = I\int_a^b \overrightarrow{ds} \times \vec{B}}$$

8.7 FUERZA Y MOMENTO DE TORSIÓN SOBRE UNA ESPIRA CON CORRIENTE

Una espira rectangular se encuentra dentro de un campo magnético uniforme que está en el plano de la espira.
Las fuerzas magnéticas sobre lo **lados 1 y 3 son cero** por que los alambres están paralelos al campo magnético B.
Sobre los **lados 2 y 4 actúan fuerzas** magnéticas las magnitudes de estas fuerzas son:



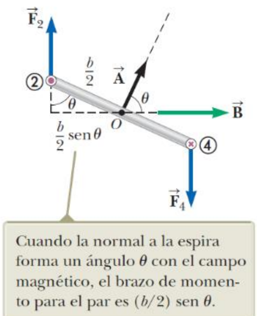
$$F_2 = F_4 = IaB$$



Sobre el lado 2 se ejerce una fuerza saliente y sobre el lado 4 una fuerza entrante. Estas fuerzas producen un **momento de torsión**.

Tomando un punto **O** en el centro de la figura, calculamos este momento:

$$\tau_{max} = F_2\frac{b}{2} + F_4\frac{b}{2} = (IaB).b = I\,A\,B$$
$$\tau_{max} = (IaB).b$$
$$\boxed{\tau_{max} = I\,A\,B}$$



La ecuación varia si cambia el ángulo del campo magnético:

En este caso sería: $\boxed{\tau = I\,A\,B\,sen\,\theta}$

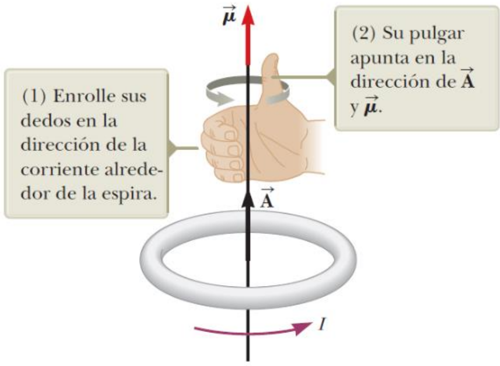
8.8 MOMENTO MAGNÉTICO DIPOLAR $[\vec{\mu}]$

Partiendo de lo visto en “FUERZA Y MOMENTO DE TORSIÓN SOBRE UNA ESPIRA CON CORRIENTE”

La espira tiende a rotar de manera que el ángulo θ disminuye, haciendo el **momento de torsión** 0.

$$\vec{\tau} = I\,\vec{A} \times \vec{B}$$

- $\vec{A}$: Vector resultado de la regla de la mano derecha.



El producto de $I\,\vec{A}$ se llama **momento dipolar magnético:**

$$\boxed{\vec{\mu} = I\,\vec{A}} \quad [A\,m^2] \quad \therefore \quad \vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

Esta ecuación es válida para cualquier orientación de la espira.

Si tenemos **más de una espira**, usamos lo siguiente:

$$\boxed{\vec{\mu} = N\,I\,\vec{A}}$$

Siendo N el número de vueltas de las espiras.

8.8.1 Energía potencial para un dipolo magnético

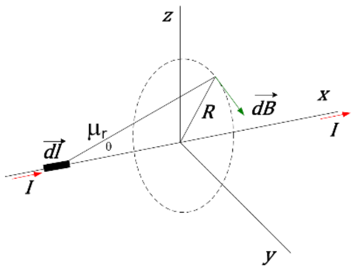
$$\boxed{U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B} = -\mu\,B\cos\theta}$$

Podemos generalizar la formulación completa para una bobina con N espiras planas juntas, solo multiplicando cada expresión por el **factor adimensional N**.

8.9 (LEY DE BIOT – SAVART) CAMPO MAGNÉTICO PRODUCIDO POR UNA CORRIENTE

Se denomina ley diferencial pues permite determinar el campo magnético producido una corriente que circula por un conductor.

$$\overrightarrow{dB} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\,(\overrightarrow{dl} \times \overrightarrow{\mu_r})}{r^2} \; ; \; \boxed{dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\,\overrightarrow{dl}\,\mathrm{sen}\,\theta}{r^2}}$$



- $\overrightarrow{\mu_r}$: Versor que apunta en la dirección r

Como la integral es difícil de resolver, veremos aplicaciones específicas.

Primero, aplicamos la **regla de la mano derecha** para determinar la dirección del campo magnético:

$$k' = \overrightarrow{dB} = \frac{\mu_0}{4\pi} = 10^{-7}\left[\frac{Tm}{A}\right]$$

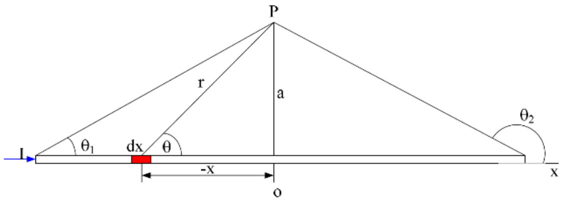
$$\mu_0 = 4\pi\,k' = 12{,}57.10^{-7}\left[\frac{Tm}{A}\right]$$

- μ_0 : Permitividad en el vacío del magnetismo.

8.9.1 Campo magnético alrededor de un conductor recto delgado

8.9.1.1 Demostración

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\,\overrightarrow{dx}\,sen\,\theta}{r^2}$$



En este caso, ponemos toda la integral en función de una sola variable:

$$sen\,\theta = \frac{a}{r} \quad \therefore \quad r = \frac{a}{sen\,\theta} = a\,cosec\,\theta$$

$$tg\,x = \frac{a}{-x} \quad \therefore \quad x = -\frac{a}{tg\,\theta} = -a\,cotg\,\theta \quad \therefore \quad dx = a\,cosec^2\theta\ d\theta$$

Reemplazamos: $dB = \frac{\mu_0\,I}{4\pi\,a} sen\,\theta\,d\theta$

Integramos: $B = \frac{\mu_0\,I}{4\pi\,a}\int_{\theta_1}^{\theta_2} sen\,\theta\,d\theta = \frac{\mu_0\,I}{4\pi\,a}(\cos\theta_1 - \cos\theta_2)$

Establecemos que el **conductor es infinitamente largo**: $\cos\theta_1 - \cos\theta_2 = 1 - (-1) = 2$

Por último, nos queda:

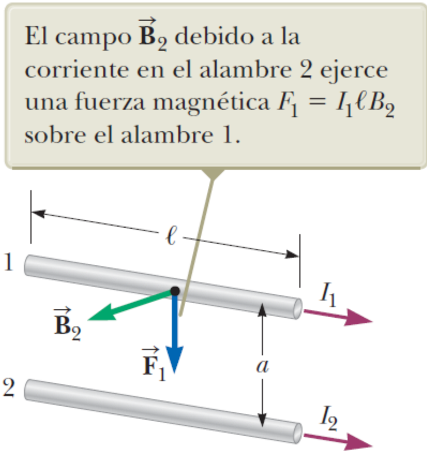
$$\boxed{B = \frac{\mu_0\,I}{2\pi\,a}}$$

Hacemos este procedimiento por que la ecuación principal estaba en función de 3 variables y es difícil de implementar.

8.9.2 Fuerza magnética entre dos conductores paralelos

Entre dos conductores por los cuales circula una corriente se ejercen fuerzas magnéticas.

- Si las corrientes son del mismo sentido, **se atraen**.
- Si son de sentido contrario, **se repelen**.

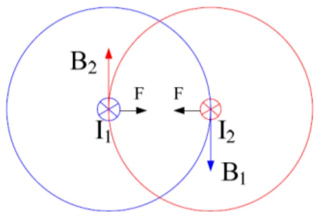


$$B_1 = \frac{\mu_0\,I_1}{2\pi\,a} \quad ; \quad B_2 = \frac{\mu_0\,I_2}{2\pi\,a}$$

$$F = I_1\,l\,B_2 = \frac{\mu_0\,I_1\,I_2\,l}{2\pi\,a}$$

Se suele resumir con esta expresión que describe la fuerza por unidad de distancia:

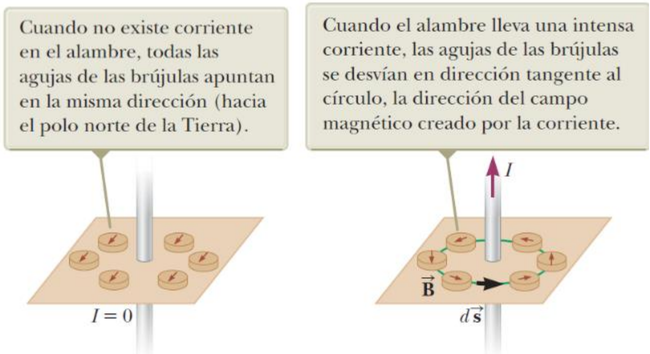
$$\boxed{\frac{F}{l} = \frac{\mu_0\,I_1\,I_2}{2\pi\,a}}$$

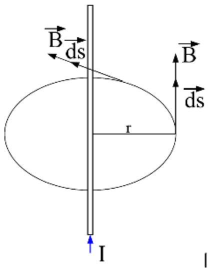


8.10 LEY DE AMPERE

Podemos observar en la figura que las líneas de campo son consistentes con la regla de la mano derecha.

Estas **líneas de inducción** forman <u>círculos concéntricos</u>. La magnitud del campo es constante si el radio es constante.





Tomamos un pequeño elemento de la trayectoria $\boldsymbol{ds}$, y como $\vec{B}$ y $\overrightarrow{ds}$ tienen el mismo sentido:

$$\vec{B}\ x\ \overrightarrow{ds} = B\ ds$$

<u>Integrando a lo largo de la línea</u>, obtenemos la **Integral de Ampere:**

$$\boxed{\oint \vec{B}\ \overrightarrow{ds} = \mu_0\ I}$$

Esta integral facilita calcular el campo en configuraciones muy simétricas. Para aplicarse debe cumplirse:

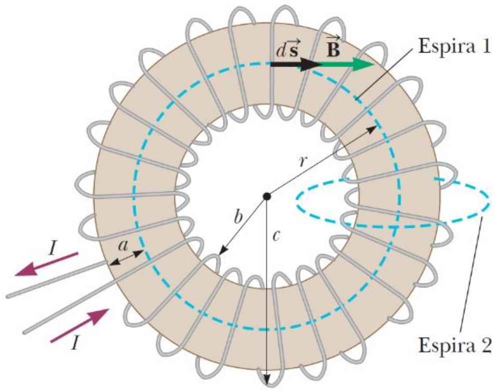
- La magnitud del campo magnético es constante en toda la trayectoria.
- El producto escalar $\vec{B}\ x\ \overrightarrow{ds} = B$ si B es paralelo a ds.
- Si B y ds son perpendiculares el producto es cero.
- B es cero en toda la trayectoria.

La ley de Ampere explica que la circulación de la intensidad del campo magnético en un contorno cerrado es proporcional a la corriente que recorre en ese contorno.

8.11 TOROIDES

El toroide es una estructura en forma de anillo en la cual se enrollan N vueltas de alambre. Las vueltas están espaciadas muy cerca una de otra.

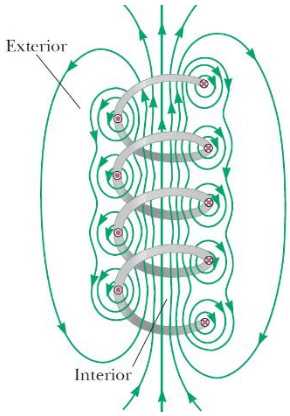
Se quiere calcular la magnitud del campo a una distancia r del centro. Si las vueltas están muy próximas unas de otras son como si fueran espiras. El campo es tangente a la circunferencia punteada y varía de acuerdo con $1/r$.

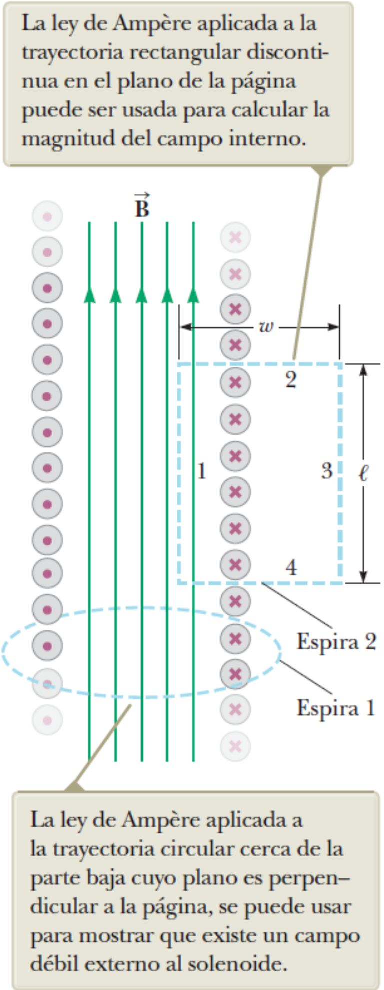


$$\boxed{B = \frac{\mu_0\ I\ N}{2\ \pi\ r}}$$

8.12 Solenoides

Un solenoide es un conductor enrollado en forma de hélice.





