

INDICE

TEMAS	PAGINAS
▪ La electricidad.	
▪ Clases de electricidad: Electricidad dinámica, electricidad estática	HIT 01 1 - 10
▪ Instrumentos de medición. Escalas, Calibración	HIT 01 11 - 22
▪ Tensión, corriente y resistencia.	
▪ Las unidades de medida eléctrica: Intensidad de la corriente, resistencia, tensión	HIT 02 1 - 15
▪ Ley de Ohm	HIT 02 16 - 19
▪ La resistencia	
▪ Resistencia específica o resistividad	HIT 02 20 - 27
▪ Materiales para la resistencia	
▪ Cálculo de la resistencia de un conductor	
▪ Conductancia y conductibilidad	HIT 02 28
▪ Potencia y trabajo eléctrico	HIT 02 29 - 35
▪ Caída de tensión, pérdida de tensión y calculo del conductor respecto a la pérdida de tensión	HIT 02 36 - 42
▪ Resistencia y temperatura	HIT 02 43 - 46
▪ Análisis de circuitos en serie, paralelo y mixto.	HIT 02 47 - 49
▪ Comportamiento de la resistencia, tensión e intensidad de cada una de ellas.	HIT 02 50 - 52
▪ Energía y potencia	HIT 02 53 - 54
▪ La electrostática, definiciones.	
▪ Campo eléctrico, propiedades, aplicaciones	HIT 03 1 - 11
▪ Electromagnetismo	HIT 03 12 - 31
▪ 1ra ley de Kirchoff	HIT 03 32 - 33
▪ 2da ley de Kirchoff	HIT 03 34 - 35
▪ El electroimán	
▪ Aplicación del electromagnetismo	HIT 03 36 - 37
▪ Inducción y autoinducción	HIT 03 38 - 52
▪ Bibliografía	H - BIBLIOGRAF. 1

LA ELECTRICIDAD

La electricidad es una de las grandes fuerzas de la naturaleza. El estudio formal de la electricidad continúo desconcertando a los científicos aun después de cientos de años. Pero un conocimiento práctico de la electricidad depende de la comprensión de solo unos cuantos conceptos básicos.

La electricidad es una propiedad básica de la materia: Los sólidos, los líquidos y los gases que componen el universo. Por esta razón comenzamos esta exploración de la electricidad revisando la estructura básica de la materia.

ELEMENTOS

Toda la materia se compone de materiales básicos llamados elementos.

TABLA PERIÓDICA DE LOS ELEMENTOS

PERIODO	GRUPO																GASES NOBLES			
	1	IA														VIIA		2		
	2	3	4													9		10		
	3	11	12													17		18		
	4	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33		34	35	36
	5	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51		52	53	54
	6	55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83		84	85	86
7	87	88	89																	

Número atómico

Simbolo

CLAVE

EJEMPLOS DE ELEMENTOS

El hidrogeno, el oxigeno, el carbón y el cobre son ejemplos de elementos.

TABLA PERIÓDICA DE LOS ELEMENTOS

PERIODO	GRUPO																GASES NOBLES			
	1	IA														VIIA		2		
	2	3	4													9		10		
	3	11	12													17		18		
	4	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33		34	35	36
	5	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51		52	53	54
	6	55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83		84	85	86
7	87	88	89																	

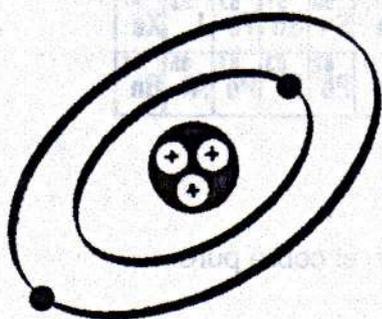
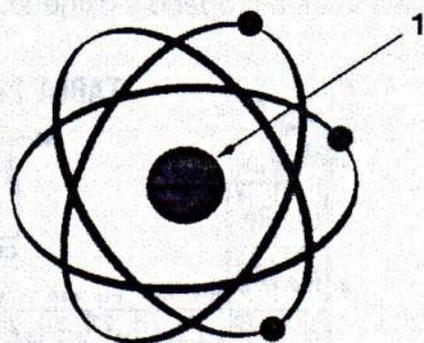
Número atómico

Simbolo

CLAVE

NUCLEO

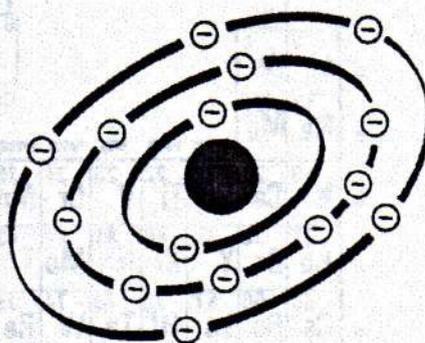
- En el centro de cada átomo hay un núcleo (1)

**PROTONES**

- El núcleo contiene una o más partículas llamadas protones. La figura muestra 3 protones en el núcleo.

ELECTRONES

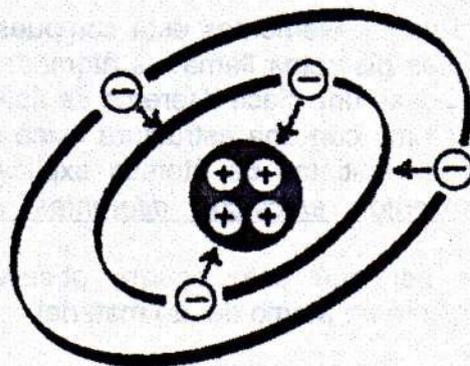
- El núcleo de cada átomo está rodeado por una o más partículas que giran en órbita, llamadas electrones.

**CARGA**

Una fuerza de atracción entre cada protón y electrón mantiene a los electrones en sus órbitas alrededor del núcleo.

La naturaleza exacta de esta fuerza se desconoce, pero su comportamiento puede comprenderse en términos de carga.

Se dice que los protones del núcleo poseen una carga positiva que atrae a la carga negativa de cada electrón.

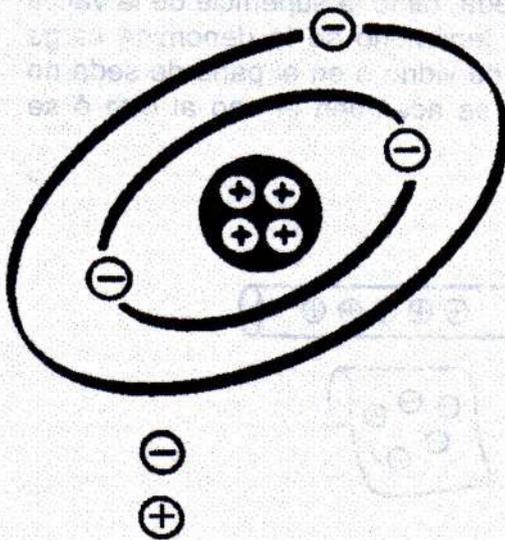
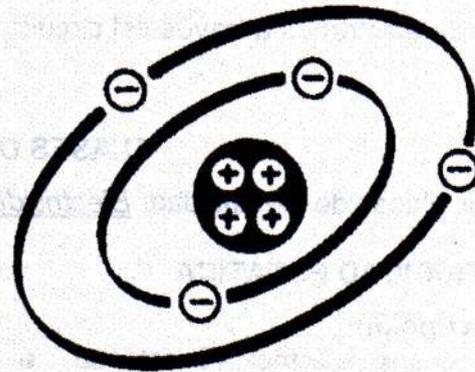


ESTADO DE EQUILIBRIO

Las cargas de los protones y los electrones son iguales en fuerza pero opuestas en signo (+ ó -).

Cuando el número de electrones en un átomo es idéntico al número de protones, existe un estado de equilibrio.

Fuera de sí, el átomo no ejerce una fuerza de atracción positiva o negativa.



ESTADO DE DESEQUILIBRIO

Considere lo que sucede si una carga positiva fuera del átomo sacara uno de los 4 electrones fuera de su orbita alrededor del núcleo.

Los electrones restantes no podrían, en lo sucesivo, equilibrar la carga de los protones en el núcleo.

El átomo posee ahora una carga positiva y ejercerá una fuerza de atracción sobre los electrones de los átomos vecinos.

FLUJO DE ELECTRONES

Considere ahora el efecto de una carga positiva aplicada a un extremo de una sección de alambre que forma parte de un circuito eléctrico, y una carga negativa aplicada al otro extremo.

La carga positiva separará un electrón de cada átomo al extremo del alambre, y los átomos de ese extremo tendrán carga positiva.



Estos átomos ejercerán a su vez una fuerza de atracción positiva en los átomos de cobre contiguos y separarán un electrón de cada una de sus orbitas.

Los átomos vecinos se convierten en átomos con carga positiva y separan electrones de los átomos a su derecha.

Y el proceso continúa ininterrumpidamente, hasta que las cargas negativas al otro extremo del alambre remplacen a los electrones separados de los átomos en el alambre.

El flujo de electrones a través del circuito continuara mientras se sostenga la carga.

CLASES DE ELECTRICIDAD

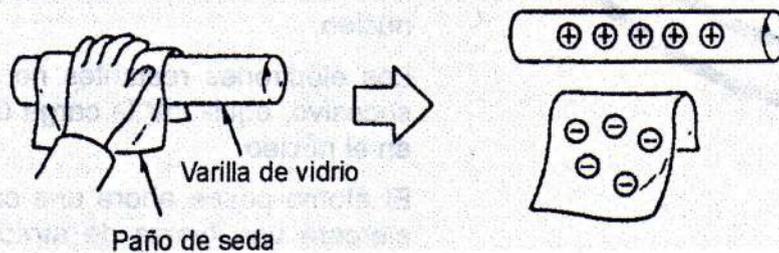
Hay dos clases de electricidad: Electricidad estática y electricidad dinámica.

ELECTRICIDAD ESTÁTICA

1. Descripción

Se denomina electricidad estática a aquella que no se mueve en relación a una sustancia determinada.

Cuando se frota una varilla de vidrio con un paño de seda, tanto la superficie de la varilla como la del paño se cargan con electricidad. A este fenómeno se le denomina carga (acumulación de electricidad). La carga en la varilla de vidrio ó en el paño de seda no se mueve a menos que la varilla de vidrio ó el paño se acerquen el uno al otro ó se conecten mediante un cuerpo conductor.

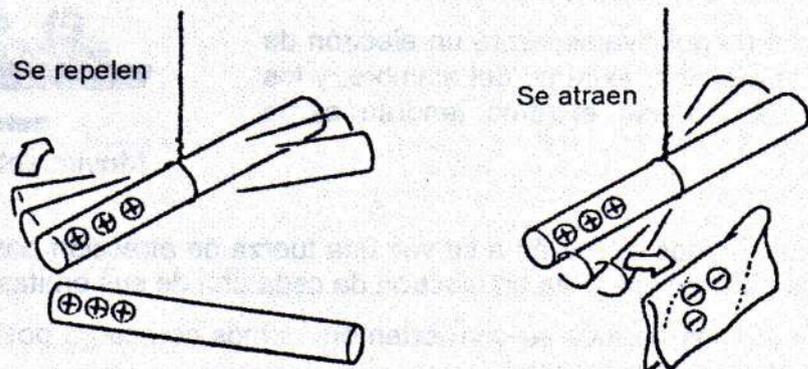


La electricidad estática generada en esta forma se denomina electricidad por frotamiento y la cantidad de electricidad con que se carga una sustancia se llama carga eléctrica, y se representa con el símbolo Q . Se mide en culombios y se representa por la letra C .

$1 C$ es igual a 6.25×10^{18} electrones.

2. Propiedades de la electricidad estática

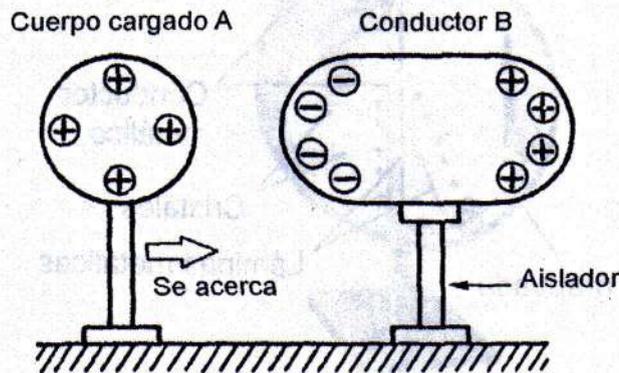
Si se cuelgan dos varillas de vidrio con hilos, y se frota ambas con un paño de seda, al acercarse una a la otra se repelerán. Por el contrario si se acerca una de las varillas al paño de seda, ambos se atraerán.