Las líneas de campo entre las vueltas tienden a cancelarse entre sí.
En el interior el campo es casi paralelo.

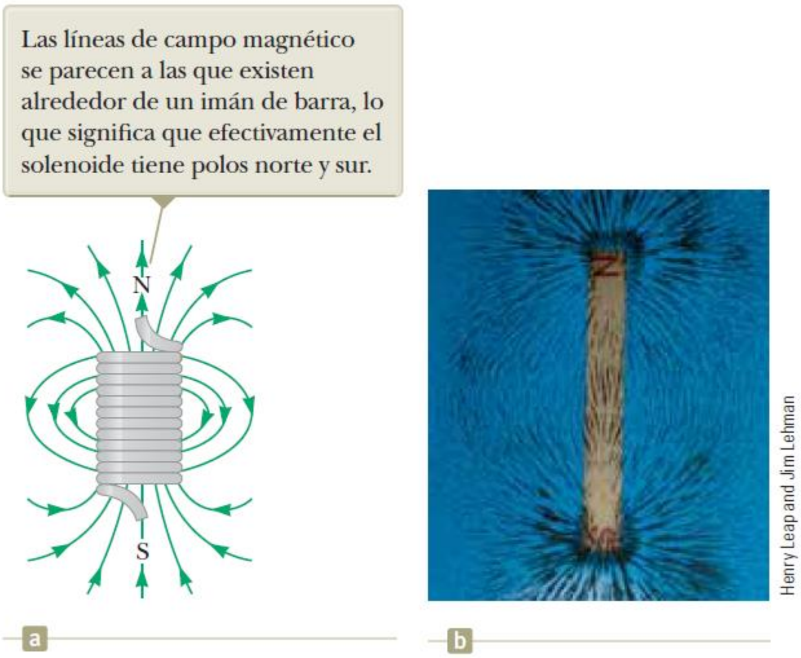
Aplicaremos la **Ley de Ampere** a cada espira del solenoide dentro del área rectangular.

Solo en la trayectoria 1 contribuimos a la integral:

$$\oint \vec{B}\ \overrightarrow{ds} = B \oint ds = B\ l$$

$$B = \frac{\mu_0 I N}{l} \quad , \quad n = \frac{N}{l} \quad \rightarrow \quad \boxed{B = \mu_0\, n\, I}$$

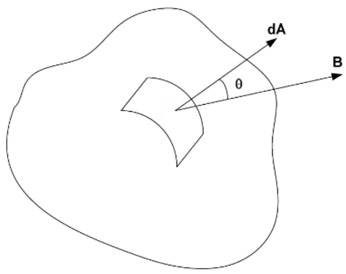
Así determinamos que el campo magnético generado por un solenoide es μ_0 por el número de vueltas, por la corriente.



9 INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

9.1 FLUJO MAGNÉTICO [Φ]

El flujo magnético del campo B, sobre la superficie dA es:



$$d\Phi_B = \vec{B}\,\overrightarrow{dA}$$

El flujo magnético total sobre la superficie será:

$$\boxed{\Phi_B = \int \vec{B}\,\overrightarrow{dA}} \quad [T\ m^2]\ \ [Wb]\ \ [Weber]$$

9.2 LEY DE FARADAY

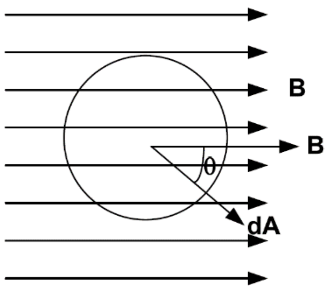
La fem inducida en una espira cerrada es igual a menos la razón temporal de cambio del flujo magnético a través de la espira.

$$\boxed{\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt}}$$

Con múltiples espiras:

$$\varepsilon = -N\frac{d\Phi_B}{dt}$$

9.2.1 Aplicación a campo magnético uniforme



En la figura tenemos una esfera. El flujo es:

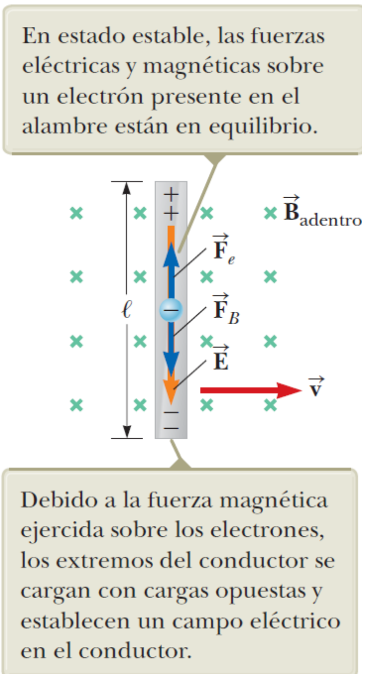
$$\Phi_B = \int \vec{B}\,\overrightarrow{dA} = \int B\,dA\cos\theta = B\,A\cos\theta$$

Entonces, la fem inducida será: $\varepsilon = -\dfrac{d(B\,A\cos\theta)}{dt}$

La fem inducida será distinta de cero si cualquiera de: la magnitud B, o el área, o el Angulo θ varían con el tiempo.

9.2.2 fem inducida por el movimiento

Al mover el conductor, los e^- en su interior experimentan fuerzas magnéticas.



$$|F_B| = |q\ v\ B|$$

Al separarse las cargas producto del movimiento de electrones, se forma un campo eléctrico. Llegado un punto, las cargas se acumulan hasta que las fuerzas se equilibran, donde se validan las siguientes ecuaciones:

$$\sum \vec{F} = \vec{F_B} + \vec{F_E} = 0$$

$$Dado: \vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad \rightarrow \quad qE = qvB \quad \therefore \quad E = vB$$

$$\Delta V = E\ l = v\ B\ l \quad (extremo\ superior\ positivo)$$

*La $diferencia$ de potencial (ΔV) se mantiene **solo si** el conductor se mueve.*
*Si el conductor se mueve en sentido contrario, la **polaridad se invierte**.*

9.2.3 Potencia inducida por el movimiento

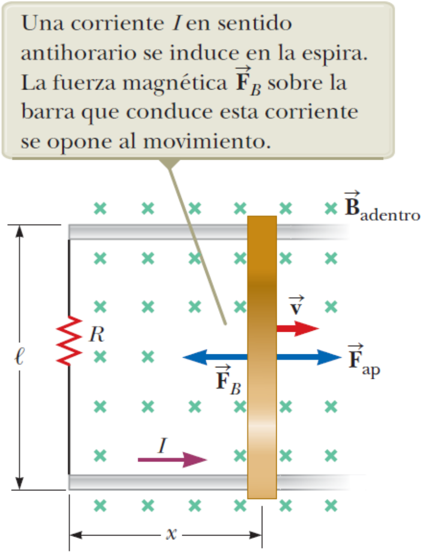
Como en el ejemplo anterior generamos un campo eléctrico, este a su vez generará una fem:

Usando la ley de Faraday:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{d(B\,l\,x)}{dt} = -B\,l\frac{dx}{dt} = -B\,l\,v$$

El área en este caso será la que describe la longitud del conductor (l), y cuanto lo movemos (x). No toda la superficie tiene presente un campo magnético, por lo que este varia.

$$A = l\,x \quad \therefore \quad \Phi_B = B\,A = B\,l\,x$$



Ahora, agregando una $carga$ (R), aparecerá una $corriente$ (I).

$$I = \frac{|\varepsilon|}{R} = \frac{B\,l\,v}{R}$$

Efectivamente el trabajo que realizamos al mover el conductor se verá reflejado en el aumento de la energía interna de la resistencia. La fuerza magnética equipará la fuerza que apliquemos, similar a lo que es el principio de acción-reacción.

$$F_{aplicada} = F_B = I\,l\,B$$

Resolviendo para obtener la potencia aplicada:

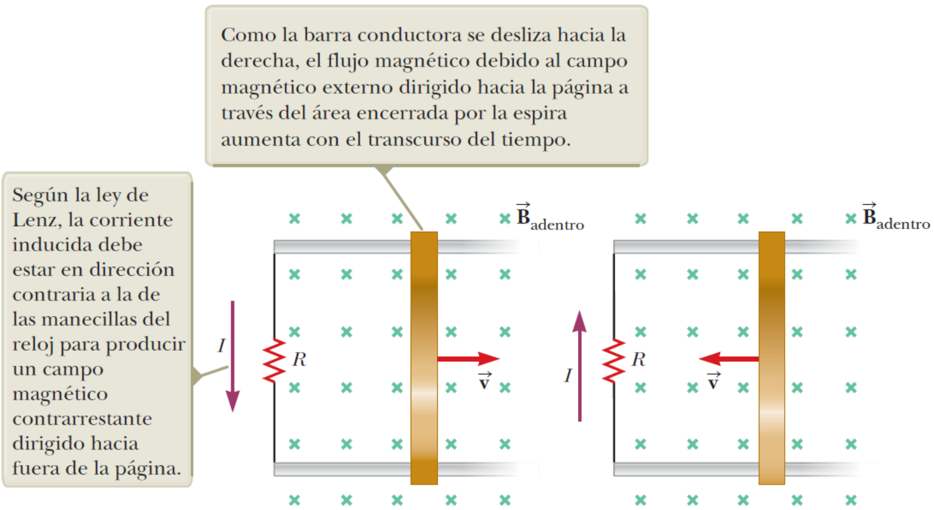
$$P = F_{aplicada}\,v = (I\,l\,B)\,v \qquad I = \frac{B\,l\,v}{R} \quad \therefore \quad P = \frac{B^2 l^2 v^2}{R} = \frac{\varepsilon^2}{R}$$

9.3 Ley de Lenz

La dirección de cualquier efecto de inducción magnética es tal que se opone a la causa de tal efecto.

Es decir, la corriente inducida se opone al cambio de flujo a través del circuito (no al flujo mismo).

Esta ley comprueba lo aplicado en el último ejemplo.

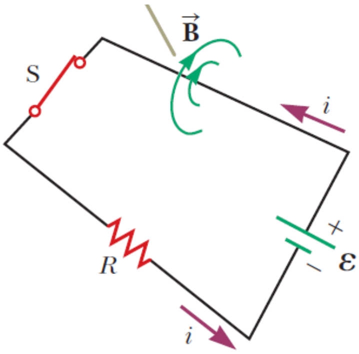


9.4 INDUCTANCIA $[L]$

Se explicará con el fenómeno siguiente:

9.4.1 Autoinducción

Este efecto da cuando la **corriente varía en el tiempo.**



Cuando cerramos el circuito la corriente aumenta de manera progresiva, pero muy rápida, a un valor máximo de $^{\varepsilon}/_{R}$

Esto es debido a que cuando varía la corriente, también lo hará el flujo magnético dibujado. El flujo creciente **genera una fem inducida en el circuito**, y en sentido contrario, es decir *se opone al paso de la corriente*.

Esta fem inducida también se conoce como:

$$fuerza\ contra\ electromotriz$$

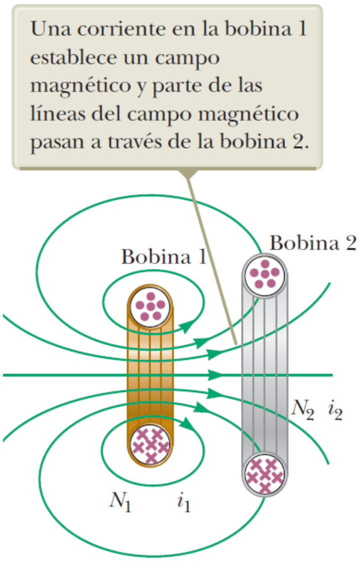
El fenómeno se describe con la siguiente ecuación.

$$\varepsilon_L = -N\frac{d\Phi_B}{dt} = -L\frac{dI}{dt}$$

L es una constante de proporcionalidad denominada: ***Inductancia de la bobina****, depende de la geometría de esta.*

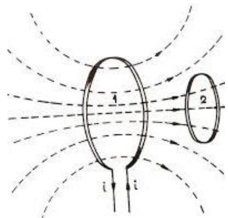
$$L = N\frac{d\Phi_B}{dI}\left[\frac{Vs}{A}\right][Hy]\ [Henry]$$

9.4.2 Inductancia Mutua



Según vimos en lo anterior, una corriente que varía en el tiempo generara un campo magnético alrededor del conductor. Si colocamos otro conductor en proximidad, habrá fuerzas de interacción entre los dos debido a la interacción del campo magnético, lo que a su vez **inducirá una fem en el segundo conductor.**

Analizando el problema con bobinas, tenemos en cuenta que pueden tener diferentes cantidades de vueltas.



El flujo magnético causado por la corriente de la bobina 1 y que pasa a través de la bobina 2 se representa con M_{12}. La inductancia mutua M_{12} es: $\Phi_{21} = K\ I_1$ $\ (flujo\ causado\ en\ el\ circuito\ 2\ por\ I_1)$

La fem inducida en el segundo conductor será:

$$\varepsilon_2 = -N_2\frac{d\Phi_{21}}{dt} = -K\ N_2\frac{dI_1}{dt}$$

9.4.2.1 Coeficiente de inducción mutua $[M]$

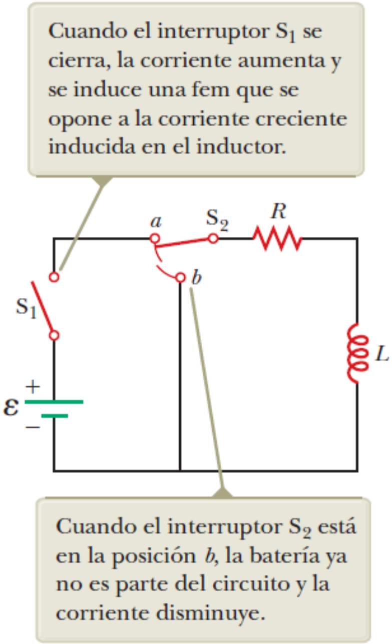
En la práctica, se establece el factor $M = K\ N_2$ denominado **coeficiente de inducción mutua**.

Y se calcula con:

$$M = -\frac{\varepsilon_2}{\frac{dI_1}{dt}}\ [Hy]$$

9.5 CIRCUITOS RL

Un circuito con una bobina tiene una autoinducción que evita que la corriente aumente o disminuya instantáneamente.



9.5.1 Carga del inductor

Al cerrar el interruptor comienza a aumentar la corriente y el inductor genera una fem que se opone a la corriente:

$$\varepsilon = -L\frac{dI}{dt}$$

La corriente va aumentando, con la contraparte de que tiene que superar el efecto de la $fuerza\ contra\ electromotriz$ producida por el cambio positivo de la corriente respecto al tiempo: $dI/dt > 0$ Esto se traslada a que en la bobina se produce una **caída de potencial.**

Aplicando la 2da ley de Kirchhoff: $\varepsilon - I\,R - L\frac{dI}{dt} = 0$

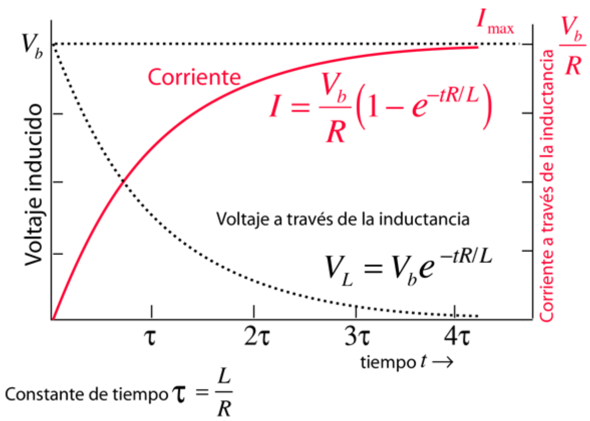
Para resolver esto, se usa un cambio de variable y se integra, nos queda:

$$I = \frac{\varepsilon}{R}\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad ; \quad \tau = \frac{L}{R}$$

El cambio de variable a realizar es:

$$x = \frac{\varepsilon}{R} - I \qquad dx = -dI$$

Esto es muy similar, y a la vez diferente a las ecuaciones del circuito RC



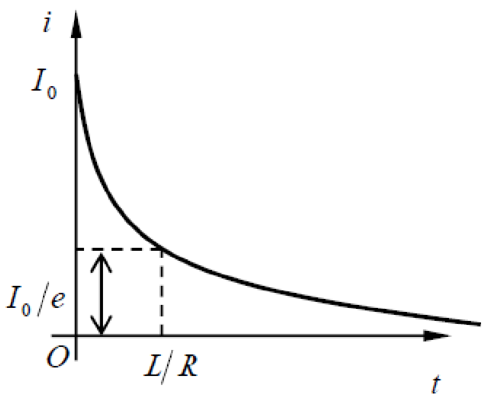
9.5.2 Descarga del inductor

Corriente inicial: I_0

Corriente instantánea: $\boxed{i = I_0 . e^{-\left(R/L\right)t}}$

Constante de tiempo: $\boxed{\tau = \frac{L}{R}}$

Potencia: $\boxed{0 = i^2 R + L.i.\frac{di}{dt}}$



9.6 Energía en un campo magnético

Los inductores almacenan energía, puesto que realizan un trabajo negativo al frenar los cambios de corriente. Esta energía almacenada se calcula como:

$$U = \frac{1}{2} L\, I^2$$

Y la densidad de energía por unidad de volumen (en el vacío) es:

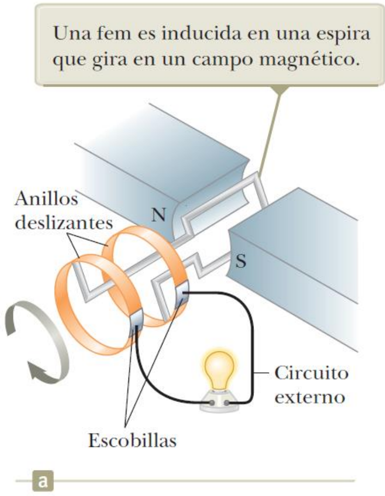
$$u = \frac{U}{V} = \frac{B^2}{2\,\mu_0}$$

y si existe un material con permeabilidad magnética constante, se reemplaza μ_0 con μ

9.7 Generadores de corriente alterna

El generador de corriente alterna es un dispositivo que genera energía eléctrica. Una bobina gira dentro de un campo magnético, para esto una fuerza externa debe hacer trabajo.

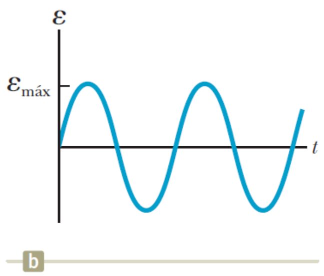
Al girar el flujo magnético que la atraviesa cambia induciendo una fem y una corriente en el circuito conectado a la espira:



$$\Phi_B = B\,A\cos\theta = B\,A\cos(\omega t)$$

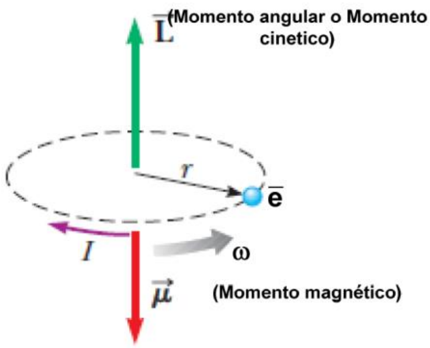
$$\varepsilon = -N\frac{d\Phi_B}{dt} = -N\frac{B\,A\cos(\omega t)}{dt}$$

$$\varepsilon_{(t)} = N\,B\,A\,\omega\ \operatorname{sen}(\omega t)$$



10 PROPIEDADES MAGNÉTICAS DE LA MATERIA

10.1 MOMENTO MAGNÉTICO DEL ELECTRÓN



El electrón gira alrededor de un eje, Podemos calcular la corriente en función del radio de giro y su velocidad angular:

$$\omega = \frac{v}{r} \quad ; \quad T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{v} r$$

$$I = \frac{e}{T} = \frac{e\omega}{2\pi} = \frac{ev}{2\pi r}$$

Ahora podemos sacar el **momento magnético asociado a la espira de corriente:**

$$\mu = I\,A = \frac{ev}{2\pi r}\,\pi r^2 = \frac{1}{2} e\,v\,r$$

Y si queremos calcular el **momento angular del electrón:**

$$L = m\,v\,r \quad \rightarrow \quad \vec{\mu} = \frac{e(m\,v\,r)}{2\,m} = \left(\frac{e}{2m}\right)\vec{L}$$

- El momento magnético del electrón es proporcional al momento angular orbital $\vec{\mu}$ y $\vec{L}$ apuntan en sentidos opuestos porque el electrón es una carga negativa.
- Todas las sustancias contienen electrones, pero en la mayor parte el momento magnético de un electrón se cancela con el de otro que gira en sentido opuesto, por lo tanto, el momento magnético producido por el movimiento de los electrones es cero o bien muy pequeño.
- Con respecto al momento magnético intrínseco del electrón se denomina spin.

10.2 VECTOR DE MAGNETIZACIÓN $[\vec{\boldsymbol{M}}]$

El estado magnético de una sustancia se describe por medio de una cantidad denominada vector de magnetización $\vec{M}$ $\left[\frac{A}{m}\right]$. La magnitud del vector magnetización es igual al momento magnético por unidad de volumen de la sustancia.

Supongamos una región en la cual actúa un campo magnético B_0 producido por un conductor por el que circula corriente.

Si esa región del espacio es llenada con una sustancia magnética el campo magnético total en dicha región será: $\vec{B} = \overrightarrow{B_0} + \overrightarrow{B_m}$, Siendo $\overrightarrow{B_m}$ el campo producido por la sustancia.

El **Vector de magnetización queda:**

$$\overrightarrow{B_m} = \overrightarrow{\mu_0}\,\vec{M} \quad ; \quad \vec{B} = \overrightarrow{B_0} + \overrightarrow{\mu_0}\,\vec{M}$$

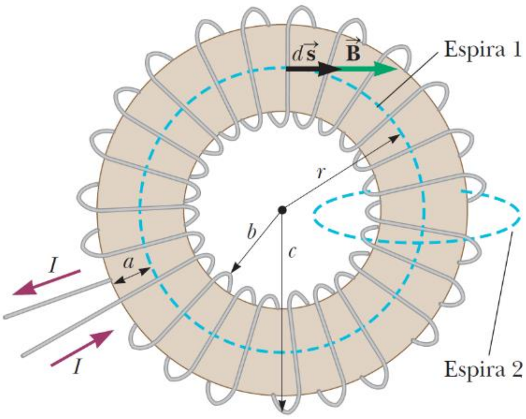
Introduciendo la *intensidad de campo magnético* en la ecuación:

$$\vec{H} = \frac{\overrightarrow{B_0}}{\mu_0} \quad \therefore \quad \vec{B} = \overrightarrow{\mu_0}\left(\vec{H} + \vec{M}\right)$$

10.3 INTENSIDAD DE CAMPO MAGNÉTICO [$\vec{H}$]

$$\vec{H} = \frac{\vec{B_0}}{\mu_0} \quad \left[\frac{A}{m}\right]$$

Para comprender las dos cosas anteriores, tomamos el núcleo de un toroide:



Si este espacio es el vacío:

$$\vec{M} = 0 \;\; ; \;\; \vec{B} = \vec{B_0} = \vec{\mu_0}\ \vec{H}$$

Como $\vec{B_0} = \vec{\mu_0}\, n\, \vec{H}$ en el medio del toroide, podemos armar una nueva ecuación para describir la intensidad de campo magnético:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B_0}}{\vec{\mu_0}} = n\, I$$

La intensidad del campo magnético es debido a la corriente.

Si el núcleo del toroide se completa con una sustancia e $I = cte$, H dentro del toroide es invariable y su magnitud es nI.

Lo que si cambiará en este caso es el campo total $\vec{B} = \vec{\mu_0}\,(\vec{H} + \vec{M})$ *Esto debido a que* ***la magnetización de la materia contribuye con B***.

10.4 CLASIFICACIÓN DE LAS SUSTANCIAS MAGNÉTICAS

Paramagnéticos	Ferromagnéticos	Diamagneticos
• Poseen átomos con momentos de dipolo magnético permanente • Poseen *Vector de magnetización* • $\vec{M} = \chi\, \vec{H}$ • $\chi > 0$ • $\vec{M}$ *y* $\vec{H}$ *tienen mismo sentido* • $\vec{\mu_m} > \vec{\mu_0}$	• Poseen átomos con momentos de dipolo magnético permanente • χ no aplica • $\vec{\mu_m} \gg \vec{\mu_0}$	• No poseen átomos con momentos de dipolo magnético permanente • Poseen *Vector de magnetización* • $\vec{M} = \chi\, \vec{H}$ • $\chi < 0$ • $\vec{M}$ *y* $\vec{H}$ *tienen sentidos opuestos* • $\vec{\mu_m} < \vec{\mu_0}$

χ es un factor **adimensional** denominado **susceptibilidad magnética**.