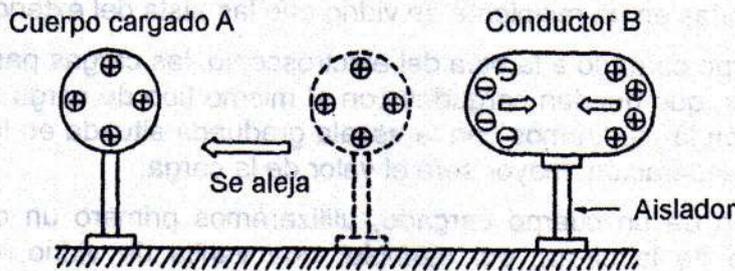
Estos fenómenos demuestran que una fuerza de repulsión actúa entre cargas eléctricas iguales (del mismo signo) y que una fuerza de atracción actúa entre cargas eléctricas diferentes (de signo opuesto). La fuerza que actúa entre las cargas eléctricas se denomina fuerza electrostática.

3. Inducción electrostática

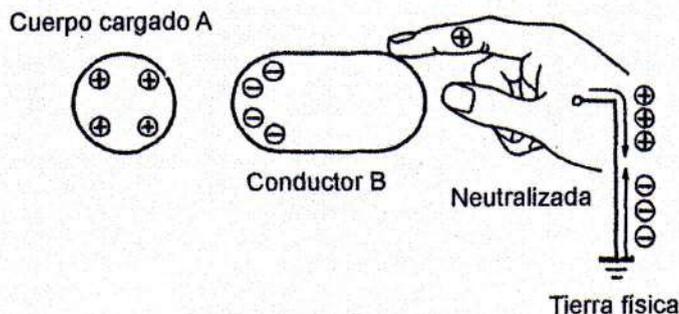
Cuando se mueva un cuerpo cargado A hacia un conductor B que está aislado mediante un aislador, aparecerá (en la parte del conductor B más cercana al cuerpo cargado A) una carga eléctrica que es opuesta a la capa eléctrica del cuerpo A. Al mismo tiempo, la parte del conductor B más alejada del cuerpo A se cargará con electricidad de la misma polaridad que la del cuerpo cargado A. A este fenómeno se le denomina inducción electrostática.



La inducción electrostática se produce cuando se acerca un cuerpo cargado A al conductor B. Sin embargo, esto no significa que se ceda carga eléctrica del cuerpo A; cuando el cuerpo cargado A se aleja del conductor B, las cargas en cada extremo del conductor B se acumularán y todas las partes del conductor B retornarán a su estado original eléctricamente neutro.

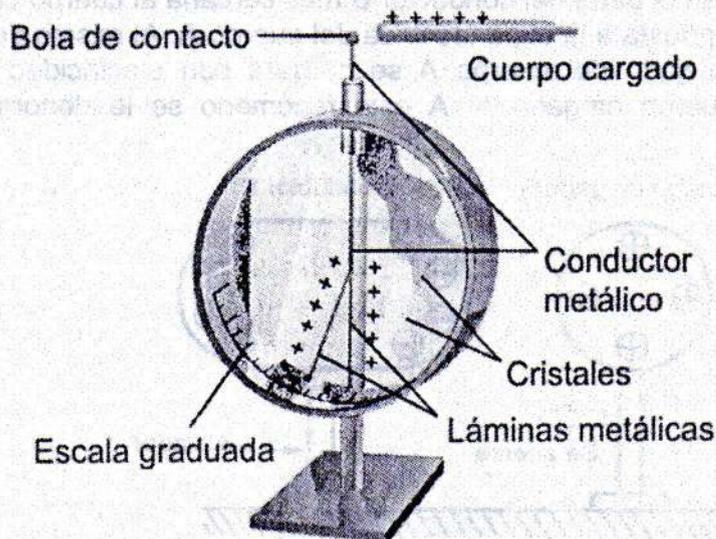


Si después que el conductor B se haya cargado mediante inducción electrostática, se toca con el dedo como se muestra abajo, su carga positiva para tierra es neutralizada por la carga negativa de la tierra. En consecuencia, solamente la carga negativa permanece en el conductor B.



4. Electroscopio

El aparato de la figura es un electroscopio, aparato que se utiliza para conocer el valor y el signo de los cuerpos cargados.



Consiste en dos láminas muy finas, de oro o aluminio, que pueden girar sobre un extremo, unidas a una varilla metálica que termina en una bola también metálica. La varilla y las láminas están encerradas en un recipiente de vidrio que las aísla del exterior.

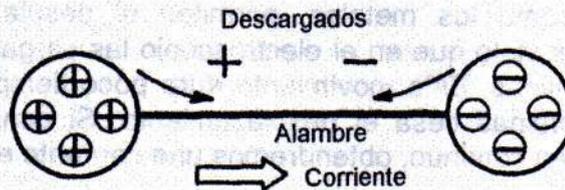
Si acercamos un cuerpo cargado a la bola del electroscopio, las cargas pasan a través de la varilla a las láminas, que quedan cargadas con el mismo tipo de carga y, por tanto, se separan. La separación la mediremos con la escala graduada situada en la parte inferior. Cuanto mayor sea la separación, mayor será el valor de la carga.

Para conocer el signo de un cuerpo cargado, utilizaremos primero un cuerpo del que conozcamos el signo de la carga, por ejemplo, una varilla de vidrio, cuya carga es positiva. A continuación acercaremos el cuerpo de carga desconocida. Si las láminas se separan más, significa que el cuerpo tiene carga positiva, y por el contrario, si se juntan, significa que el cuerpo tiene cargas de signo contrario.

ELECTRICIDAD DINAMICA

Se denomina electricidad dinámica a aquella que se mueve en relación a una substancia determinada.

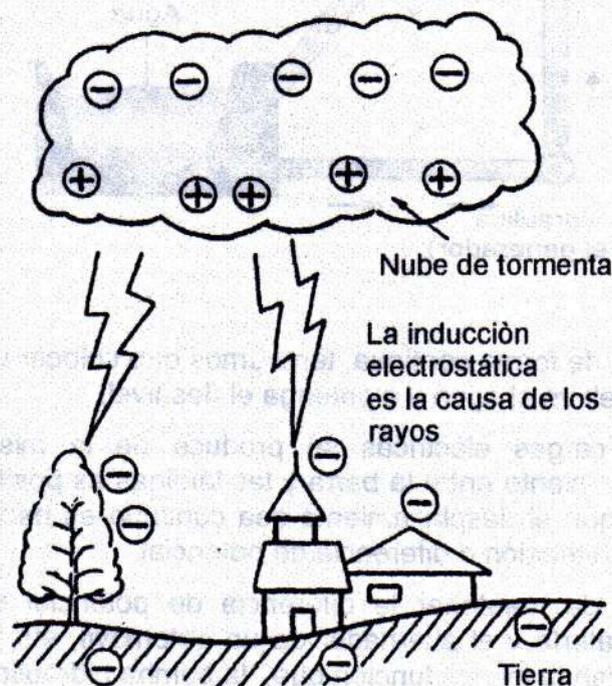
La electricidad dinámica se presenta como consecuencia de la liberación de la carga eléctrica de un cuerpo cargado (descarga eléctrica). Cuando se conecta mediante un alambre cuerpos que estén cargados con electricidad de signo opuesto, según se muestra abajo, las cargas positivas y negativas se descargan a través del alambre y se neutralizan los cuerpos. Dado que las cargas eléctricas se mueven, circulará entonces una corriente eléctrica (flujo de electrones).



Los rayos son muestra de la electricidad dinámica que nos da la naturaleza

Si se acumula carga eléctrica en 2 cuerpos cargados y estos se acercan lo suficientemente cerca uno del otro, se generará una fuerza eléctrica grande y las cargas eléctricas serán descargadas a través del aire sin necesidad de conectar los cuerpos mediante un alambre.

Este es el fenómeno que origina los rayos: Dado que la atmósfera está siempre cargada positivamente y la tierra negativamente, la inducción electrostática hará que las cargas negativas y positivas de una nube se distribuyan según se muestra en la ilustración de abajo. Cuando una de estas cargas aumenta suficientemente, se descargará violentamente a través del aire (conductor) y hacia la tierra ó hacia otra nube, produciendo rayos.



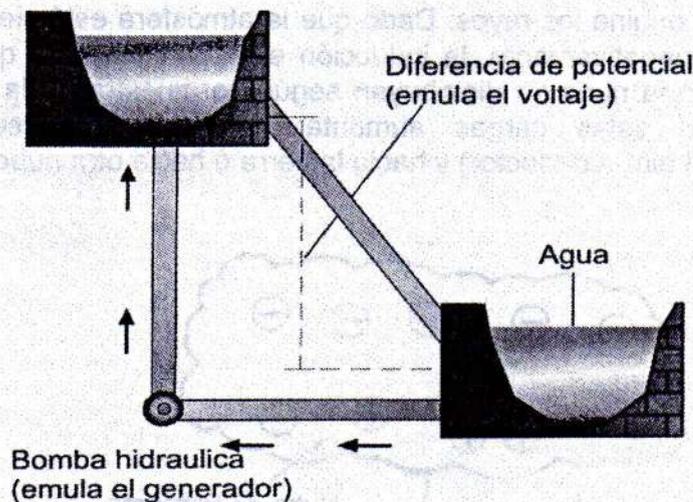
La electricidad dinámica (corriente eléctrica) es una forma de transmitir la energía. Al encender una bombilla estamos produciendo una transformación de energía eléctrica en calor. El calor se almacena en parte en el filamento de la bombilla, que se torna blanquecino; decimos entonces que se pone incandescente, y emite energía en forma de calor y luz

Hace un poco más de un siglo, para alumbrar había que quemar algún combustible. Se utilizaban velas y también bujías, de aceite o de petróleo. El alumbrado eléctrico que utilizamos en nuestros hogares se debe al inventor estadounidense Thomas Alva Edison, que puso en funcionamiento la primera lámpara eléctrica en 1879. Esta es una de las aplicaciones importantes que tiene la electricidad dinámica.

Los materiales conductores, como los metales, permiten el desplazamiento de los electrones en su interior. Hemos visto que en el electroscopio las cargas se desplazan a través de la barra hasta las láminas. Este movimiento dura poco tiempo, pues una vez que las cargas llegan a las láminas cesa el desplazamiento. Si conseguimos que el desplazamiento de electrones sea continuo, obtendremos una corriente eléctrica.

Se llama corriente eléctrica al movimiento de cargas eléctricas a través de un conductor.

Vamos a explicar cómo se produce el fenómeno de la corriente eléctrica comparándolo con el de la corriente de agua que se origina al unir, mediante una tubería, dos depósitos que están situados a distinto nivel (como se muestra en la figura). La corriente de agua sólo es posible cuando hay desnivel. Y además, si toda el agua del depósito de arriba pasa al de abajo, cesa la corriente.



Para lograr una corriente de forma continua, tendremos que colocar una bomba hidráulica que, aportando energía, eleve el agua y mantenga el desnivel.

El movimiento de las cargas eléctricas se produce de la misma manera. En el electroscopio, el desplazamiento entre la barra y las láminas es posible por que existe un desnivel eléctrico. Para que el desplazamiento sea continuo es necesario mantener ese desnivel eléctrico, llamado tensión o diferencia de potencial.

El elemento encargado de mantener la diferencia de potencial se llama **generador eléctrico**. Una pila, la batería y el alternador de un automóvil, etc. son generadores de corriente eléctrica. Realizan la misma función que, la bomba hidráulica, en el ejemplo.

Llamaremos polo positivo de un generador al de mayor potencial, y polo negativo al de menor potencial.

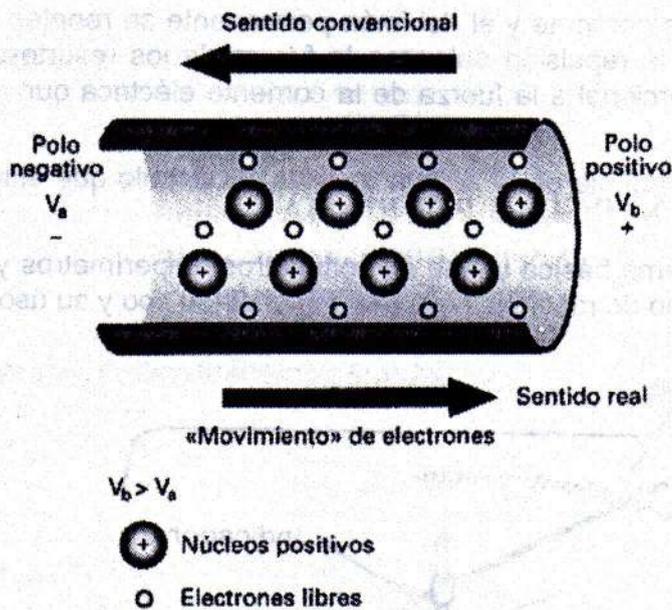
Después de entenderlo de forma intuitiva, definamos ahora los conceptos de una forma más rigurosa. La diferencia de potencial entre dos puntos es el trabajo necesario para trasladar la unidad de carga eléctrica de un punto a otro: $V - V' = W / q$, siendo V el potencial mayor, V' el potencial menor, W el trabajo y q la carga.

La unidad de diferencia de potencial en el **SI** es el voltio (V) que se define como el cociente entre el trabajo de un julio (J) y la unidad de carga el culombio (C): $V = J / C$.