A este valor lo podemos sustituir en B:

$$\vec{B} = \vec{\mu_0}\,(\vec{H} + \vec{M}) = \vec{\mu_0}\,(\vec{H} + \chi\, \vec{H}) = \vec{\mu_0}\, \vec{H}\,(\chi + 1)$$

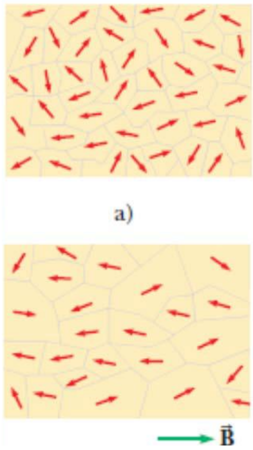
$$\vec{B} = \vec{\mu_m}\, \vec{H} \quad \rightarrow \quad \vec{\mu_m} = \vec{\mu_0}\,(\chi + 1)$$

Y así establecemos la permeabilidad magnética de la sustancia ($\vec{\mu_m}$)

> $\vec{B} = \vec{\mu_m}\, \vec{H}$ en el caso de sustancias ferromagnéticas debe ser interpretado con cuidado porque $\vec{\mu_m}$ no es característico de las sustancias, sino que depende del estado y tratamiento previo del cuerpo.

10.4.1 Ferromagnetismo

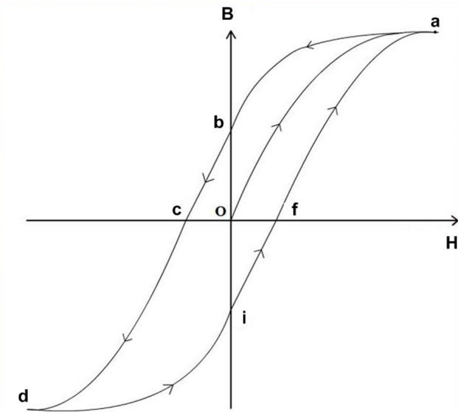
Ciertas sustancias cristalinas cuyos átomos poseen momentos de dipolo magnético permanentes muestran intensos efectos magnéticos, a lo que se denomina ferromagnetismo, ejs: hierro, cobalto, níquel, gadolinio y disprosio.



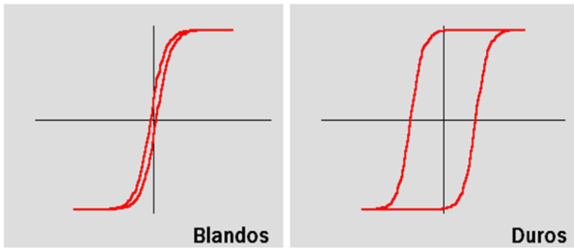
Los materiales ferromagnéticos, ante un campo magnético, sus elementos magnéticos atómicos internos quedan alineados de tal forma que el material permanece magnetizado luego que se retire el campo magnético.

- Si la muestra esta desmagnetizada los dominios están orientados al azar y el momento magnético es cero.
- Cuando la muestra se pone en un campo magnético externo los momentos magnéticos de los dominios tienden a alinearse. Cuando el campo externo desaparece la muestra retiene una magnetización neta en la dirección del campo.
  A temperaturas ordinarias la agitación térmica no es suficientemente alta como para alterar esa orientación.

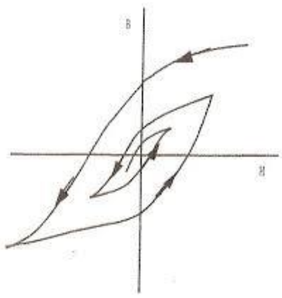
Esto se conoce como **ciclos de histéresis**.



Los materiales para imanes permanentes tienen ciclos de histéresis anchos (gran magnetización remanente). Estos materiales no pueden desmagnetizarse por un campo exterior. El hierro tiene ciclos delgados (material blando).



Una sustancia ferromagnética puede ser desmagnetizada llevándola por el lazo de histéresis masivos al reducir gradualmente el campo. El área encerrada por el ciclo magnético representa el trabajo requerido para llevar el material por el ciclo de histéresis. La energía adquirida por el material proviene de la fuente del campo externo. Cuando el ciclo de magnetización se repite los procesos disipativos en el material por la reorientación de los dominios origina una transformación de energía magnética en térmica interna que eleva la temperatura del material. Los transformadores usan núcleos con átomos ferromagnéticos blandos. Con lazos de histéresis estrechos.



10.4.2 Paramagnetismo

Las sustancias paramagnéticas tienen susceptibilidad (χ) positiva muy pequeña $0 < \chi \ll 1$, esto se debe a la presencia de átomos con momentos de dipolo magnético permanente. Estos dipolos actúan débilmente entre sí y se orientan al azar si no hay un campo magnético (B) externo. Cuando la sustancia se coloca dentro de un campo externo los dipolos se alinean, pero el movimiento de agitación térmica rompe la alineación. Experimentalmente se ha encontrado que la magnetización de un material paramagnético es proporcional al campo magnético aplicado e inversamente proporcional a la temperatura.

$$M = C\frac{B}{T} \qquad C = cte.de\ Curie$$

$$Si\ B = 0 \quad \therefore \quad M = 0$$

$$Si\ B = \uparrow \rightarrow \ M = \uparrow \quad \therefore \quad T \uparrow \quad y \ \ M \downarrow$$

Con campos muy altos o temperaturas muy bajas la magnetización se aproxima al máximo. Con respecto a las sustancias ferromagnéticas, cuando alcanzan o solo pasan la temperatura critica llamada temperatura de Curie la sustancia pierde su magnetización y se vuelve paramagnética.

Por debajo de la temperatura de Curie los dominios se alinean y la sustancia es ferromagnética.

Tabla 30.2 Temperaturas Curie para varias sustancias ferromagnéticas

Sustancia	T_{Curie} (K)
Hierro	1 043
Cobalto	1 394
Níquel	631
Gadolinio	317
Fe_2O_3	893

10.4.3 Diamagnetismo

Una sustancia diamagnética es aquella cuyos átomos no tienen momento de dipolos magnético permanente. Si se aplica un campo externo a una sustancia como el Be (berilio) o la Ag (plata) un momento de dipolo magnético se reduce en la dirección opuesta a la del campo aplicado.

Puede llegar a tener cierta comprensión del diamagnetismo si considera un modelo clásico de dos electrones atómicos en órbita alrededor del núcleo, en direcciones opuestas, pero con una misma rapidez. Los electrones se mantienen en sus órbitas circulares debido a la fuerza electrostática de atracción ejercida por el núcleo con carga positiva. Ya que los momentos magnéticos de los dos electrones son de igual magnitud, pero de dirección opuesta, se cancelan entre sí, y el momento magnético del átomo es igual a cero. Cuando se le aplica un campo magnético externo, los electrones experimentan una fuerza magnética adicional $\boldsymbol{q}\,\vec{\boldsymbol{v}} \times \vec{\boldsymbol{B}}$. Esta fuerza magnética añadida se combina con la fuerza electrostática para incrementar la rapidez orbital del electrón cuyo momento magnético es antiparalelo al campo, y reduce la rapidez del electrón cuyo momento magnético es paralelo al mismo. Como resultado, los dos momentos magnéticos de los electrones ya no se cancelan y la sustancia adquiere un momento magnético neto opuesto al campo aplicado.

11 CORRIENTE ALTERNA

La corriente alterna es aquella que se expresa de la siguiente manera:

$$\boxed{\varepsilon(t) = \varepsilon_0 \operatorname{sen}(\omega\, t + \varphi)}$$

$\varepsilon(t)$ = valor instantáneo de la onda.
ε_0 = valor pico, máximo o amplitud de la onda.
ω = velocidad angular medida en rad/seg.
t = tiempo medido en segundos.
φ = fase de la onda (cuando $t = 0$) $[rad]$.

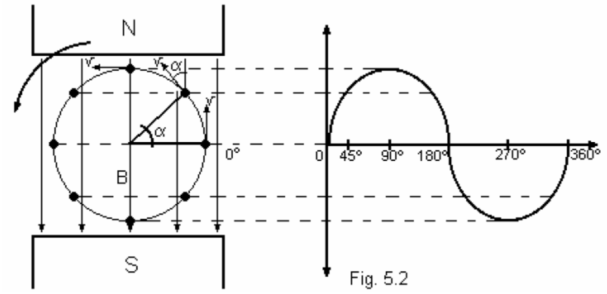
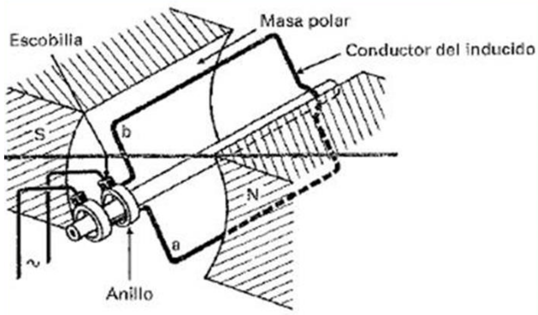


Fig. 5.2

11.1 GENERACIÓN

Esta FEM se genera cuando una espira o grupo de espiras se hace rotar dentro de un campo magnético uniforme.



$$\Phi_B = B\, A \cos\theta = B\, A \cos(\omega\, t)$$

$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi_B}{dt} = N\, B\, A\, \omega \operatorname{sen}(\omega\, t)$$

$$N\, B\, A\, \omega = \varepsilon_0 = \varepsilon_{pico}$$

11.2 DEFINICIONES

Ciclo: Cuando se ha completado una revolución, la onda ha pasado por todos los valores entre los positivos y los negativos. En este caso se dice que la onda ha dado "un ciclo" de tensión o corriente. Esto se repite por cada vuelta de la espira.

Semiciclo: Un ciclo consta de dos semiciclos. El semiciclo positivo y el semiciclo negativo.

Período [T]: Es el tiempo que tarda la onda en dar un ciclo. Se mide en $segundos$ y se mide sobre el eje horizontal donde se representa la onda.

Frecuencia [f]: Es el número de ciclos que realiza la onda en un segundo y se mide en $Hertz$.

Relación entre frecuencia y período: Relacionando las dos definiciones anteriores se deduce que la frecuencia es la inversa del período. Matemáticamente:

$$f = \frac{1}{T} \quad [Hertz]$$

Velocidad Angular: se define como la velocidad angular al ángulo que se recorre en la unidad de tiempo. Se mide en $º/seg$ o rad/seg.

$$\omega = 2\,\pi\, f = \frac{2\,\pi}{T} \quad [rad/s]$$

Fase: La fase de un punto de la onda es la diferencia en grados eléctricos (equivalente a un tiempo) entre el punto y el inicio del ciclo. Se mide en $grados$ o $radianes$.

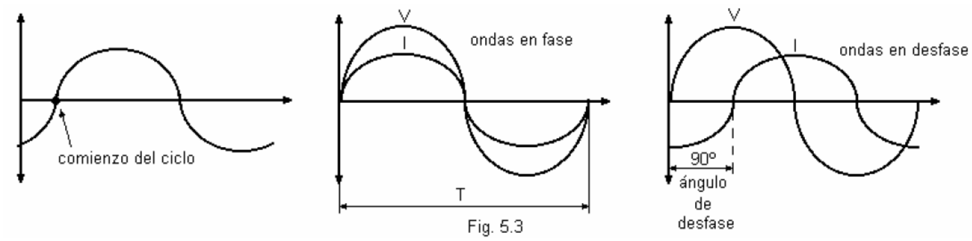


Fig. 5.3

11.3 VALORES DE UNA ONDA

En la corriente alterna senoidal hay que distinguir los siguientes valores de corriente o tensión:

Valor instantáneo (ε): Valor que corresponde a un determinado instante de la onda. Se suele representar por una letra minúscula ("ε" o "i" si hablamos de corriente). Un ciclo de la onda posee infinitos valores instantáneos.

Valor máximo o pico (ε_0): Es el mayor valor que puede tomar la onda. Se representa por ε_0, V_0 o I_0 según corresponda a tensión o corriente. Aparece en ambos sentidos (semiciclo positivo y negativo) y es de igual valor. También se le suele llamar **Amplitud**.

Valor pico a pico (ε_{pp} o V_{pp}): Es el valor de tensión medido entre el pico positivo y el pico negativo. Es el doble del valor pico.

Valor medio (ε_m): Es el valor promedio de los valores instantáneos dentro de un período. Se define como el área comprendida en un ciclo dividida el período del ciclo. Se representa con ε_m, V_m o I_m.

Valor eficaz (ε_{rms} o V_{rms}): Se llama valor eficaz de una onda alterna al valor de corriente o tensión continua que al circular por una resistencia produce la misma cantidad de calor que la alterna produce sobre la misma resistencia. Se representa por E o I.

$$\varepsilon_{rms} = \frac{\varepsilon_0}{\sqrt{2}} \quad ; \quad I_{rms} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$$

$$P = I_{rms}^2\, R$$

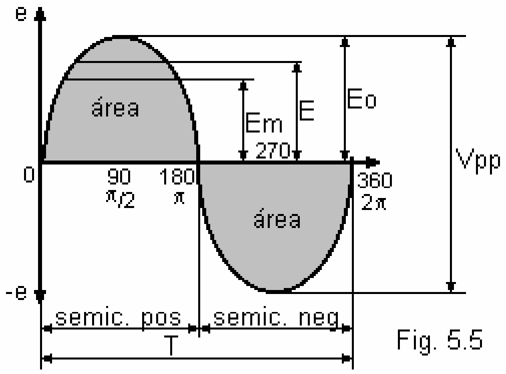
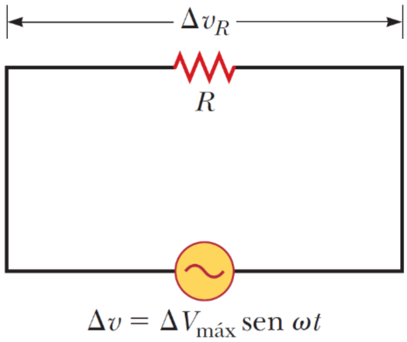


Fig. 5.5

11.4 CIRCUITO RESISTIVO PURO [$\boldsymbol{R}$]

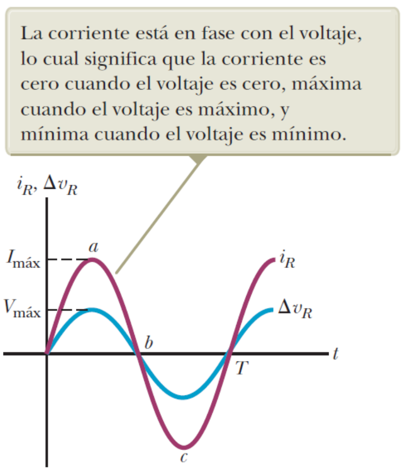


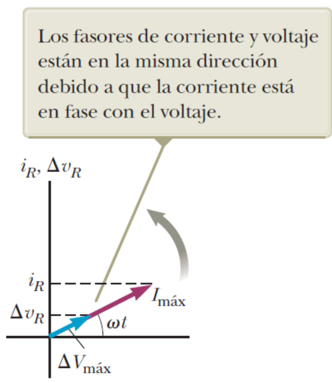
Tenemos un circuito conformado por un generador de CA conectada a una resistencia pura (la nombramos así porque no produce otro efecto que el de resistencia) Aplicando la 2º Ley de Kirchhoff tenemos:

$$V - V_R = 0 \quad \therefore \quad V = \boxed{V_R = V_0\,\text{sen}(\omega\, t)}$$

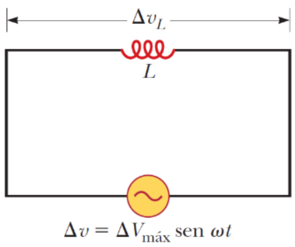
Por Ley de Ohm podemos deducir el valor de la corriente:

$$I_R = \frac{V}{R} = \frac{V_0}{R}\text{sen}(\omega\, t) = \boxed{I_R = I_0\,\text{sen}(\omega\, t)}$$





11.5 Circuito Inductivo Puro $[L]$



Tenemos un circuito conformado por un generador de CA conectada a una inductancia pura (la nombramos así porque no produce otro efecto que el de inductancia)

Aplicando la 2º Ley de Kirchhoff tenemos:

$$V - V_L = 0 \quad ; \quad V = V_0\,\mathrm{sen}(\omega\, t)$$

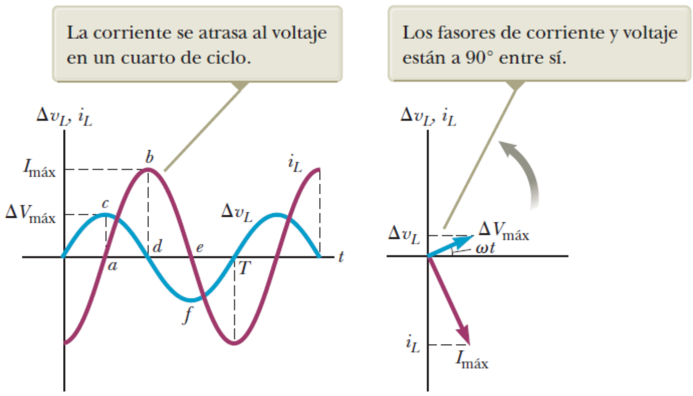
$$V_L = L\frac{di}{dt} \;\rightarrow\; V - L\frac{di}{dt} = 0$$

Despejamos di e integramos.

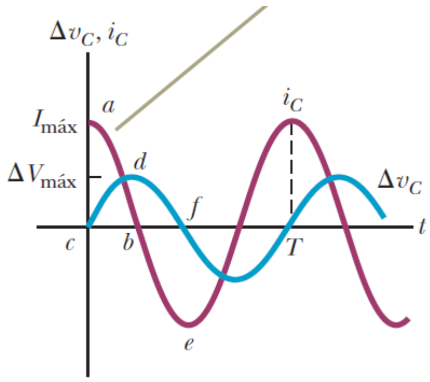
$$i = \frac{V_0}{L}\int \mathrm{sen}(\omega\, t)\, dt = \frac{V_0}{\omega\, L}\mathrm{sen}\left(\omega\, t - \frac{\pi}{2}\right)$$

A $\omega\, L$ lo denominamos **reactancia inductiva**:

$$\boxed{\omega\, L = XL} \quad \therefore \quad I_0 = \frac{V_0}{XL} \;\rightarrow\; \boxed{I(t) = I_0\,\mathrm{sen}\left(\omega\, t - \frac{\pi}{2}\right)}$$



11.6 Circuito Capacitivo Puro $[C]$



Tenemos un circuito conformado por un generador de CA conectado a una capacidad pura (la nombramos así porque no produce otro efecto que el de una capacidad) Aplicando la 2º Ley de Kirchhoff tenemos:

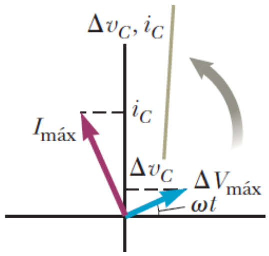
$$V - V_C = 0 \quad ; \quad V = V_C = V_0\,\mathrm{sen}(\omega\, t)$$

$$V_C = \frac{Q}{C}\,; Q = C.V_C = C.V_0\,\mathrm{sen}(\omega\, t)$$

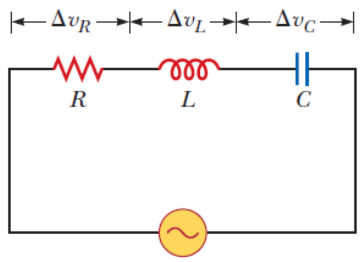
$$i = \frac{dQ}{dt} = \omega\, C\, V_0\,\mathrm{sen}\left(\omega\, t + \frac{\pi}{2}\right)$$

A $\frac{1}{\omega\, C}$ lo denominaremos **Reactancia Capacitiva:**

$$\boxed{\frac{1}{\omega\, C} = XC} \quad \therefore \quad I_0 = \frac{V_0}{XC} \;\rightarrow\; \boxed{I(t) = I_0\,\mathrm{sen}\left(\omega\, t + \frac{\pi}{2}\right)}$$



11.7 Circuito serie $[\boldsymbol{RLC}]$

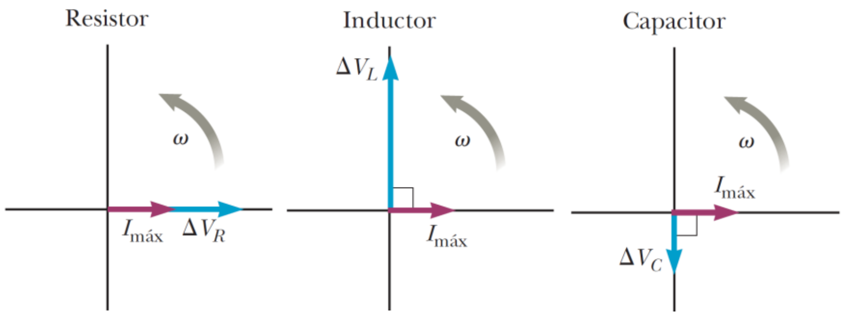


- La corriente va a ser la misma en todo el circuito.
- Las caídas de tensión van a ser diferentes.

$$V = V_R + V_L + V_C$$

$$V_R = I_0\,R \quad ; \quad V_L = I_0\,XL \quad ; \quad V_C = I_0\,XC$$

Para hacer esta suma debemos tener en cuenta lo siguiente:



La suma que hagamos es con **magnitudes vectoriales**, por eso para calcular el V_0 hacemos:

$$V_0 = \sqrt{V_R^2 + (VL - VC)^2}$$

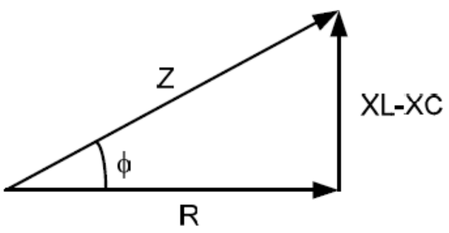
$$V_0 = \sqrt{I_0\,R_R^2 + (I_0\,XL - I_0\,XC)^2}$$

$$V_0 = I_0\,\sqrt{R^2 + (XL - XC)^2}$$

11.7.1 Impedancia $[\boldsymbol{Z}]$

A $\sqrt{R^2 + (XL - XC)^2}$ lo denominaremos **Impedancia:**

$$\boxed{\sqrt{R^2 + (XL - XC)^2} = Z} \quad \therefore \quad I_0 = \frac{V_0}{Z} \quad \rightarrow \quad \boxed{I(t) = I_0\,\mathrm{sen}(\omega\,t + \varphi)}$$



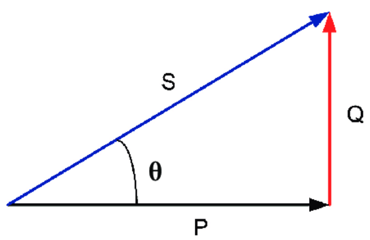
Acá tenemos que hacer algo adicional; Calcular el ángulo de fase:

$$\mathrm{tg}\,\varphi = \frac{XL - XC}{R}$$

$$Si\ XL > XC \ \rightarrow \ \varphi > 0 \ \therefore \ la\ corriente\ atrasa.$$
$$Si\ XL < XC \ \rightarrow \ \varphi < 0 \ \therefore \ la\ corriente\ adelanta.$$

11.8 Factor de potencia

Como vimos antes, la **impedancia** es una carga medida en **ohmios**, pero que tiene un componente de fase. Esto lo podemos ver con el **Triángulo de potencia:**



La **potencia real, activa, o promedio** se calcula:

$$P = V_{rms}\,I_{rms}\cos\varphi \quad ; \quad \cos\varphi = P/S$$

*Este $\cos\varphi$ es muy importante para establecer cual es la energía que consumo en un circuito. En industrias, la gran cantidad de cargas inductivas (motores) hacen que la **potencia reactiva** aumente considerablemente, teniéndose así que disminuirse conectando capacitores en la línea eléctrica para llevar el $\cos\varphi \rightarrow 1$*

S es la **potencia aparente** $[VA]$
P es la **potencia activa** $[W]$
Q es la **potencia reactiva** $[VAR]$

11.9 RESONANCIA

Se dice que un circuito RLC serie está en resonancia cuando la corriente en rms tiene su máximo valor.

$$I_0 = \frac{V_0}{Z} = \frac{V_0}{\sqrt{R^2 + (XL - XC)^2}}$$

Para que la corriente esté o tienda a su máximo valor, la impedancia tiene que ser mínima. Es decir:

$$XL = XC$$

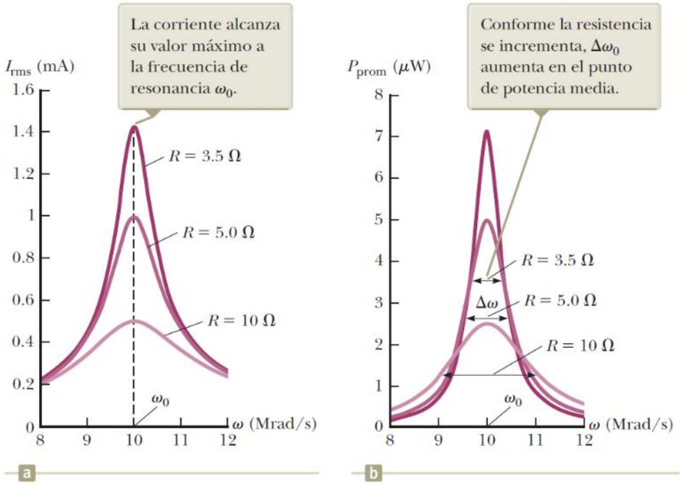
Como ambos dependen de la **velocidad angular** o **frecuencia**:

$$\omega_0\, L = \frac{1}{\omega_0\, C} \qquad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L\, C}}$$

La línea central es donde la potencia será máxima. Esta está ubicada a la frecuencia ω_0.

Estos circuitos se implementan por ejemplo en una radio: La ganancia es máxima para la frecuencia que estamos escuchando.