El instrumento que mide la diferencia de potencial se llama voltímetro.

Sentido de la corriente eléctrica

El sentido real de la corriente eléctrica es el del movimiento de los electrones que circulan por un conductor. Éstos van del polo negativo al positivo, es decir, de menor a mayor potencial (como se muestra en la figura). Como el descubrimiento del electrón se hizo mucho más tarde que las definiciones de las magnitudes eléctricas, el sentido que por convenio se dio a la corriente eléctrica es contrario al del movimiento de los electrones, es decir, del polo positivo al negativo. Esto nos lleva a distinguir entre el sentido real y el sentido convencional de la corriente eléctrica.



Intensidad de la corriente eléctrica

La intensidad de la corriente eléctrica es la cantidad total de carga que circula por un conductor en cada unidad de tiempo. Es decir: $I = q/t$.

La unidad de intensidad en el **SI** es el amperio (A), que se define como el cociente entre la unidad de carga, el culombio (C), y la unidad de tiempo, el segundo (s), Así: $A = C/s$. El aparato que mide la intensidad se denomina amperímetro.

Cuando el sentido de circulación de la corriente es siempre el mismo, se denomina corriente continua (CC, en inglés: DC). Las pilas nos proporcionan corriente continua.

Si el sentido de circulación varía, hablamos de corriente alterna (CA, en inglés AC). En nuestros hogares utilizamos corriente alterna.

INSTRUMENTOS DE MEDICION

Para probar los aparatos y circuitos eléctricos y localizar las averías con rapidez y precisión, es indispensable disponer de buenos instrumentos de medida y comprobación y conocer el procedimiento a emplear en cada caso.

Los aparatos de medida básicos son el voltímetro, el amperímetro y el ohmímetro, que permiten medir con precisión la tensión, la intensidad y la resistencia y determinar el buen estado y funcionamiento de los aparatos y circuitos eléctricos o localizar las averías que pueden tener.

TIPOS DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Hay dos tipos de instrumentos de medición: Analógicos y digitales.

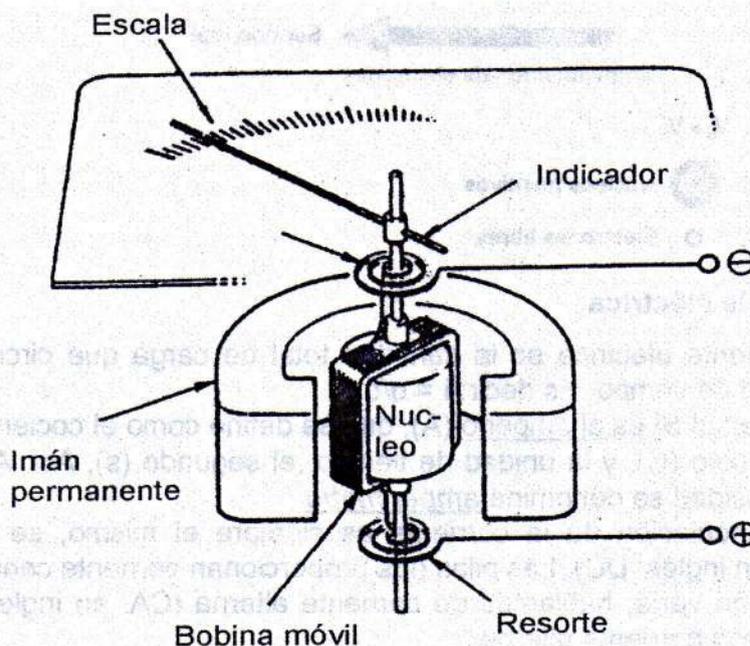
Instrumentos de medición analógicos

Los instrumentos de medición analógicos, están básicamente constituidos por una bobina móvil a la cual se le ha adicionado un indicador. Esta bobina móvil está ubicada entre los polos de un imán permanente. Cuando una corriente eléctrica circula a través de esta bobina, el núcleo de metal alrededor de la cual está envuelta se magnetiza y se crea un campo magnético, siendo su fuerza proporcional a la fuerza (amperaje) de la corriente.

El campo magnético de la corriente y el del imán permanente se repelen de manera que la bobina gira hasta que la repulsión balancee la fuerza de los resortes. El ángulo que esta bobina gira es proporcional a la fuerza de la corriente eléctrica que es aplicada a la bobina.

El indicador está adherido al eje de la bobina movible. El ángulo que este indicador gira indica el valor medido.

A pesar que esta es la forma básica usada en voltímetros amperímetros y ohmímetros el circuito interno de cada tipo de medidor varía dependiendo su tipo y su uso.

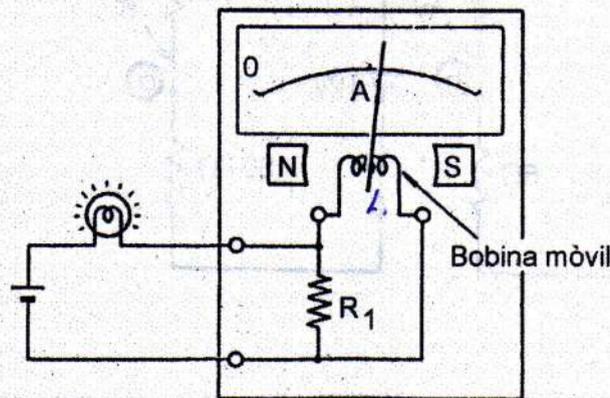


AMPERIMETRO

El circuito del amperímetro es en principio como se muestra a continuación. En el amperímetro se conecta una bobina móvil en paralelo con el resistor R . Como la resistencia del resistor es mucho menor a la de la bobina, casi toda la corriente del circuito cuya corriente se esta midiendo fluye a través del resistor y sólo una parte fluye a través de la bobina móvil.

Como el amperaje de la corriente que fluye a través de la bobina es directamente proporcional al amperaje de la corriente que se esta midiendo. Las marcas de escala que indican amperaje son entonces igualmente espaciadas a lo largo del medidor.

Como en el caso del voltímetro, el tamaño (escala) de las unidades en que se mueve el amperaje puede ser combinado cambiando la corriente entre un resistor y el otro.

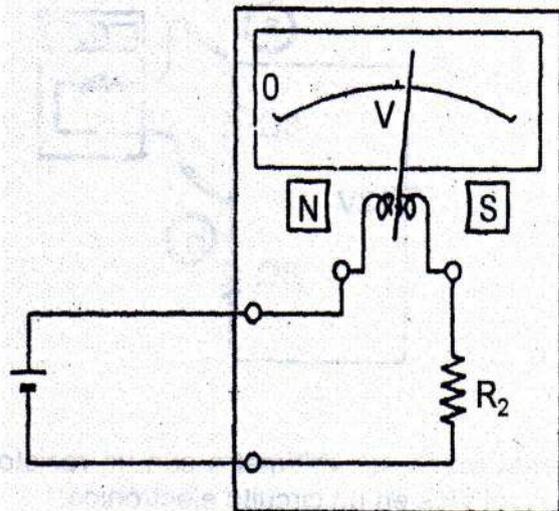


VOLTIMETRO

El circuito interno del voltímetro es en principio, como se muestra en el siguiente diagrama. Una bobina movible se conecta en serie el resistor R_2 . La resistencia del resistor es grande para asegurar que la corriente que fluye a través del voltímetro sea extremadamente débil.

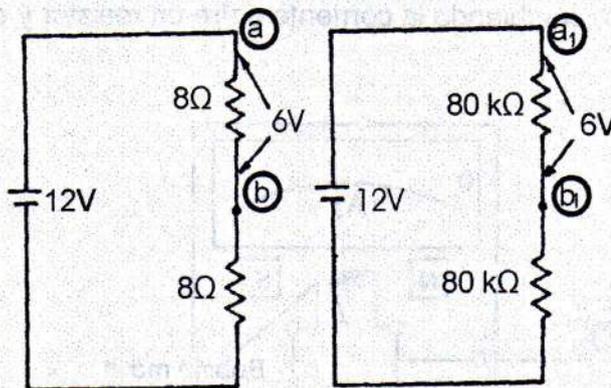
Como el amperaje de la corriente variará en proporción directa al voltaje de la corriente en el circuito que se está midiendo, los movimientos del indicador serán también proporcionales a este voltaje. Las marcas de escala que indican voltaje son entonces igualmente espaciadas a lo largo del medidor.

Dentro de la mayoría de los voltímetros, hay varios resistores con diferentes resistencias y el tamaño de las unidades en que el voltaje es el medido ($\times 10$, $\times 50$, etc.) puede ser combinado, cambiando la corriente de uno de estos resistores a otro.

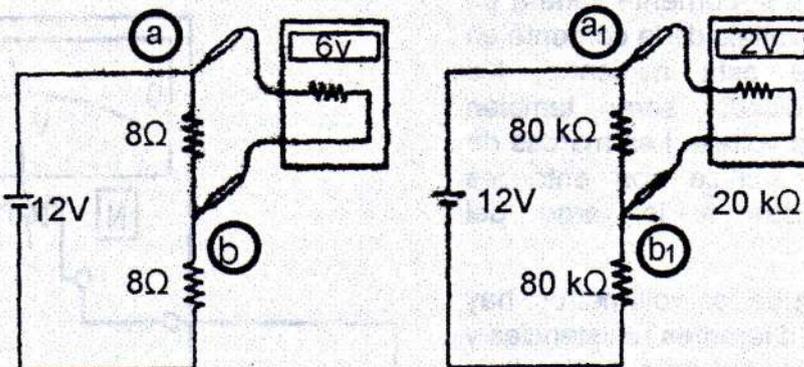


Para reducir al máximo posible el amperaje de la corriente que pasa a través del circuito interno del voltímetro un resistor de varios cientos de miles de ohmios está integrado en el voltímetro. En el caso de circuitos eléctricos ordinarios (por ejemplo, no electrónico) el resistor no afecta en gran manera el valor cuando la corriente en el circuito que se mide es grande. Sin embargo, si la corriente es muy pequeña, como generalmente pasa en circuitos electrónicos, el resistor del voltímetro afectará el valor.

Por ejemplo, si los voltajes de los siguientes circuitos son medidos con un voltímetro teniendo un resistor de $20\text{k}\Omega$ se espera que la lógica caída de voltaje entre (a) y (b) en el circuito "A" sea la misma que entre (a₁) y (b₁) en el circuito "B" que es de 6V.



Sin embargo, si se trata de medir estas caídas de voltaje con un voltímetro teniendo un resistor de $20\text{k}\Omega$; encontraremos que la caída de voltaje en el circuito "A" es de 6V, mientras que en el circuito "B" es de sólo 2 V. El último valor es incorrecto. Esto ocurre porque en el segundo caso, al conectar el voltímetro al circuito se conectará el resistor interno del voltímetro en paralelo con la resistencia de $80\text{k}\Omega$ en el circuito, reduciendo en gran manera la resistencia entre (a₁) y (b₁).



Por esta razón, un voltímetro con un resistor de muchos $\text{M}\Omega$ debe ser usado cuando se miden voltajes en un circuito electrónico.

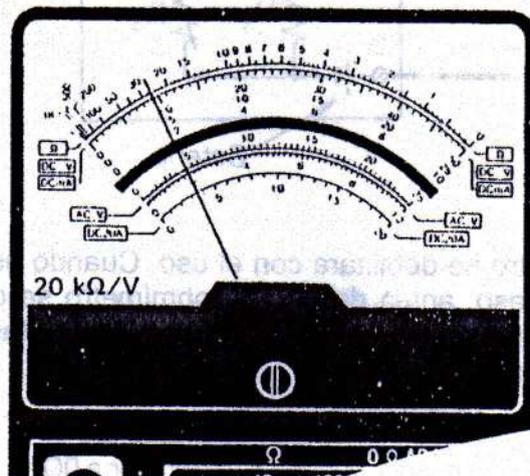
REFERENCIA

DETERMINANDO RESISTENCIAS INTERNAS DE VOLTÍMETROS

Los cuadrantes de los voltímetros son siempre rotulados con marcas como $2\text{k}\Omega/\text{V}$, $4,000\Omega/\text{V}$, etc. Tomando estas marcas como base se puede encontrar la resistencia interna del voltímetro en ohmios. Para encontrar la resistencia interna del voltímetro para un rango particular, multiplicar el valor Ω/V (por ejemplo, $4,000$) veces el valor de la escala para ese rango (por ejemplo, 250 para el rango de 250 V). En este caso la resistencia interna para el rango de 250 V sería $4,000 \times 250 = 1,000,000 = 1.2\text{ M}\Omega$

Naturalmente, la resistencia interna de inclusive el mismo voltímetro variará dependiendo de la escala seleccionada.

Note que en el caso de un voltímetro con sólo un rango, el valor Ω/V (por ejemplo, $10\text{ k}\Omega/\text{V}$) que marca el medidor será el valor total de la resistencia interna del voltímetro (en este ejemplo, sería $20\text{ k}\Omega/\text{V}$).