También definimos algo que se llama:



11.9.1 Factor de calidad [Q_0]

El factor de calidad está dado por la ecuación:

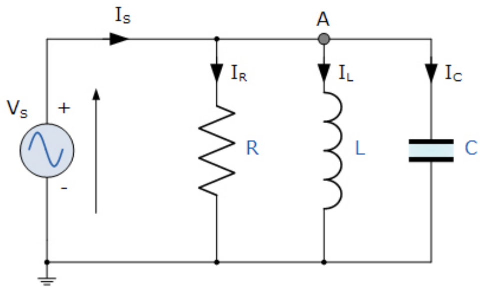
$$Q_0 = \frac{\omega_0}{\Delta\omega}$$

Al valor $\Delta\omega$ lo tomamos en el valor medio de la potencia.

Mientras mayor sea el **factor de calidad**, más estrecha será la curva.

11.10 CIRCUITO PARALELO [RLC]

Acá es donde todo se pone raro. En este circuito, la diferencia de potencial se mantiene, pero la corriente no.



A este problema lo planteamos desde la potencia:

$$\boxed{\vec{I_R} = \frac{\vec{V_0}}{R}} \;;\; \boxed{\vec{I_L} = -j\,\frac{\vec{V_0}}{XL}} \;;\; \boxed{\vec{I_C} = -j\,\frac{\vec{V_0}}{XC}}$$

$$\vec{I_0} = \vec{I_R} + \vec{I_L} + \vec{I_C}$$

$$\vec{I_0} = \vec{V_0}\left(\frac{1}{R} + j\left[\frac{1}{XC} - \frac{1}{XL}\right]\right) = \frac{\vec{V_0}}{\vec{Z}}$$

El módulo de la impedancia será: $Z = \left(\frac{1}{R} + j\left[\omega\, C - \frac{1}{\omega\, L}\right]\right)^{-\frac{1}{2}}$

Su ángulo: $\operatorname{tg}\varphi = -R\left(\omega\, C - \frac{1}{\omega\, L}\right)$

12 ECUACIONES DE MAXWELL Y ONDAS

12.1 CORRIENTE DE DESPLAZAMIENTO

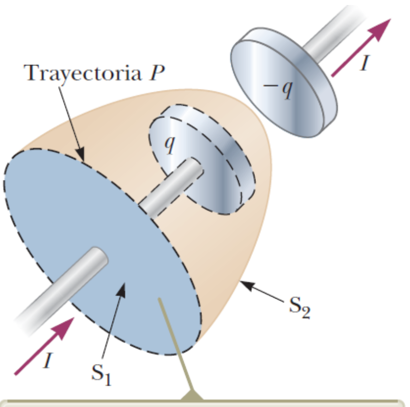
Supongamos un capacitor en el proceso de carga.

$$I = \frac{dQ}{dt}$$

Cuando la corriente cambia con el tiempo, la carga en las placas del condensador también cambia, pero **no pasa corriente** entre las placas. Supongamos una trayectoria y dos superficies $S1$ y $S2$.

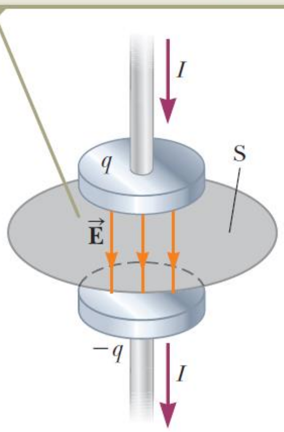
Recordando la ley de ampere: Esta dice que la $\oint \vec{B}\ \vec{ds} = \mu_0\, I$, siendo la corriente que pasa por cualquier superficie delimitada por la trayectoria. *Esta ecuación solo es válida cuando* $I = cte.$

Si consideramos $S1$ *el resultado de la trayectoria es* $\mu_0\, I$, *ya que la corriente pasa por* $S1$, *pero a través de* $S2$ *el resultado es cero porque ninguna corriente pasa a través de* $S2$



La corriente de conducción I en el alambre pasa solamente a través de S_1, lo que conduce a una contradicción en la ley de Ampère que sólo se resuelve si uno postula una corriente de desplazamiento a través de S_2.

Las líneas de campo eléctrico entre las placas crean un flujo eléctrico a través de la superficie S.



Maxwell elabora sobre esto:

$$I_d = \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \quad siendo\ \Phi_E = \int E\ ds$$

Cuando un condensador se está cargando el campo eléctrico entre las placas actúa como un tipo de corriente que sirve de puente para dar continuidad a la corriente. Agregando este término se resuelve el problema de discontinuidad.

$$\oint \vec{B}\ \vec{ds} = \mu_0\,(I + I_d) = \mu_0\, I + \mu_0\, \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt}$$

El flujo eléctrico a través de $S2$ es:

$$\Phi_E = \int E\ ds = E\ A$$

Finalmente, Si Q es la carga entre las placas:

$$E = \frac{Q}{\varepsilon_0\, A} \quad \rightarrow \quad \Phi_E = E\ A = \frac{Q}{A}$$

Entonces reemplazamos el flujo eléctrico en la corriente del capacitor

$$I_d = \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} = \frac{dQ}{dt}$$

$$\boxed{I_d = \frac{dQ}{dt}}$$

Espero que hayas podido entender todo, si no, atájate catalina por que ahora vamos a ver las ecuaciones de $MAXWELL$, pero por separado. Porque si las ves todas juntas te vas a quedar con $PTSD$ para el resto de tu vida. ($Trastorno\ por\ estrés\ postraumático$). ¯_(ツ)_/¯

12.2 Primera ecuación de Maxwell

Ley de Gauss para el campo eléctrico

$$\boxed{\Phi_E = \oint \vec{E}\ \overrightarrow{ds} = \frac{Q}{\varepsilon_0}}$$

Esto es simplemente la ley de gauss:

*"En una superficie gaussiana **CERRADA**, el flujo eléctrico neto será igual a la carga neta dentro de esta dividido a la permeabilidad dieléctrica del vacío. Si no tiene carga en su interior, el flujo es 0."*

Esta ecuación relaciona el campo eléctrico con la carga.
Las líneas de campo eléctrico nacen en una carga positiva y terminan en una carga negativa.

12.3 Segunda ecuación de Maxwell

Ley de Gauss para el campo magnético

$$\boxed{\Phi_B = \oint \vec{B}\ \overrightarrow{ds} = 0}$$

Esto es la ley de gauss pero ahora **aplicada al campo magnético**.

*"El **flujo magnético** a través de una superficie cerrada es cero."*

Esto significa que las líneas de campo magnético que entran a una superficie cerrada deben salir.
Las líneas no empiezan ni terminan en **ningún** punto, son cerradas.

12.4 Tercera ecuación de Maxwell

Ley de Faraday-Henry

$$\boxed{\oint \vec{E}\ \overrightarrow{dl} = -\frac{d\Phi_B}{dt}}$$

Si recordamos la ley de Faraday:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} \qquad (1)$$

El potencial eléctrico inducido en un circuito es debido a la **variación del flujo magnético en el tiempo**.

Como sabemos, el flujo magnético está descrito por la ecuación:

$$\Phi_B = \int \vec{B}\,\overrightarrow{dA}$$

Maxwell dice que **si existe un** **potencial eléctrico inducido** también debe existir un **campo eléctrico** representado con:

$$\varepsilon = \oint \vec{E}\ \overrightarrow{dl} \qquad (2)$$

Juntando los dos panes armamos el sanguche:

$$\oint \vec{E}\ \overrightarrow{dl} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

*"Toda variación del **flujo magnético** que atraviesa un circuito **cerrado** produce en este una **corriente eléctrica inducida**"*

Explica que los campos magnéticos variables producen a su alrededor campos eléctricos.

12.5 Cuarta ecuación de Maxwell

Ley de Ampere - Maxwell

$$\boxed{\oint \vec{B}\ \overrightarrow{dl} = \mu_0\ I + \mu_0\ \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt}}$$

Esta ecuación describe la creación de un campo magnético por un campo eléctrico variable y por corriente eléctrica.

*"La integral de línea del campo magnético alrededor de **cualquier trayectoria cerrada** es:*
La suma de μ_0 multiplicada por la corriente neta a través de dicha trayectoria y
*$\varepsilon_0\ \mu_0$ multiplicada por la **rapidez de cambio del flujo eléctrico** a través de cualquier superficie limitada por dicha trayectoria."*

Y, por último, si usamos la **Fuerza de Lorentz:** $\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$ Combinada con las ecuaciones de Maxwell pueden obtenerse las ecuaciones de onda de las ondas electromagnéticas

12.6 Ondas electromagnéticas planas

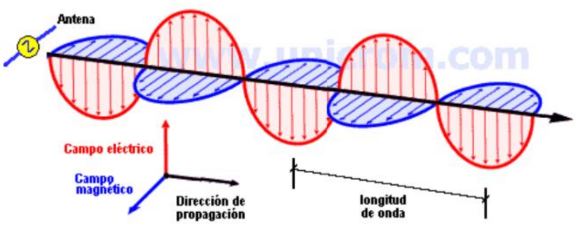
Las propiedades de las ondas electromagnéticas se pueden deducir a partir de las ecuaciones de Maxwell.

Para seguir un camino de resolución que no sea matemáticamente muy complicado se supone un comportamiento especifico de los campos magnéticos y eléctricos en función del espacio y del tiempo que sea consistente con las ecuaciones de Maxwell.

Se describe entonces una onda electromagnética plana:

- **La onda viaja en la dirección del eje x.**
- **El campo eléctrico está en la dirección y.**
- **El campo magnético en la dirección z.**

Este tipo de ondas en las cuales el campo magnético y el campo eléctrico están restringido a mantener una dirección fija, se dice que están polarizado linealmente.



"E y B en cualquier punto dependen de x y de t pero no de y ni de z."

Las ecuaciones de onda para el campo eléctrico y el campo magnético son:

$$\boxed{\frac{d^2E}{dx^2} = \mu_0\ \varepsilon_0 \frac{d^2E}{dt^2}} \qquad \boxed{\frac{d^2B}{dx^2} = \mu_0\ \varepsilon_0 \frac{d^2B}{dt^2}}$$

Estas tienen la misma forma que la ecuación de onda general:

$$\frac{d^2f}{dx^2} = \frac{1}{v^2}\frac{d^2f}{dt^2}$$

Despejando, la velocidad de propagación seria:

$$v = c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\ \varepsilon_0}} = 2{,}99792\ \ 10^8\ m/s$$

Las soluciones más simples a la ecuación son:

$$E(x,t) = E_{max}\cos(kx - \omega t)$$
$$B(x,t) = B_{max}\cos(kx - \omega t)$$

Puede demostrarse que los campos están relacionados entre sí, mediante la ecuación:

$$\frac{E_{max}}{B_{max}} = \frac{E}{B} = c$$

$$Numero\ de\ onda\ angular: \boxed{k = \frac{2\pi}{\lambda}}\ \ donde\ \lambda: longitud\ de\ onda$$

$$\omega = 2\pi f$$

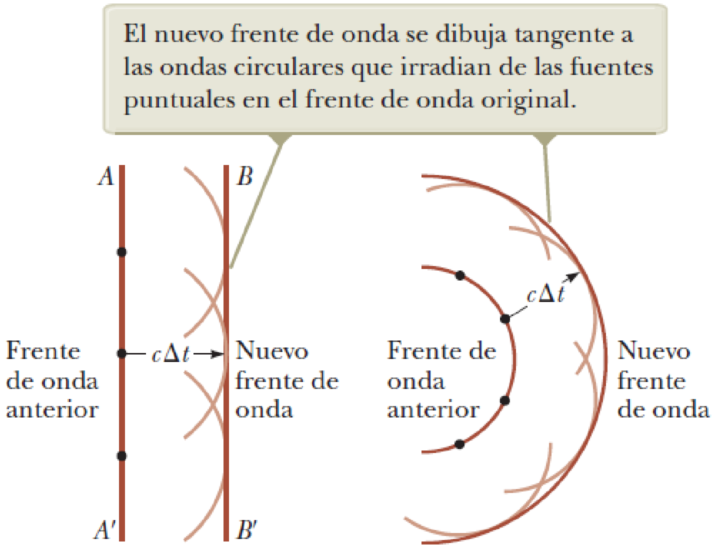
Dividiendo estos dos tenemos: $\boxed{\frac{\omega}{k} = \frac{2\pi f}{\frac{2\pi}{\lambda}} = \lambda f = c}$

13 ÓPTICA FÍSICA

13.1 PRINCIPIO DE HUYGENS

Es una construcción para usar el conocimiento de un frente de onda anterior con el fin de determinar la posición de un nuevo frente de onda, en un instante.

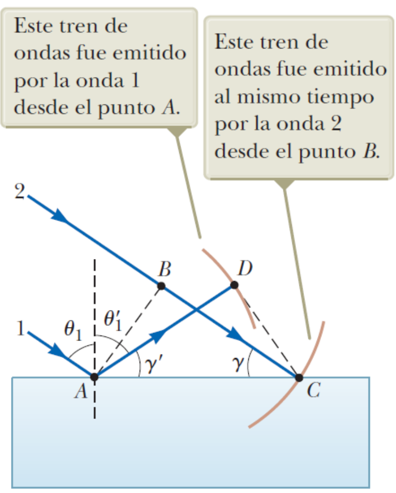
En la construcción de Huygens todos los puntos de un frente de onda determinado se toman como fuentes puntuales de la producción de ondas esféricas, las cuales se propagan hacia afuera según la velocidad en ese medio. En un cierto tiempo, la nueva posición del frente de onda es la superficie tangente a las ondas secundarias.



El radio de las ondas esféricas al cabo de un cierto tiempo es igual a: $c \times \Delta t$

13.1.1 Aplicado a la reflexión

La recta AB representa un frente de onda plana de la luz incidente precisamente cuando el rayo 1 incide en la superficie. En este instante, la onda en A envía un tren de ondas de Huygens (el arco circular en rojo con centro en A). La luz reflejada se propaga hacia D. Al mismo tiempo, la onda en B emite un tren de ondas de Huygens (el arco circular en rojo con centro en B) con la propagación de luz hacia C. Estos trenes de ondas después de un intervalo t, después del cual el rayo 2 incide en la superficie.



Como los rayos 1 y 2 se mueven a la misma rapidez, debe obtener
$AD = BC = c\Delta t$

$$\cos\gamma = \frac{BC}{AC} \quad ; \quad \cos\gamma' = \frac{AD}{AC}$$
$$donde\ \gamma = 90º - \theta_1 \quad y \quad \gamma' = 90º - \theta'_1$$

Como $AD = BC$:

$$\cos\gamma = \cos\gamma'$$

Por lo tanto:

$$\gamma = \gamma'$$
$$90º - \theta_1 = 90º - \theta'_1$$

Entonces...

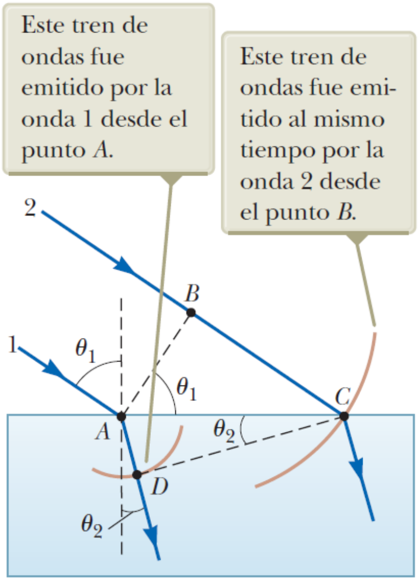
$$\boxed{\theta_1 = \theta'_1}$$

"ley de la reflexión"

¿Que permite determinar la construcción del principio de Huygens?
RTA: El nuevo frente de onda.

13.1.2 Aplicado a la refracción

En el instante en que el rayo 1 incide sobre la superficie y el intervalo de tiempo consecutivo hasta que el rayo 2 hace lo mismo. Durante este intervalo de tiempo, la onda en A envía un tren de ondas de Huygens (el arco en rojo con centro en A) y la luz refracta hacia D. En el mismo intervalo de tiempo, la onda en B envía un tren de ondas de Huygens (el arco rojo con centro en B) y la luz continúa su propagación hacia C. Ya que estos dos trenes de onda se desplazan en medios diferentes, los radios de los trenes de ondas son diferentes.



El radio del tren de ondas desde A es $AD = v_2 \Delta t$ donde v_2 es la rapidez de la onda en el segundo medio.

El radio del tren de ondas desde B es $BC = v_1 \Delta t$ donde v_1 es la rapidez de la onda en el medio original.

A partir de los triángulos ABC **y** ADC**:**

$$\operatorname{sen}\theta_1 = \frac{BC}{AC} = \frac{v_1 \Delta t}{AC} \qquad y \qquad \operatorname{sen}\theta_2 = \frac{AD}{AC} = \frac{v_2 \Delta t}{AC}$$

Sabiendo que: $v_1 = {}^{c}/_{n_1} \quad y \quad v_2 = {}^{c}/_{n_2}$

Dividimos la primera ecuación entre la segunda,

$$\frac{\operatorname{sen}\theta_1}{\operatorname{sen}\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{{}^{c}/_{n_1}}{{}^{c}/_{n_2}} = \frac{n_2}{n_1}$$

Entonces...

$$\boxed{n_1 \operatorname{sen}\theta_1 = n_2 \operatorname{sen}\theta_2}$$

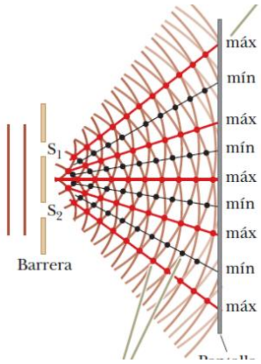
"Ley de la refracción de Snell"

13.2 INTERFERENCIA DE ONDAS LUMINOSAS

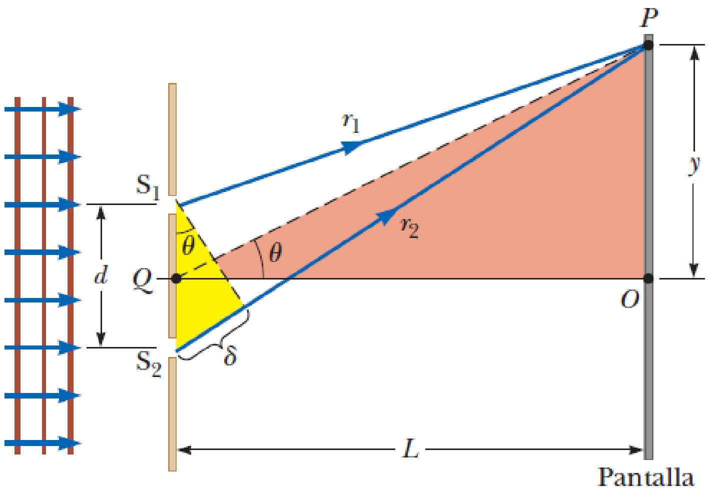
La interferencia de ondas luminosas fue demostrada por Young en 1801.

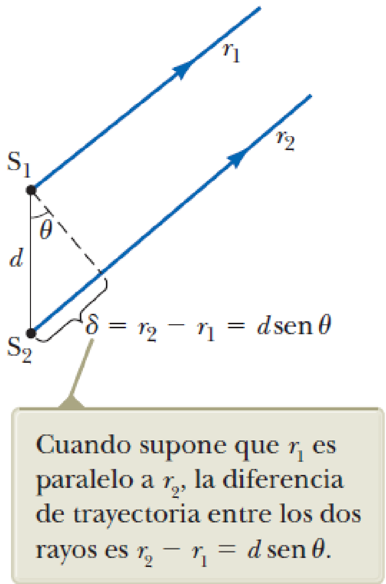
Vemos que incide luz sobre una pantalla en la cual hay una estrecha rendija S_0.

Las ondas que emergen de esta rendija llegan a una segunda pantalla que tiene dos rehendijas estrechas y paralelo S_1 y S_2 las cuales actúan como fuentes coherentes.



La luz incide sobre la pantalla C y produce franjas de interferencias. Si la luz que sale de S_1 y S_2 coincide en un punto de la pantalla y estén en fase se producirá **interferencia constructiva** y se produce una franja brillante. Si se **combinan destructivamente** se produce una línea oscura.





Hasta acá llegué…. No me tomaron esta unidad en el parcial, asique recibo desarrollos de esta unidad para colgarlos en este resumen. enriquewph@gmail.com

14 CUESTIONARIOS DE REPASO

Cuestionarios propuestos por el Profesor Ing. Luis Oscar Manzano, muy útiles para el repaso.

14.1 TERMOLOGÍA

1- ¿Qué es el contacto térmico?

2- ¿Qué significa equilibrio térmico?

3- ¿Cuál es la definición de la ley 0 y la temperatura?

4- ¿Cuáles son las ecuaciones para los cambios de unidades?

5- ¿Cómo se define el coeficiente de expansión lineal promedio?

6- ¿Cómo se define la energía interna?

7- ¿Qué incluye la energía interna?

8- ¿Qué es el calor?

9- Define capacidad calorífica

10- Define calor específico

11- ¿Cuál es la utilización del calorímetro de agua?

12- ¿A qué se denomina equivalente del agua?

13- ¿Qué es el calor latente?

14- ¿Qué calor latente conoce?

15- ¿Cómo se define la ley de Boyle?

16- ¿Cómo se define la ley de Gay Lussac?

17- ¿Cuál es la constante universal de los gases? ¿Cómo se define? ¿Para qué sirve?

14.2 LOS PRINCIPIOS DE LA TERMODINÁMICA

1- ¿Qué tipo de variable es el trabajo en un sistema termodinámico?

2- ¿Cuáles son las consideraciones que debemos tener en cuenta para una compresión y una expansión respecto a los signos?

3- ¿Cuándo el trabajo es 0?

4- ¿Además de conocer la ecuación de trabajo, de qué otra forma podríamos calcularlo?

5- ¿Que expresa la primera ley de la termodinámica?

6- ¿En un proceso adiabático, a que es igual la primera ley? ¿Por qué?

7- ¿En un proceso isobárico, a que es igual la primera ley? ¿Por qué?

8- ¿En un proceso isotérmico, a que es igual la primera ley? ¿Por qué?

9- ¿Qué es un proceso cíclico?

10- ¿A qué se debe la importancia de los calores específicos molares de un gas perfecto?

11- ¿En una compresión adiabática, la ecuación final de temperatura es igual a qué?

12- ¿Cómo se define una máquina térmica?

13- ¿Cómo se define la eficiencia térmica de una máquina térmica?

14- ¿Qué dice el enunciado de Kelvin-Planck?

15- ¿Qué es un proceso reversible y que es un proceso irreversible?

16- ¿Cómo funciona la máquina de Carnot? Describa el ciclo

17- ¿Que es una máquina frigorífica?

18- ¿Qué se entiende por entropía?

14.3 ELECTROSTÁTICA

1. En un Sistema aislado, ¿La carga eléctrica se conserva? ¿Por qué?

2. Defina la ley de Coulomb.

3. Defina el campo eléctrico.

4. ¿Como se sabe si hay campo eléctrico en un punto cualquiera?

5. La carga de prueba que elegimos, ¿De qué polaridad debe ser? ¿Por qué?

6. ¿Cuál es el valor que debería tener la carga de prueba?

7- ¿Qué es un Dipolo?

8- Si tenemos un Dipolo y queremos conocer el campo eléctrico en un punto cualquiera cercano a este, ¿Cuánto valdría el campo creado en un punto P? ¿Cómo sería esa suma?

9. ¿Cómo define la densidad superficial de carga?

10. ¿Qué dirección tiene el vector campo eléctrico (E) con respecto a una línea de campo eléctrico dibujada?

11. ¿Cómo varía el campo eléctrico en función de la distancia?

12. ¿Cómo se define el flujo eléctrico? ¿Cuáles son sus unidades?

13. ¿Cómo es el flujo cuando el área no es perpendicular a la línea del campo? ¿Cómo se calcula?

14. ¿Si el vector área A y el vector campo Eléctrico E, forman un ángulo de 90° cuál es el valor del flujo eléctrico?

15. ¿Cómo se calcula el campo creado por una carga?

16. ¿Qué expresa la ley de Gauss?

17. En una lámina cargada no conductora, ¿Cómo es el campo? ¿Cuál es la característica que lo define?

14.4 POTENCIAL ELÉCTRICO

1- Definición de trabajo eléctrico:

2- Definición de energía potencial eléctrica.

3- Definición de potencial eléctrico

4- Si se establece una diferencia potencial en un campo eléctrico uniforme, ¿qué significa cuando la carga positiva se mueve en la dirección del campo?, ¿si lo hiciera en dirección opuesta al campo?

5- ¿Qué son las superficies potenciales?

6- ¿Cómo se calcula el potencial eléctrico a causa de cargas puntuales?

7- A que se denomina gradiente de potencial

8- ¿Cuánto vale el potencial eléctrico debido a la distribución de cargas continuas?

9- ¿Por qué el campo eléctrico en una esfera, la cual está cargada positivamente en su periferia, el campo es nulo y el potencial es constante?

14.5 Capacitores

1- ¿Cómo se define la capacidad y cuáles son sus unidades?

2- ¿Cómo se realiza el cálculo de un condensador de placas paralelas?

3- ¿Cuánto vale la capacidad equivalente de un circuito paralelo y por qué?

4- ¿Cuánto vale la capacidad equivalente en un circuito combinación serie y por qué?

5- ¿Cómo se calcula la energía almacenada en un capacitor con cargas?

6- ¿Cuál es la forma y la energía en un capacitor almacenado?

7- ¿Qué nos proporciona un dieléctrico en un capacitor?

14.6 Corriente eléctrica

1- ¿Cómo se define la corriente eléctrica?

2- ¿Cuál es el sentido convencional de la corriente?