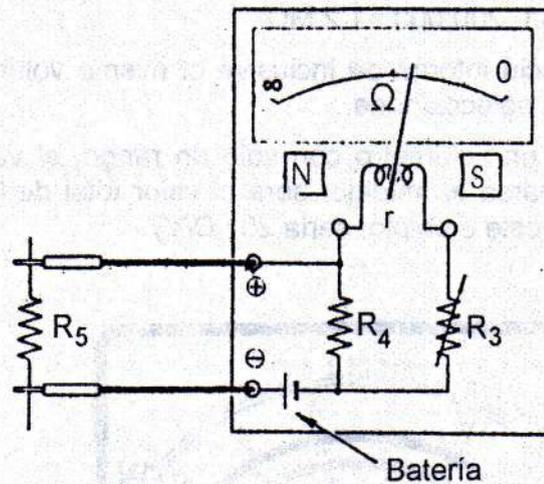
OHMIMETRO

El circuito del ohmímetro es en principio, como se muestra a continuación. Un resistor variable, R_3 es conectado en serie con una bobina movable, mientras que un resistor ordinario, R_4 es conectado en paralelo con una bobina. La corriente fluye de la batería construida en el ohmímetro a través de la resistencia que ser medida (R_5) y de vuelta a través del ohmímetro, causando que se mueva el indicador.

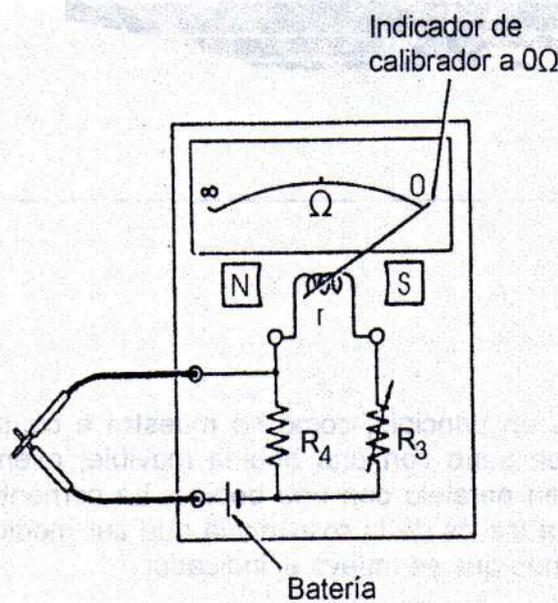
Como la resistencia R_4 es extremadamente pequeña, la mayor parte de la corriente fluye a través de ella. Por eso, sólo una parte de la corriente fluye a través de la bobina. Como el amperaje de la corriente varía en proporción no-lineal al valor de R_5 (la resistencia a ser medida), las marcas de la escala que indican resistencia no son espaciadas igualmente, juntándose a medida que la resistencia aumenta.

De igual manera, a medida que aumenta R_5 , la corriente que fluye a través de la bobina disminuye. Esta es la razón por que el cero del ohmímetro está en el lado opuesto de la escala comparándolo con el voltímetro y el amperímetro.

Las unidades en que se mide la resistencia pueden ser cambiadas al variar la resistencia del resistor variable (R_3).



La batería dentro del ohmímetro se debilitara con el uso. Cuando esto ocurre, el valor del medidor será impreciso. Por eso, antes de usar el ohmímetro se debe calibrar. Esto se logra poniendo en contacto las dos clavijas y regulando el interruptor de calibración (resistor R_3) hasta que el indicador indique 0.



Instrumentos de medición digital

MULTIMETRO DIGITAL

Es el instrumento más importante para trabajar y localizar fallas en aparatos, circuitos eléctricos y electrónicos (sistemas de encendido e inyección de los motores a gasolina). Este instrumento permite realizar medidas como: Voltaje, Resistencia, Chequeo de diodos, continuidad, amperaje, temperatura, frecuencias, ángulo Dwell, ciclos de trabajo y revoluciones.

El multímetro digital tiene una entrada de alta impedancia de 10 millones de Ohms o más. Esto permite que este conectado a circuitos donde fluyen corrientes muy pequeñas sin afectar las lecturas o medidas.

Los multímetros con una entrada de baja impedancia tienden a robar potencia del circuito que se está probando, causando que las lecturas de voltaje sean inferiores de lo que realmente son. Por esta razón el multímetro digital debe utilizarse siempre que se requieran lecturas precisas.

OBSERVACIÓN: Este instrumento no es útil cuando se requiere detectar fluctuaciones de voltajes.

Partes de un Multímetro digital

1. Pantalla Digital y Analógica

- a. Cuatro caracteres digitales de pantalla
- b. Símbolo de identificación de función
- c. Barra de grafico analógico.

2. Botón de funciones

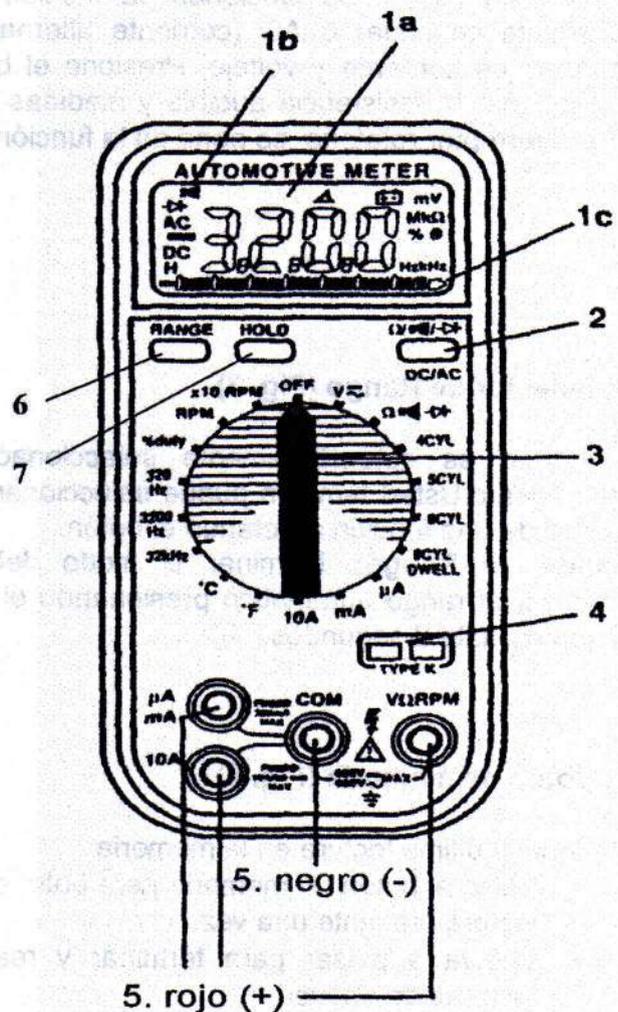
3. Interruptor seleccionador rotatorio

4. Terminal de temperatura

5. Terminales de prueba.

6. Botón selector de rango de función

7. Botón de memoria



Manejo del Multímetro digital

1. Selección de Función y Rango. (Fig. 1)

Gire el interruptor rotatorio en cualquier dirección al seleccionar una función.

La mayoría de las funciones también tiene rangos. Siempre seleccione un rango superior al voltaje o amperaje que usted desea medir. Siempre seleccione un rango más próximo al valor a medir si necesita exactitud.

Observación:

- Si el rango es demasiado alto, las lecturas son menos exactas.
- Si el rango es demasiado bajo el instrumento mostrara OL (Encima del limite)

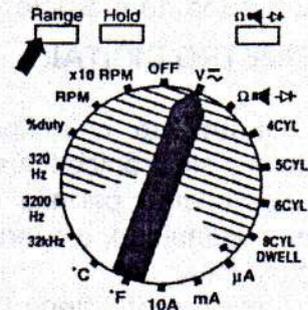


Figura 1

2. Botón de Funciones (Fig.2)

Presione el botón de funciones para seleccionar DC (corriente continua) ó AC (corriente alterna) y tomar lecturas de corriente y voltaje. Presione el boten para seleccionar la resistencia audible y medidas del diodo, si el interruptor rotatorio se pone en la función

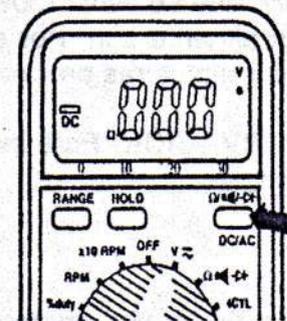
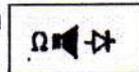


Figura 2

3. Selector de Rango (Fig. 3)

El rango es automáticamente seleccionado por el instrumento. Usted también puede seleccionar un rango dentro de una función apretando el botón.

Salida de Rango: Terminar el modo del rango y devolver al rango automático presionando el botón del rango durante 2 segundos.

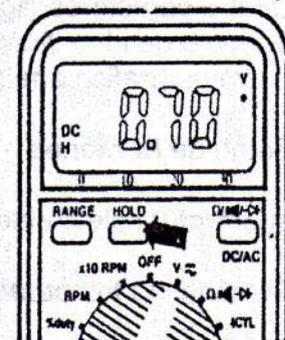


Figura 3

4. Botón de memoria (Fig. 4)

Retiene la última lectura en la memoria.

- Pulse el botón de memoria para obtener la última lectura presente una vez.
- Vuelva a pulsar para terminar y reasumir las lecturas de nuevo.

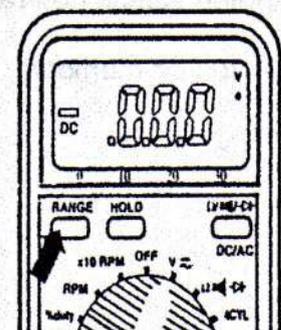


Figura 4

Mediciones con el Multitester

1. Medición de Voltaje

- Posicionar el interruptor giratorio
- presionar el botón de función para seleccionar AC o DC
- insertar cables:
 - negro en terminal COM
 - rojo en terminal V-R-RPM

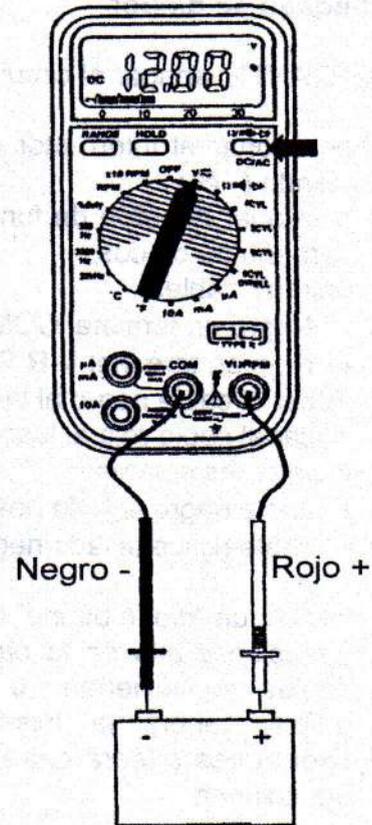
IMPORTANTE: debe medirse el voltaje en paralelo.

SELECCIÓN DE RANGO:

La selección de un rango bajo moverá el punto decimal a un lugar y aumentara la exactitud. Un OL en la pantalla indica que el rango utilizado es muy bajo y debe seleccionar próximo rango superior.

ADVERTENCIA:

Al medir voltaje, tenga cuidado de que el cable rojo este conectado en el terminal V. si el cable es conectado en el terminal AMP(A) o miliamperios (mA) usted puede lesionarse o dañar el instrumento.



2. Medición de resistencia

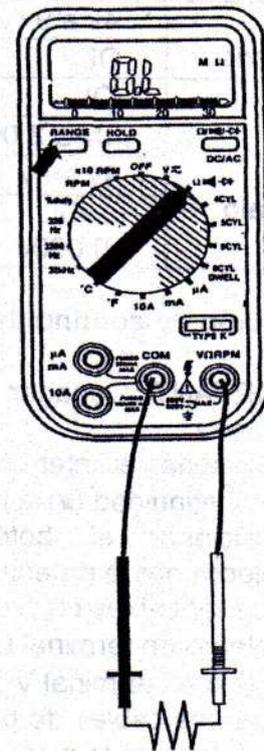
IMPORTANTE: si usted esta probando un circuito asegurese que este apagado.

Si tiene condensadores descargarlos.

La medida exacta no es posible si el voltaje externo o residual esta presente.

- Posicionar el interruptor giratorio en símbolo de resistencia(R)
- Seleccionar el rango de resistencia con el botón de rango. (RANGE)
- Inserte cables:
 - Negro en terminal COM
 - Rojo en terminal V-R-RPM

Tocar los puntos de cables de prueba a los extremos de la resistencia a ser probado.

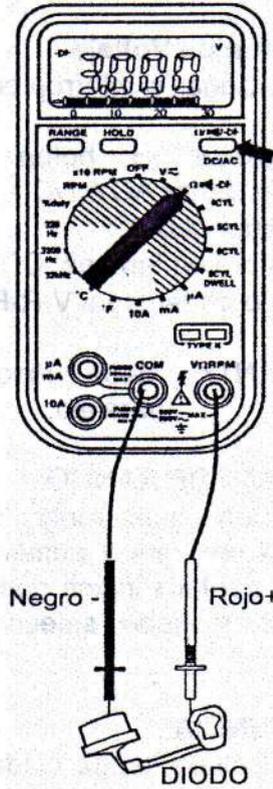


3. Chequeo de diodos

IMPORTANTE: apagar el circuito de prueba

- posicionar el interruptor giratorio en símbolo de diodo (→|←)
- presionar el botón de funciones para seleccionar prueba de diodos.
- Insertar cables:
 - Negro en terminal COM
 - Rojo en terminal V-R RPM
- Tocar el cable negro al lado negativo del diodo.
Tocar el cable rojo al lado positivo del diodo.
- invierta las sondas:
 - cable negro al lado positivo del diodo
 - cable rojo al lado negativo del diodo

NOTA: un "diodo bueno" leerá bajo voltaje en una dirección y alto en la otra dirección cuando los cables se inviertan (o viceversa). Un diodo abierto tendrá la misma lectura en ambas direcciones o leerá entre 1.0 a 3.0 V. en ambas direcciones.

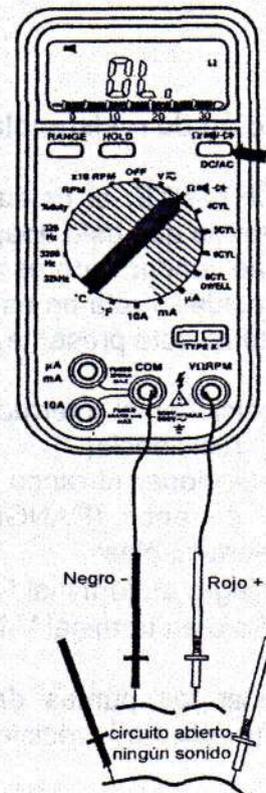


DIODO	- a +	Cables invertidos + a -
Bueno	4v a 9v	OL
	OL	4v a 9v
Malo	OL	1.0v a 3.0v
	1.0v a 3.0v	OL
	4v a 9v	4v a 9v
	0.000v	0.000v

1. Medición de continuidad audible

IMPORTANTE: apagar o desorganizar el circuito de prueba.

- Posicionar el interruptor giratorio en el símbolo de continuidad (■⊕⊕⊕)
- Posicionar el botón de posiciones para seleccionar la prueba de continuidad
- Insertar cables de prueba:
 - Negro en terminal COM
 - Rojo en terminal V-R-RPM
- tocar los cables de prueba en cada extremo del circuito o cable a ser medido.
 - CIRCUITO CERRADO (bueno): cuando se escuche el sonido.



Circuito completo - con sonido

- CIRCUITO ABIERTO (malo): cuando no se escuche sonido y la pantalla muestre OL.

2. Medición de corriente (A) AC o DC

IMPORTANTE: medir corrientes moderados con el instrumento.

- No medir corrientes AC o DC con voltaje mayores a 600v
- No exceder mas de 60 segundos al medir la corriente continua entre 1A-10^a. Esperar 5 minutos antes de continuar para enfriamiento del instrumento.

- Posicionar el interruptor giratorio en 10^a, mA o uA.
- Presionar botón de funciones para seleccionar AC o DC.
- Insertar cables de prueba:
 - negro en terminal COM
 - rojo en terminal 10A o mA (seleccionar 10A si no esta seguro del valor de la corriente a medir)

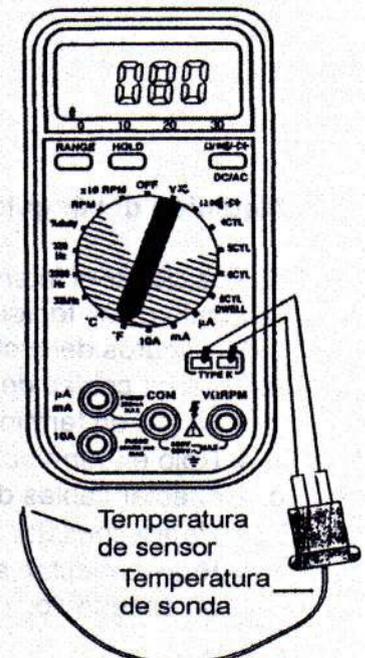
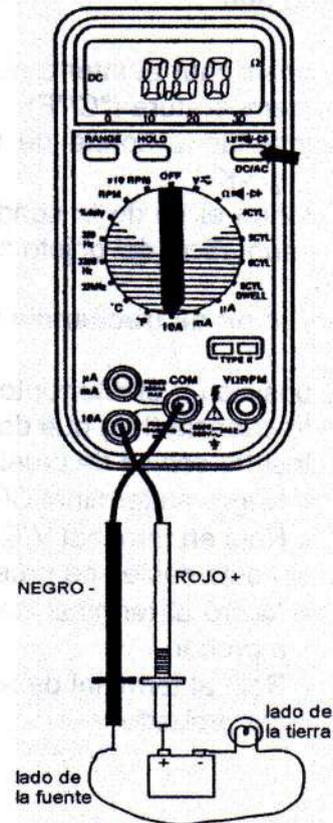
IMPORTANTE: apague todo el poder del circuito o desconecte el circuito de la fuente de poder.

- conectar cables de prueba:
 - cable rojo al positivo de la batería
 - cable negro a un extremo del circuito conectado a tierra

NOTA: la corriente siempre debe medirse con el instrumento conectado en

3. Medición de temperatura (°C/°F)

IMPORTANTE: para evitar dañar el instrumento, manténgalo fuera de alcance de temperatura muy alta. La vida de la sonda de temperatura también esta reducida cuando esta sujeta a temperaturas muy altas. La sonda opera en rangos de temperatura de -4 °F A 1400 °F.

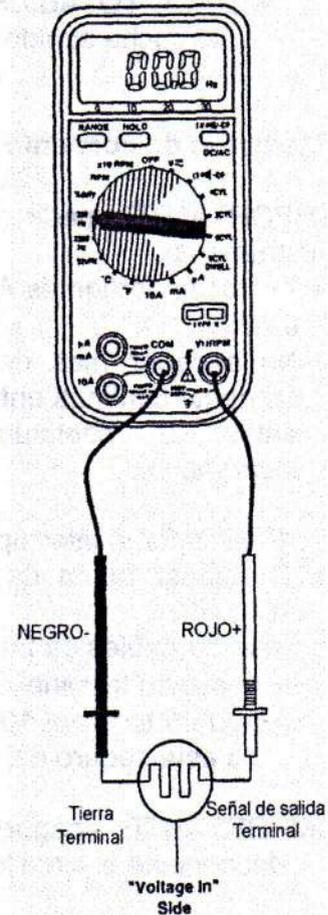


Modelo 300

- a. posicionar el interruptor giratorio en el símbolo de temperatura (°C/°F)
- b. insertar la sonda de temperatura en el enchufe tipo-K.
- c. toque el fin de la sonda de temperatura al área o superficie del objeto a ser medido.

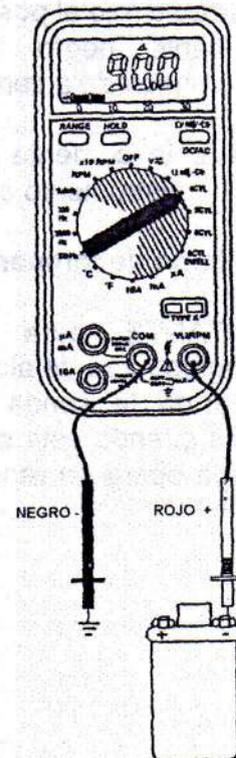
4. Medición de frecuencia (HZ)

- a. posicionar el interruptor giratorio en el símbolo de frecuencia (HZ) que de la lectura más exacta.
- b. Inserte cables de prueba:
 - Negro en terminal COM
 - Rojo en terminal V-R-RPM
- c. conecte cables de prueba :
 - Negro al terminal de puesta a tierra del sensor a probar.
 - Rojo al terminal de salida de señal del sensor a ser probado.



5. Medición del ángulo dwell

- a. posicionar el interruptor giratorio en el símbolo de ángulo dwell teniendo en consideración el número de cilindros del motor.
- b. Insertar cables de prueba:
 - Negro en terminal COM
 - Rojo en terminal V-R-RPM
- c. Conectar cables de prueba:
 - Negro conectar a tierra
 - Rojo conectar a terminal negativo de bobinas de encendido

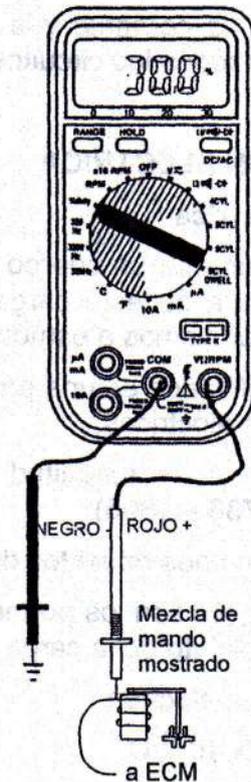


6. Medición de ciclo de trabajo

- Posicionar el interruptor giratorio en el símbolo de ciclo de trabajo % DUTY CICLE
- Insertar cables de prueba:
 - Negro en terminal COM
 - Rojo en terminal V-R-RPM
- conectar cables de prueba:
 - negro a tierra
 - rojo al terminal de señal del circuito

La figura muestra un solenoide de control de mezclas en posición cerrada.

El instrumento muestra en pantalla el porcentaje de tiempo que permanece la aguja en posición cerrado (ciclo de trabajo bajo) durante un ciclo de trabajo.

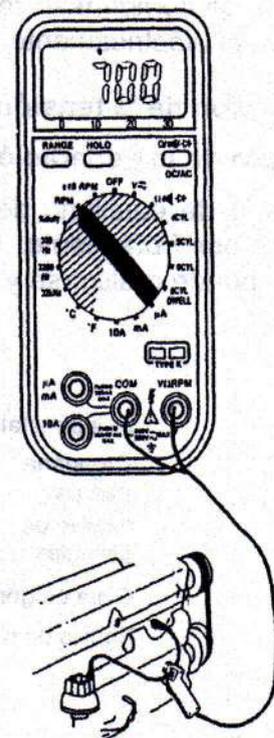


7. Medición de revoluciones (RPM/x 10RPM)

- Posicionar el interruptor giratorio en símbolo de revoluciones (RPM/x 10RPM).
 - Cuando posicione en 10RPM (1000 A 12000RPM) multiplique la lectura de la pantalla por diez para conseguir las RPM real.
- Insertar cable con termino inductivo:
 - Cable de puesta a tierra a terminal COM
 - Cable de señal de salida a terminal V-R-RPM
- conectar terminal inductivo a cable de bujía. Sino recibe ninguna lectura desconecte y vuelva a conectarlo.

NOTA:

- posicione el terminal inductivo lo mas lejos posible del distribuidor y del múltiple de escape.
- Posicione el terminal inductivo a seis pulgadas de la bujía. Para evitar tomar lecturas erráticas.



TENSION, CORRIENTE Y RESISTENCIA

La tensión, la corriente y la resistencia son las características básicas de la electricidad comunes a todos los circuitos eléctricos.

1. TENSIÓN ELÉCTRICA

Carga eléctrica

Ya sabemos que un cuerpo se puede cargar eléctricamente por frotamiento y que como consecuencia de esta carga eléctrica aparecen fuerzas de atracción y de repulsión. A continuación vamos a estudiar más detenidamente el concepto de carga eléctrica.

La carga eléctrica es una propiedad de la materia con la que pueden explicarse todos los fenómenos eléctricos.

La unidad de la magnitud carga es el coulomb. (Charles Augustin Coulomb, Físico francés. 1736 – 1806)

Existen dos tipos opuestos de cargas: las positivas y las negativas.

Los electrones son los portadores de carga negativa y los protones, los de carga positiva. El valor absoluto de la carga de un electrón es igual al de la carga de un protón.

Carga de un electrón:

$$e = - 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

Carga de un protón:

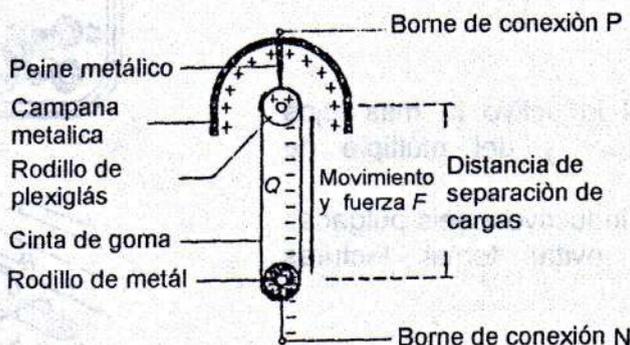
$$e = + 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

Por tanto, cuando un átomo posee tantos electrones como protones (éste es el estado normal), se compensan mutuamente los efectos de las cargas, y el átomo visto desde el exterior es eléctricamente neutro.

Generación de la tensión

Principio de la generación de tensión

El estado de equilibrio de los átomos neutros puede modificarse desde el exterior, por ejemplo por frotamiento. Con un generador electrostático de cinta sinfín (o de Van de Graaff) puede realizarse y explicarse fácilmente la separación de cargas.