3- ¿Cuál es el valor de la corriente microscópica?

4- ¿Qué es la conductividad?

5- Defina la resistencia en función de la corriente y la tensión y en función de su geometría

6- ¿Qué es la resistividad y cómo se define en función de la temperatura?

7- ¿Cómo se define la resistencia en función de la temperatura y por qué?

8- ¿Qué es la ley de Joule, como se define?

14.7 El circuito eléctrico

1. ¿Cómo se define una FEM?

2. En un circuito serie, ¿Que se mantiene constante?

3. En un circuito paralelo, ¿Que se mantiene constante? ¿Cuánto valdría la resistencia equivalente obtenida?

4. ¿Qué dicen las leyes 1 y 2 de Kirchhoff?

5. ¿Qué son los nudos?

6. ¿Qué son las mallas?

7. ¿Qué queremos determinar en un circuito RC?

8. En un circuito RC ¿Cuál es el valor inicial en la carga?

9. ¿Cuáles serían los gráficos de carga y descarga de capacitor y del análisis de corriente (todo en función de t)?

10. ¿Por qué le daríamos 5T (TAU) a un circuito? ¿Qué aseguramos con eso?

11. ¿Para qué se utiliza un puente de Wheatstone?

12. ¿Para qué se utiliza un potenciómetro?

13. ¿Qué es un galvanómetro de 0 central?

14.8 MAGNETOSTÁTICA

1. ¿Qué tipo de imanes conoce? (Naturales y artificiales)

2. ¿Cuáles son las diferencias entre fuerza eléctrica u magnética?

3. ¿Cuáles son las propiedades de una fuerza magnética?

4. ¿Como se define el campo magnético?

5. ¿Para determinar la dirección y sentido de una fuerza, que mano utiliza y que representa cada uno de los dedos?

6. Si lanzamos una carga en forma perpendicular a un campo magnético, ¿qué sucede con ella?

7. Si esa carga con el campo magnético formara un ángulo tita, ¿que describe?

8. ¿A qué se llama fuerza de Lorentz?

9. ¿Qué podemos definir con el selector de velocidad?

10. ¿Que se determina con el espectrómetro de masa? ¿Para qué se utiliza?

11. ¿A que es igual una fuerza magnética que actúa sobre un conductor que transporta corriente? si el conductor es largo y rectilíneo y segundo si el conductor tiene una forma cualquiera.

12. ¿A qué igual el momento de torsión sobre una espira de corriente en un campo magnético? (Suponer una espira rectangular)

13. ¿A qué se llama momento magnético dipolar? ¿Es un vector o un escalar?

14. Como se define la ley de Biot-Savart?

15. ¿Cuándo hacemos el estudio de un conductor largo y rectilíneo que transporta corriente y aplicamos la ley de Biot-Savart, cual es la misión de poner todo en función de una variable?

16. Si tenemos dos conductores paralelos de los cuales circulan corriente y están separados a una distancia A, ¿cuándo las fuerzas son de atracción y cuando son de repulsión?

17. ¿Cómo definiría usted la ley de ampere?

18. ¿En un toroide, el campo magnético donde está ubicado y cuánto vale?

19. ¿El campo magnético de un solenoide como se forma y cuál es su valor?

14.9 INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

1. ¿Cuáles son las tres experiencias de Faraday y cuáles son sus consecuencias?

2. Defina flujo magnético.

3. ¿A qué se denomina una fem inducida en un circuito magnético?

4. ¿Cuáles son las condiciones para que la fem inducida sea distinta de cero?

5. Cuando hablamos de fem inducida por el movimiento, ¿qué produce?

6. Si a esa Barra que analizamos anteriormente le conectamos ahora una resistencia, ¿cuál sería el efecto que produce?

7. ¿Qué dice la ley de Lenz?

8. ¿A qué se denomina autoinducción?

9. ¿Qué es la inductancia mutua?

10. ¿Cuál es la ecuación de energía de un campo magnético?

11. ¿La densidad de energía por unidad de volumen por un campo magnético está en función de quién?

12. Realice una descripción somera sobre cómo funciona un generador.

14.10 PROPIEDADES MAGNÉTICAS DE LA MATERIA

1. ¿Cómo se calcula el momento magnético?

2. Para un material magnetizado, el momento magnético, ¿qué describe?

3. ¿Cuánto vale el momento magnético asociado a una espira de corriente?

4. ¿Cómo se define el momento angular del electrón o momento cinético?

5. ¿Cuáles son las direcciones y sentidos de los vectores de momento magnético y angular?

6. El estado magnético de una sustancia, ¿a través de qué se puede describir?

7. ¿A qué es igual la magnitud del vector magnetización?

8. ¿Cómo se define la intensidad del campo magnético H? Unidades.

9. Si tenemos un toroide y un vacío como núcleo, ¿cuál es el valor de la magnetización? ¿Cuánto valdría el campo magnético?

10. ¿Cuál es la clasificación de las sustancias magnéticas y cuáles son sus diferencias?

11. ¿A qué se denomina susceptibilidad magnética?

12. ¿Cómo son los vectores de magnetización e intensidad de campo magnético cuando la susceptibilidad de mayor y menor que cero?

13. ¿Qué es la permeabilidad magnética de la sustancia?

14. ¿Cuándo esta menciona una sustancia paramagnética, diamagnética o ferromagnética?

15. ¿Cuál es la característica de un elemento ferromagnético?

16. ¿Para qué sirve un anillo de Rowland?

17. Describa un ciclo de histéresis.

18. ¿Cómo es el ciclo de histéresis para un material blando y duro?

19. Describa cómo desmagnetizar una sustancia.

20. ¿Cuál es la característica de un material paramagnético?

21. ¿En qué influye la Ley de Curie?

22. ¿A qué se denomina una sustancia diamagnética?

14.11 Corriente Alterna

1. Una corriente alterna, ¿qué ley de variación tiene y cuál es su forma?

2. En un circuito con resistencia pura, ¿Cuál es el ángulo de fase entre la tensión y la corriente?

3. ¿El valor de la tensión alcanza su máximo valor en el mismo instante?

4. En un diagrama fasorial o vectorial, ¿la longitud de los vectores que representa?, ¿La proyección sobre el eje vertical que representa?

5. En un circuito resistivo, ¿La potencia promedio qué valor tiene? ¿Qué debemos tener en consideración en ese caso?

6. ¿Cuáles son los valores promedio o eficaces de la tensión la corriente y la potencia?

7. En un circuito inductivo, ¿Que representa la reactancia inductiva y a que es igual?

8. ¿Como es el ángulo de fase entre la tensión y la corriente?

9) ¿Cuál es el parámetro de crecimiento de la reactancia inductiva? ¿Cuál es su unidad?

10. En un circuito con capacidad pura, ¿La corriente y la tensión que ángulo de fase tienen?

11. ¿A qué se define reactancia capacitiva?

12. ¿Qué sucede cuando la frecuencia se eleva? ¿Quién crece y quien disminuye?

13. En caso de que la frecuencia sea cero, ¿Qué valor de reactancia tenemos? ¿Que nos indica ese valor?

14. En un circuito RLC serie, ¿Como es la corriente en todos los puntos del circuito?

15. ¿Cuál es la herramienta del cual nos valemos para hacer el análisis de un circuito RLC en serie?

16. ¿Cuáles son las magnitudes que deseamos determinar en un circuito RLC serie?

17. ¿A qué se denomina impedancia?, ¿Cuál es su unidad?

18. En el caso de que la reactancia inductiva prevalezca sobre la reactancia capacitiva ¿El ángulo fi como va a ser? y ¿cómo va a ser la corriente respecto a la tensión?

19. Analice un condensador con un generador ¿Como es la potencia? ¿Como se carga y se descarga? y ¿Cuál sería la energía final almacenada?

20. Realice lo mismo para un inductor.

21. ¿Cuál es el valor de la potencia promedio de un circuito RLC serie?

22. ¿Cuál es la potencia media de un circuito RLC?

23. ¿A qué se denomina factor de potencia?

24. ¿A que se denomina resonancia en un circuito RLC serie?

25. ¿Cuál es el valor de la frecuencia de resonancia?, ¿De dónde partimos para calcularlo?

26. ¿Cuándo la corriente de valor eficaz alcanza su valor máximo?

27. ¿Qué se muestra en un gráfico de potencia versus frecuencia?

28. Cuando la potencia promedio es máxima, ¿Qué es el factor de calidad? ¿Cómo se denomina? ¿Dónde se determina el ancho de banda? y ¿Que nos permite que ese ancho de banda sea lo más angosto posible en el caso de un sintonizador de radio?

14.12 Ecuaciones de Maxwell y Ondas

1. ¿Qué establece la ley de ampere?

2. ¿Cuándo es válida la ley de ampere?

3. ¿Qué es la corriente de desplazamiento? ¿Cómo aparece?

4. Partiendo del flujo eléctrico a través de la superficie 2 y relacionándola con las cargas entre las placas del capacitor, ¿Cuál es el resultado final de la corriente de desplazamiento?

5. ¿Un campo magnético puede ser producido por corrientes de conducción y por campos eléctricos variables? ¿Por qué?

6. Explique con su vocabulario cada una de las ecuaciones de Maxwell.

7. ¿Cómo se forma una onda electromagnética plana? ¿Cómo se transmite en el aire?

8. ¿Cuáles son las ecuaciones de campo eléctrico magnético para una onda plana?

9. La relación entre campo eléctrico máximo y el campo magnético máximo da el valor de la velocidad de la luz. ¿Qué significa esto cuando se analiza la transmisión de una onda cosenoidal a lo largo del tiempo?

10. ¿Cuáles son los colores que forman la luz visible?

14.13 Óptica Física

1. ¿Que permite determinar el principio de Huygens?

2. Para la construcción del principio de Huygens elegimos un radio que tiene, que valor?

3. ¿Como determino la nueva posición del frente de onda?

4. Explique someramente la construcción de la aplicación del principio de Huygens a la reflexión y a la refracción

5. ¿A qué se denomina interferencia?

6. ¿Qué clases de interferencia conoce?

7. ¿Que debe cumplirse en una onda luminosa para que se produzca una interferencia constructiva? Explique cada uno de los puntos

8. ¿Como es el dispositivo que utiliza?

9. ¿A qué se denomina diferencia de trayectoria?

10. En un rayo, ¿Como es la distancia entre hendijas y la longitud de la pantalla?

11. ¿Cuándo tenemos una interferencia constructiva?

12. ¿Cuándo tenemos una interferencia destructiva?

13. ¿Como se determina la posición de las franjas brillantes? ¿Cómo se determina la posición de las franjas oscuras?

14. Explique la interferencia entre películas delgadas

15. ¿Como funciona el interferómetro de Michelson? ¿Para qué sirve?

16. ¿Qué es la polarización?

17. En una absorción selectiva, ¿Cuál es la función del polarizador y el analizador?

18. En la polarización por reflexión, en la aplicación de la ley de Snell, ¿cómo es el ángulo de polarización?

19. ¿A qué se denomina ley de Brewster?

20. ¿A qué se llama sólidos cristalinos y sólidos amorfos?

21. Si el material es birrefringente, ¿Cuántos rayos tiene? ¿Existe en el eje óptico?

22. ¿Qué puede decir de un rato ordinario y de un rayo extraordinario? ¿Como son sus índices de refracción? ¿Cómo son sus ondas?

14.14 CUESTIONARIO GENERAL

1. ¿Qué dice la ley de Faraday? ¿Que establece?

2. ¿Cuándo la fem inducida será diferente de 0?

3. ¿Que representa la reactancia inductiva?

4. ¿En un circuito RLC serie cuando está en resonancia, cuánto vale la corriente?

5. ¿Qué dice la ley de Amper?

6. ¿Cuánto vale el B en un conductor largo y rectilíneo?

7. ¿Qué dice la ley de Biot Savat?

8. ¿Cuándo dos conductores transportan corriente y están separados una distancia "a" que sucede en ellos?

9. ¿Cuántas categorías de materiales magnéticos se conoces?

10. ¿Qué es la susceptibilidad?

11. ¿Qué es el factor de calidad Q0 en un circuito RLC serie?

12. En un movimiento de partículas que entran en forma perpendicular a un B, ¿Que sucede? que es lo que se desea calcular?

13. ¿A qué se denomina momento angular o momento cinético? ¿Qué relación tiene con el momento magnético?

14. ¿Qué es el anillo de Rowland y para qué sirve?

15. ¿Cómo son los gráficos de histéresis en materiales blandos y duros?

16. ¿Qué significa que un circuito RLC serie este en resonancia?

17. ¿Por qué en un capacitor la potencia promedio alimentada por la fuente es 0?

18. ¿Qué es la impedancia en un circuito RLC serie? ¿A que es igual? ¿Como se determina?

19. ¿Qué es la corriente de desplazamiento?

20. ¿Una onda electromagnética plana, como está formada? ¿Con que vectores?

21. ¿Cuáles son los colores de la luz visible?