Generador de Van de Graaff

El generador de cinta sin fin se acciona mediante un rodillo metálico. Una cinta ancha de goma transmite el movimiento giratorio a un rodillo de plexiglás, como si se tratara de una transmisión por correa. Al girar la cinta frota contra el rodillo de plexiglás y "arranca" electrones, carga negativa que se transporta hacia abajo al rodillo metálico.

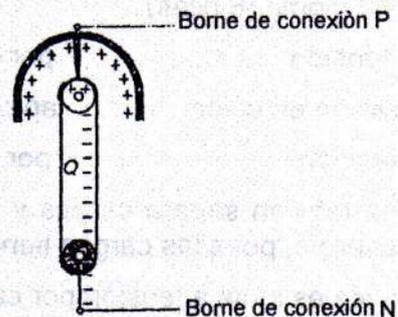
De este modo se va alterando la neutralidad del rodillo de plexiglás y del metálico. El primero va cediendo electrones, con lo que predomina el número de protones y se vuelve eléctricamente positivo, Simultáneamente va "atrayendo" electrones de la campana a través de un peine. Pero como los electrones van también bajando de ella al rodillo de plexiglás, también la campana se carga positivamente. En cambio, el rodillo metálico se carga negativamente porque en él predominan los electrones.

La separación y el transporte de las cargas no se producen sin que haya una oposición, pues los electrones tienden a volver al rodillo de plexiglás, ya que cargas de distinto signo se atraen. Por tanto, hay que superar estas fuerzas de atracción. Las fuerzas para compensarlas se obtienen al accionar el rodillo y se transmiten a la cinta.

La fuerza actúa a lo largo de un camino S , y por, tanto debe realizarse un trabajo W .

Este trabajo es mecánico. Pero, ¿qué ocurre eléctricamente?

Para investigarlo conectamos el generador de cinta sin fin a un instrumento de medida en los bornes de conexión (que se muestran en la figura).



Entre los dos tipos de cargas existe un determinado estado, una tendencia de las cargas a compensarse mutuamente. Esta tendencia se denomina **tensión eléctrica**.

La tensión eléctrica se origina por separación de cargas.

La tensión eléctrica es la tendencia de las cargas a compensarse

La unidad de la magnitud tensión eléctrica es el **voltio**. (Alessandro Volta, físico Italiano, 1745 -. 1827)

Tensión eléctrica

Símbolo U

Símbolo de la unidad V

Para saber de qué depende la tensión eléctrica descompongamos mentalmente el desarrollo del experimento con el generador de cinta sin fin.

En primer lugar se arrancan electrones del rodillo, que se depositan sobre la cinta de goma. Se ha realizado un trabajo, con lo que han aparecido cargas aisladas Q y una tensión U .

Supongamos ahora que en el desarrollo ulterior del experimento no se separan nuevas cargas.

Cuando la cinta se sigue moviendo no aparecen, pues, cargas adicionales sobre ella, o sea, que la carga Q se mantiene constante. Sin embargo para continuar el transporte se necesita realizar un trabajo. En la misma proporción en que se debe aumentar el trabajo crece a tensión eléctrica U .

U es proporcional a W : $U \sim W$.

Naturalmente, el trabajo a realizar no sólo depende del valor de la tensión sino también del valor de la carga a transportar.

Si hay que transportar mucha carga habrá que realizar un trabajo proporcionalmente mayor, sin que con ello aparezca simultáneamente una tensión más elevada.

$W \sim Q$

La tensión es proporcional al trabajo por unidad de carga necesario para la separación y transporte de ésta.

Órdenes de magnitud de tensiones

Corazón humano aprox. 0001 V

Acumulador de plomo (6 pilas) 12V

Red de baja tensión por ej. 220 V

Tubo de televisión en color aprox. 25000 V

Red de alta tensión por ej. 110000 V

Una fuente de tensión separa cargas y crea una tensión eléctrica U . Ésta es un estado eléctrico de energía, pues las cargas tienden a volverse a compensar

Energía eléctrica es igual a tensión por carga.

Esta energía eléctrica puede volver a realizar un trabajo. Por tanto, una fuente de tensión es una fuente de energía.

Tenemos las siguientes equivalencias:

$$W = E_{el}$$

$$F \cdot s = U \cdot Q$$

$$1 \text{ N} \cdot 1\text{m} = 1\text{V} \cdot 1 \text{ C}$$

MANERAS DE OBTENER UNA TENSIÓN

Existen diversos procedimientos técnicos para generar una tensión. A continuación describiremos brevemente algunos de ellos.

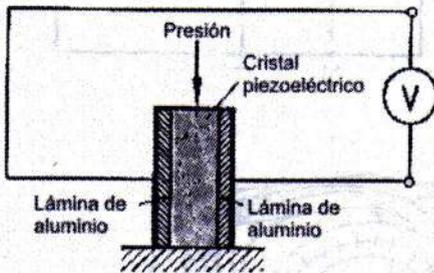
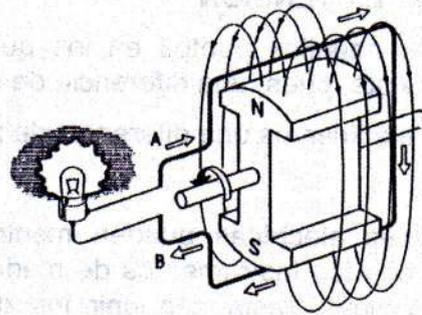
Tensión por frotamiento

Al frotar materiales plásticos se obtiene un desequilibrio de cargas



Tensión al mover imanes o bobinas

La diferencia de cargas se obtiene al mover una bobina en un campo magnético o al mover un imán en una bobina fija. Este procedimiento se utiliza por ejemplo en los generadores de las centrales eléctricas. La dinamo de una bicicleta y los micrófonos dinámicos también funcionan según el mismo principio.

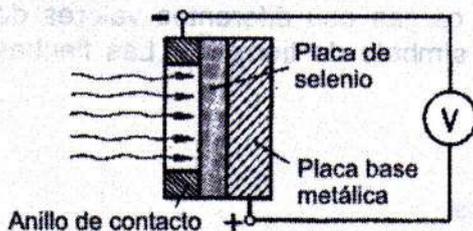
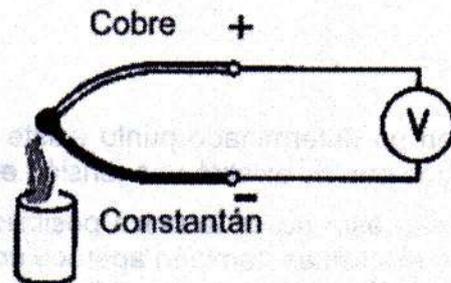


Tensión por tracción o presión en cristales

Al variar la presión o la tracción aparece una diferencia de cargas entre las superficies de determinados cristales (por ejemplo, cuarzo). El valor de la diferencia de cargas depende de la intensidad del esfuerzo exterior.

Tensión por calor

Al calentar el punto de contacto de dos metales diferentes aparece una pequeña tensión (algunos milivolt). El valor de la tensión depende de la temperatura. Este fenómeno se utiliza para efectuar medidas de temperatura.

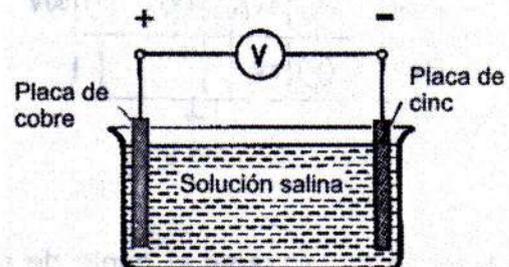


Tensión por luz

Cuando la luz incide sobre determinados materiales (silicio, germanio) provoca una separación de cargas. Este fenómeno se utiliza, por ejemplo, en los fotómetros y para la obtención de tensión en los satélites artificiales.

Tensión por procesos químicos

Cuando se sumergen dos conductores diferentes en un líquido conductor también se produce una separación de cargas, fenómeno que se utiliza en todas las fuentes de tensión electroquímicas.

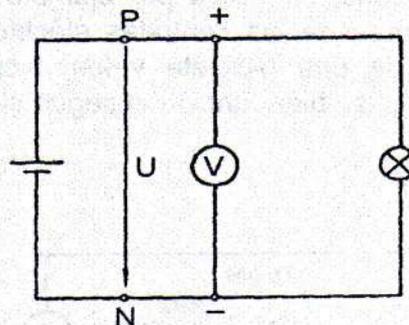


MEDIDA DE LA TENSIÓN

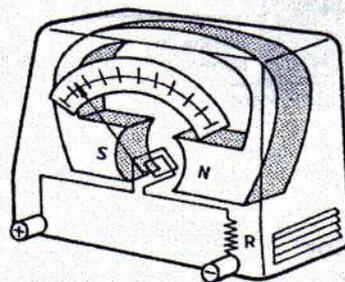
Entre todos aquellos puntos en los que haya cargas diferentes aparece una tensión eléctrica. Existe, pues, una diferencia de cargas, o sea, una diferencia de potencial.

La tensión eléctrica es una diferencia de potencial eléctrico.

Las tensiones eléctricas pueden medirse fácilmente con los Instrumentos de medida adecuados, pues basta con unir los dos bornes del voltímetro con los dos puntos entre los que se desea medir la tensión.



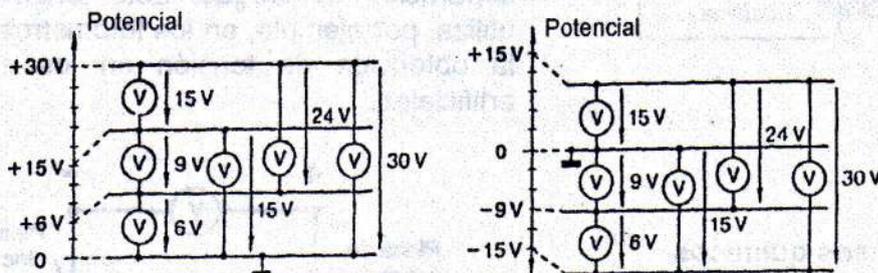
Existen diferentes tipos de voltímetros. Al medir deben tenerse en cuenta sus diferentes propiedades, pues en algunos instrumentos de medida debe conservarse, por ejemplo, el tipo de tensión (alterna ~ o continua ---) y su polaridad (+ ó -).



Cuando en un determinado punto existe un defecto de electrones y en otro, un exceso, entre ambos puntos existirá una tensión eléctrica.

No obstante, ésta no es la única posibilidad. Por ejemplo, entre dos puntos, ambos con exceso de electrones, también aparece una tensión si los excesos son diferentes.

Al igual que en el caso de la energía mecánica debemos fijar un punto de referencia, y a continuación podemos medir las tensiones o potenciales. En la figura que se muestra abajo hemos representado una única distribución de cargas con diferentes valores de tensión. El punto de referencia se caracteriza con el símbolo de tierra ⊥. Las flechas indican los diversos sentidos de la tensión (de + a -).

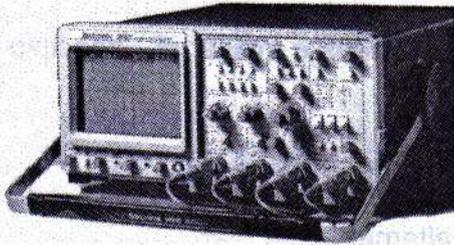


Puede también desplazarse el punto de referencia sin que cambien las diferencias de potencial. Sólo varían los diferentes valores del potencial.

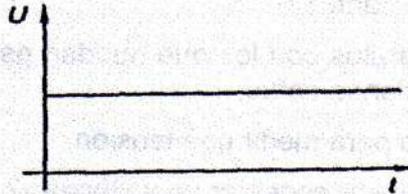
TIPOS DE TENSIÓN

Para satisfacer las diferentes necesidades de la técnica se han desarrollado las correspondientes fuentes de tensión. Según su estructura proporcionan una tensión continua, alterna o mixta. En este apartado vamos a estudiar las diferencias entre ellas.

Las magnitudes eléctricas que varían con el tiempo pueden visualizarse con un osciloscopio. En la figura que se muestra abajo puede observarse el oscilograma de una tensión continua en función del tiempo y su correspondiente representación gráfica, también llamada simplemente gráfica.



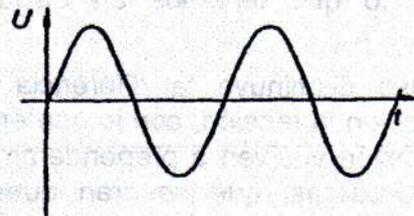
Osciloscopio



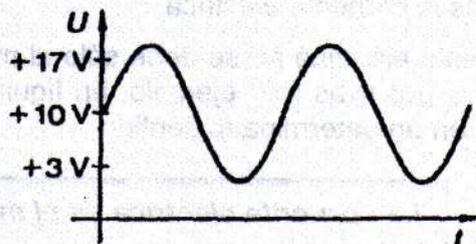
Oscilograma

La tensión continua — tiene un valor que siempre permanece constante, desde Tensión continua que se conecta hasta que se desconecta. La polaridad de la fuente de tensión no varía.

Las fuentes de **tensión alterna** ~ varían constantemente su polaridad, y con ella el sentido de la tensión. La tensión que las centrales eléctricas suministran en nuestras casas es una tensión alterna. La figura inferior muestra la forma de una tensión alterna sinusoidal en un oscilograma y su gráfica correspondiente.



Una **tensión mixta** \overline{M} se compone de una tensión continua y una tensión alterna superpuestas. La figura 1.42 muestra una posible forma. El valor de la tensión no es constante, pues oscila alrededor de un valor medio, en el caso representado entre os valores +3 V y +17 V. La tensión continua media vale +10 V.



Ejercicios

1. Entre dos polos existe una diferencia de cargas. ¿Cómo se denomina este estado?
2. ¿Cuál es el símbolo de la tensión y cuál el de su unidad?
3. Con un generador de cinta pueden generarse tensiones. Describir los procesos mecánicos y eléctricos.
4. Entre la tensión, el trabajo y la carga existe una relación. Expresarla mediante una fórmula
5. ¿Cómo varía la tensión cuando se aumenta la separación entre unas cargas que permanecen constantes?
6. Citar algunos aparatos con los que puedan generarse tensiones e indicar el principio por el que se obtienen éstas.
7. Dibujar un circuito para medir una tensión.
8. ¿Qué debe vigilarse al conectar un voltímetro?
9. Indicar las diferencias entre una tensión continua y una alterna.
10. Trazar en una gráfica la forma de una tensión mixta.
11. ¿Con qué aparato de medida pueden visualizarse tensiones en función del tiempo?

2. CORRIENTE ELECTRICA

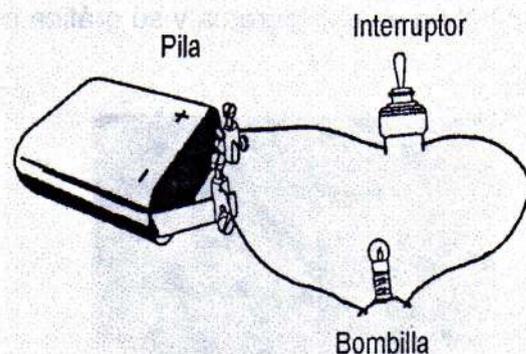
Una fuente de tensión separa cargas, obteniendo de este modo una tensión. Esta tensión intenta volver a unir las cargas, pero las fuerzas de separación de cargas impiden que esto ocurra en el interior de la fuente de tensión.

Sin embargo, si se conecta una bombilla a la fuente a través de unos conductores, a través de estos pueden volverse a unir las cargas, con lo que tenemos un **circuito eléctrico**.

En este caso disminuye la diferencia de cargas y también la tensión, con lo que en la fuente de tensión vuelven a preponderar las fuerzas separadoras, que separan nuevas cargas. Rápidamente se recupera el estado original.

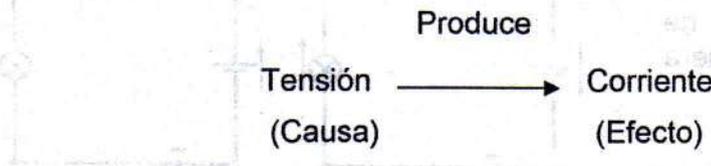
Por los conductores y por la bombilla circulan cargas (electrones). Como en la fuente se produce simultáneamente una separación de cargas, los electrones también circulan por el interior de la fuente. Por tanto, existe un flujo cerrado de cargas. El movimiento de las cargas es la corriente eléctrica.

La corriente eléctrica no se debe sólo al movimiento de cargas negativas, sino también al de cargas positivas (por ejemplo, en líquidos). Lo único importante es que las cargas se muevan en un determinado sentido.

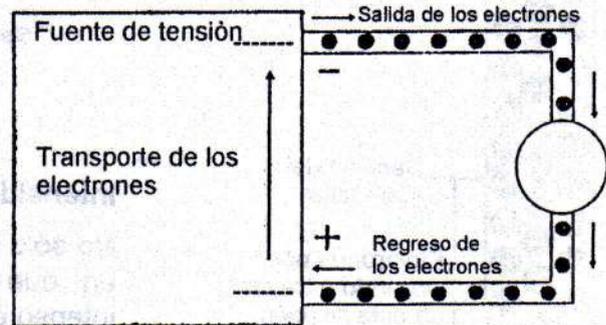


La corriente eléctrica es el movimiento ordenado de cargas

La compensación de la diferencia de cargas sólo puede efectuarse cuando existe una tensión. Por tanto la relación entre tensión y corriente es la misma que entre causa y efecto.



La tensión es la causa de la corriente.

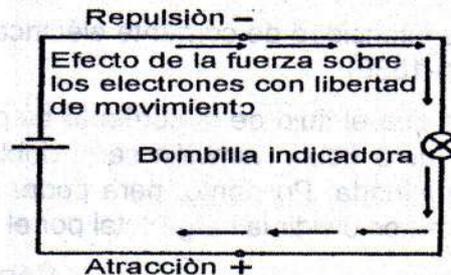


Los electrones se mueven en los conductores con una velocidad muy pequeña, que sólo vale unos pocos milímetros por minuto.

La causa de ello son los núcleos atómicos inmóviles, que son obstáculos para los electrones. Éstos deben moverse efectuando una especie de zigzag para rodearlos.

Sin embargo, después de conectar, por ejemplo, una bombilla, ésta se enciende inmediatamente, por tanto, el efecto de a corriente también se presenta de inmediato.

La fuente de tensión provoca en el polo negativo una repulsión sobre los electrones libres, y en el polo positivo una atracción que se propagan inmediatamente por todo el circuito eléctrico.



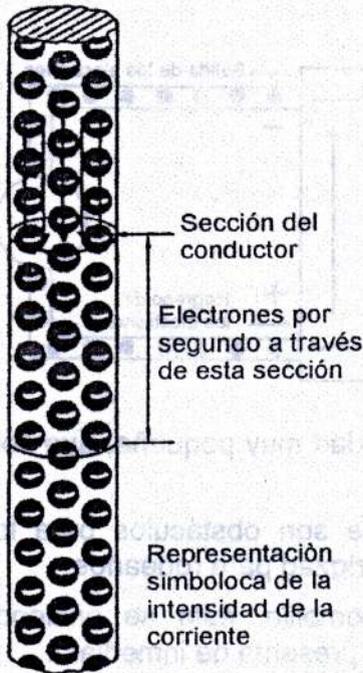
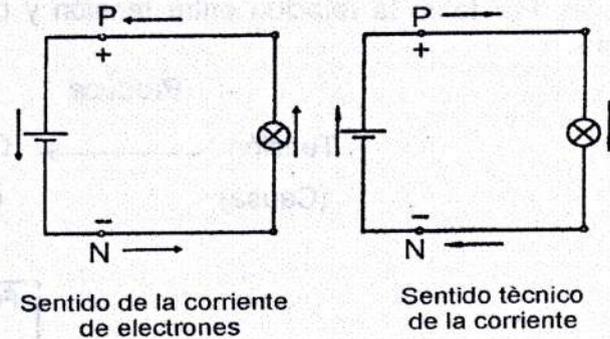
Hemos visto que en un circuito eléctrico se mueven en el exterior de la fuente de tensión de N (—) a P (+), y en el interior, de P a N. Éste es el sentido de la corriente de electrones.

Cuando aún no se tenían conceptos claros sobre el movimiento de las cargas en un circuito eléctrico, ya se habían descubierto relaciones y efectos de la corriente eléctrica. Para las leyes físicas obtenidas se supuso que el sentido de la corriente en el exterior de la fuente de tensión era del polo positivo al negativo.

Los efectos de la corriente eléctrica (por ejemplo, la luz de una bombilla) no dependen del sentido en que se suponga ésta. Por ello se ha conservado este sentido técnico de la corriente previamente fijado.

El sentido técnico de la corriente en el exterior de la fuente de tensión va del polo positivo al polo negativo.

En los esquemas de circuitos, el sentido de la corriente se indica mediante flechas, de modo similar a la tensión. La figura de al lado muestra el sentido de la corriente en un circuito eléctrico fuera y dentro de la fuente de tensión.



Intensidad de la corriente

No sólo es importante saber si circula corriente y en qué sentido lo hace, sino también cuán intenso es el movimiento de las cargas.

Esto se puede entender muy fácilmente con un ejemplo. Imaginemos un conductor cortado según una sección y contemos los electrones que salen por segundo de esa sección. Es algo parecido a contar la intensidad del tráfico.

La intensidad de corriente eléctrica es la cantidad de carga que circula por segundo a través de una sección del conductor.

La unidad de intensidad de corriente eléctrica es el ampere. (André-Marie Ampère, Físico francés, 1775-1836)

Supongamos que el flujo de la corriente es constante con el tiempo. Si el tiempo en que contásemos fuera doble, también sería doble la cantidad de carga que atravesará, una sección determinada. Por tanto, para poder calcular la cantidad de carga por unidad de tiempo deberemos dividir la carga total por el tiempo en que contamos.

$$\text{Intensidad de corriente} = \frac{\text{Cantidad de carga}}{\text{Tiempo de circulación}}$$

Si de la ecuación despejamos la cantidad de carga **Q** obtendremos una ecuación para la determinación de **Q**.

Carga es intensidad por tiempo

1C = 1A. 1s

En la práctica se suele expresar la carga en ampere segundo en lugar de en coulomb.

Cálculo del número de electrones de 1 As

Una corriente de un ampere circula durante un segundo por un conductor. ¿Cuántos electrones han atravesado una determinada sección si la carga de un electrón es $1,6 \times 10^{-19}$ As?

La intensidad $I = 1 \text{ A}$ circula cuando una carga de 1 As atraviesa una sección del conductor por segundo. Por tanto, la sección será atravesada por

$$\frac{1 \text{ As}}{1,6 \times 10^{-19} \text{ As}} = 0,625 \times 10^{19} \text{ electrones}$$

La intensidad 1 A equivale a la circulación de $6,25 \times 10^{18}$ electrones por segundo.

Este es un número extraordinariamente grande. Escritas todas las cifras resulta:

6 250 000 000 000 000 000.

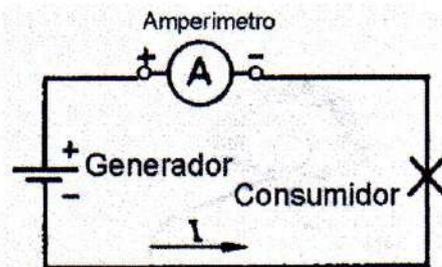
Orden de magnitud de diferentes corrientes

Fotómetro	aprox.	0,0001 A
Bombilla, 100 watt		0,45A
Plancha eléctrica	aprox.	2 A
Tranvía	aprox.	50 A
Horno de fundición de aluminio	aprox.	15000 A
Rayo	aprox.	100000 A

Medida de la corriente

La corriente eléctrica es un movimiento ordenado de cargas, por ejemplo, en un conductor. Para poder medir este movimiento de cargas deben interrumpirse los conductores del circuito e intercalar el aparato de medida. La totalidad de la corriente debe circular por el aparato de medida (Fig. 149). Los Instrumentos para medir la corriente eléctrica se llaman amperímetros.

Los hay de diversos tipos, debiendo tenerse en cuenta sus diferentes propiedades. En algunos amperímetros la corriente sólo puede circular en un sentido (de + a —).



Medición de la corriente



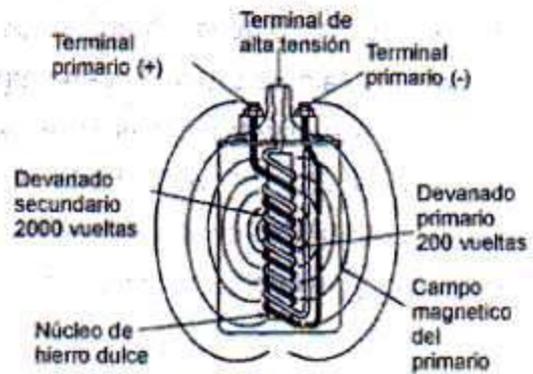
Corriente continua

Tipos de corriente

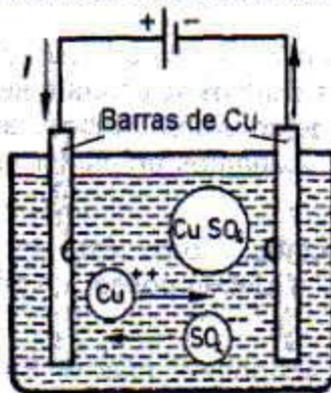
La tensión es la causa de la corriente eléctrica. Cuando se aplica una tensión continua a un circuito circulará por éste una **corriente continua**. Las cargas se mueven en un sentido.

Efecto magnético

Todo conductor recorrido por una corriente crea a su alrededor un campo magnético. Este efecto puede aumentarse enrollando los conductores (bobinas). En el electroimán de la figura se utiliza este fenómeno para elevar la tensión.000



Generador de corriente continua



Efecto químico

Cuando una corriente eléctrica circula por un líquido en el que hay sales disueltas (electrolito) lo descompone. De este modo pueden recuperarse los elementos que componen las sales que se encuentran en el líquido, pues se depositan sobre los electrodos.

El depósito tiene lugar sobre la superficie de los electrodos. En determinadas condiciones puede producirse una adherencia, y por tanto un acabado de superficies.

Efecto fisiológico

El efecto fisiológico de la corriente se presenta cuando circula a través del cuerpo humano o del de animales, dando lugar a convulsiones de la musculatura. Aparte del efecto perjudicial, la corriente eléctrica puede tener un efecto curativo si se dosifica adecuadamente. En la medicina se trabaja con intensidades de corriente de algunos μA .

Ejercicios

1. Enumerar las condiciones para que pueda circular una corriente eléctrica.
2. ¿Por qué se mantiene constante la tensión (diferencia de cargas) entre los bornes de una fuente de tensión aunque existe una circulación de electrones? -
3. ¿cuál es el sentido de la corriente eléctrica en el interior de una fuente de tensión?
4. ¿Qué es una corriente eléctrica?
5. Indicar la equivalencia entre corriente y tensión, y causa y efecto.
6. Indicar el sentido técnico de la corriente eléctrica y al sentido de la corriente de electrones.
7. Dibujar una fuente de tensión conectada a una bombilla. Indicar el sentido de la corriente de electrones.

8. ¿Cuál es el símbolo de la Intensidad de corriente y cuál el de su unidad?
9. Expresar los valores siguientes en ampere: 3.6 mA; 25 μ A; 6,8 kA.
10. Expresar las siguientes intensidades sin potencias de diez:
420 $\times 10^{-6}$ A, 95 $\times 10^{-3}$ A, 110 $\times 10^3$ A,
11. ¿Cuál es el símbolo de la carga eléctrica y cuál el de su unidad?
12. Dibujar un circuito para medir a intensidad de a corriente.

3. RESISTENCIA ELECTRICA

Resistencia Eléctrica se define como la propiedad de los materiales de presentar una determinada oposición al paso de la corriente eléctrica. Explicamos a continuación este fenómeno y de que factores depende.

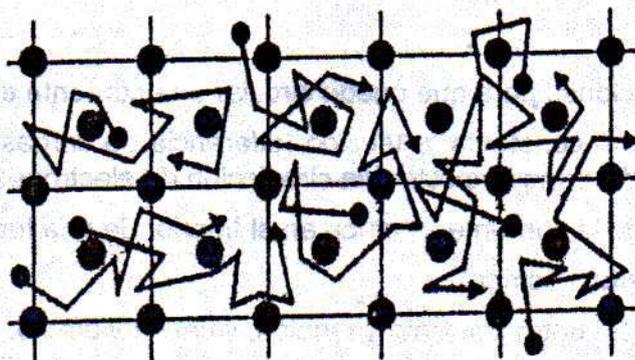
Conducción de la corriente en metales

Por experiencia sabemos que los hilos se calientan cuando por ellos circula una corriente. En las cargas (por ejemplo, en una bombilla o los filamentos de caldeo) se desea obtener este efecto, pero no se desea en absoluto en los conductores de conexión. Ambos tienen en común el estar compuestos por metales. Por ello vamos a ocuparnos en primer lugar de la conducción de la corriente eléctrica en metales.

Los metales son buenos conductores de la corriente eléctrica. Como ésta es un movimiento ordenado de electrones, estas partículas elementales deben poseer un papel especial en los conductores.

Según el modelo atómico los electrones describen orbitas alrededor del núcleo. En los metales, los electrones de la capa exterior no están demasiado ligados, o sea, que pueden separarse fácilmente de su trayectoria. Como tampoco pueden moverse con absoluta libertad se les denomina electrones cuasilibres. Cuando han abandonado los átomos quedan estos incompletos y cargados positivamente en una red tridimensional regular.

Los electrones cuasilibres se mueven a través de esta red describiendo trayectorias ordenadas (movimiento en zigzag). Esta disposición de los átomos se denomina enlace metálico.



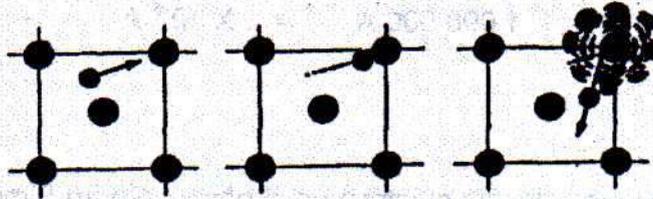
Reticulo metálico (representado simplemente en un plano)

A pesar de que los electrones que se mueven son negativos, el metal aparece exteriormente como neutro, pues las cargas están repartidas regularmente como consecuencia de los núcleos atómicos positivos, y sus efectos se compensan.

Si ahora aplicamos una tensión, los electrones efectúan un movimiento adicional dirigido hacia el polo positivo. Por tanto, circula una corriente eléctrica.

El movimiento de los electrones en el conductor viene dificultado por los choques con los átomos. Esta propiedad se denomina **resistencia eléctrica**.

Al chocar los electrones ceden parte de su energía cinética a los átomos, con lo que éstos vibran más frecuentemente, hecho que se manifiesta en un calentamiento.



Traspaso de la energía de los electrones a los átomos

La unidad de resistencia eléctrica es el ohm (Georg Simon Ohm, físico alemán, 1787 – 1854) y se representa por el símbolo Ω

Los Instrumentos para medir la resistencia eléctrica se llaman ohmímetros. Los hay de diversos tipos, debiendo tenerse en cuenta sus diferentes escalas. Durante su uso necesariamente el circuito de los componentes resistivos a medir debe estar desenergizado, su conexión no toma en cuenta la polaridad.

LAS UNIDADES DE MEDIDA ELECTRICAS

1.- Intensidad de la corriente

Para tener idea de la importancia de la corriente de agua que pasa por una tubería es útil saber la cantidad que pasa por un tiempo dado, por ejemplo, la cantidad que pasa en un segundo. Esto es lo que se llama caudal de la corriente de agua y así, se habla de un caudal en tantos litros por minuto o tantos litros por segundo.

Igualmente en una corriente eléctrica es de gran interés saber la cantidad de electricidad que pasa por unidad de tiempo por un conductor. A esta magnitud se le da el nombre de intensidad de corriente y se representa por la letra **I**. Su valor se determina por la fórmula:

$$I = Q / T$$

La unidad de intensidad de la corriente se llama amperio y se representa por la letra **A**. Como la unidad de cantidad de electricidad es el culombio y la unidad de tiempo es el segundo, el amperio se define como "la intensidad de corriente eléctrica constante que transporta una cantidad de electricidad de un culombio por segundo", o sea:

$$1A = 1C / 1s$$

Para medir intensidades de corriente pequeñísimas se emplea una unidad de intensidad un millón de veces más pequeña que el amperio, esta unidad se llama **microamperio** y se le escribe abreviadamente μA , así 1 μA se lee un microamperio y es igual a una intensidad de 0, 000 001 A (Una millonésima de amperio). Otra corriente menos pequeña es el **miliamperio**, una unidad mil veces más pequeña que el amperio y se escribe abreviadamente **mA**, así 1 mA se lee un miliamperio y es igual a una intensidad de 0, 001A (una milésima de amperio). Para corrientes muy altas se emplea una unidad mil veces mayor que amperio a la que se llama **kiloamperio**, esta se describe

abreviadamente **kA**, así 1 kA se lee: un kiloamperio y es igual a una intensidad de 1000 A (mil amperios).

Múltiplos y sub múltiplos del Amperio.

1 Kiloamperio	= 1KA	= 1 000 A	= 1×10^3 A
1 Amperio	= 1 A		
1 miliamperio	= 1 mA	= 1/ 1 000 A	= 1×10^{-3} A
1 microamperio	= 1 μ A	= 1/ 1 000 000 A	= 1×10^{-6} A

2.- Resistencia

La unidad de medida de la resistencia eléctrica es el ohmio (Georg Simon Ohm, físico alemán, 1787 – 1854) y se representa por el símbolo Ω

Múltiplos y sub múltiplos del Ohmio.

1 Megohmio	= 1M Ω	= 1 000 000 Ω	= 1×10^6 Ω
1 Kilohmio	= 1 K Ω	= 1 000 Ω	= 1×10^3 Ω
1 Ohmio	= 1 Ω		
1 milohmio	= 1 m Ω	= 1/1 000 Ω	= 1×10^{-3} Ω
1 microhmio	= 1 $\mu\Omega$	= 1/1 000 000 Ω	= 1×10^{-6} Ω

3.- Tensión

La tensión en un circuito puede ser más o menos grande. Para medirla se utiliza la comparación con una tensión unidad. Esta unidad se llama **voltio**: En las formulas y cálculos de Electrotecnia la tensión se representa por la letra **U** y el voltio por la letra **V**; por ejemplo una tensión de 40 voltios se representara así:

$$U = 40 \text{ V}$$

que significa que la tensión U es igual a 40 voltios.

Para simplificar los trabajos de cálculo cuando las tensiones son muy altas o muy bajas se emplean otras unidades derivadas del voltio. Así para tensiones muy altas se emplea una unidad mil veces mayor que el voltio a la que se llama **kilovoltio**, ésta se describe abreviadamente **Kv**, así 1 kV se lee: un kilovoltio y es igual a una tensión de 1000 V (mil voltios). Para tensiones muy pequeñas se utiliza como unidad una tensión igual a la milésima parte del voltio, dándole el nombre de **milivoltio** y se escribe abreviadamente **mV**, así 1 mV se lee: un milivoltio y es igual a una tensión de 0,001 V (una milésima de voltio)

Múltiplos y sub múltiplos del Voltio.

1 Kilovoltio	= 1 KV	= 1 000 V	= 1×10^3 V
1 Voltio	= 1V		
1 milivoltio	= 1 mV	= 1/ 1 000 V	= 1×10^{-3} V
1 microvoltio	= 1 μ V	= 1/ 1 000 000 V	= 1×10^{-6} V

LEY DE OHM

Es, ley fundamental de la electrodinámica debido a que relaciona 3 magnitudes fundamentales: Intensidad de corriente, diferencia de potencial y resistencia eléctrica. Fue establecida por el profesor Georg Simon Ohm, físico alemán, en el año 1827. Dice:

“La intensidad corriente de la eléctrica (I) es directamente proporcional a la diferencia de potencial (V) e inversamente proporcional a la resistencia (R)”

Matemáticamente:

$$I = \frac{V}{R}$$



1 Voltio (V)

Unidades: 1 Amperio (A) =

1 Ohmio (Ω)

“La diferencia de potencial se representa por V, U ó E”

Deducciones:

$$V = I \cdot R$$

$$R = \frac{V}{I}$$

“El triángulo mágico es una ayuda memoria para aplicar la fórmula de la ley de Ohm. Por ejemplo, si se pide hallar voltaje será preciso cubrir la V y queda por multiplicar R . I ”

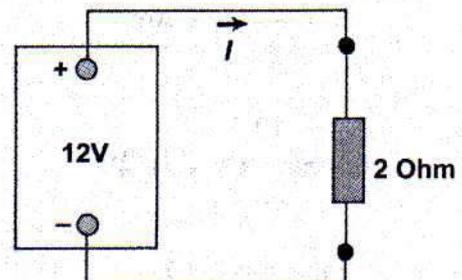
CÁLCULO DE CIRCUITOS APLICANDO LA LEY DE OHM

1.- Hallar la intensidad del circuito.

$$I = \frac{V}{R}$$

$$I = \frac{12}{2} = 6$$

$$I = 6 \text{ Amperios}$$

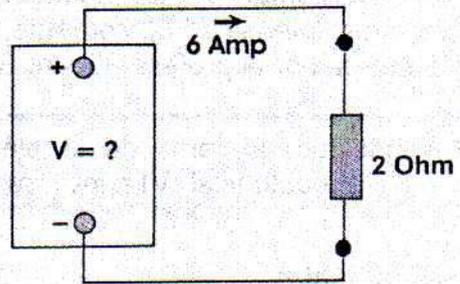


2.- Hallar la tensión del circuito.

$$V = I \cdot R$$

$$V = 6 \cdot 2$$

$$V = 12 \text{ Voltios}$$

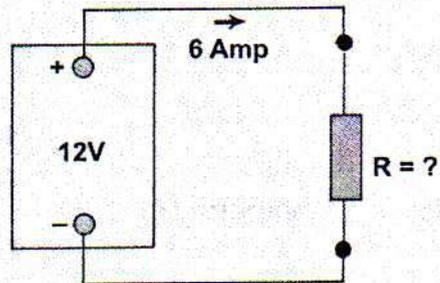


3.- Hallar la resistencia del circuito.

$$R = \frac{V}{I}$$

$$R = \frac{12}{6} = 2$$

$$I = 2 \text{ Ohmios.}$$



4.- Hallar la intensidad del circuito.

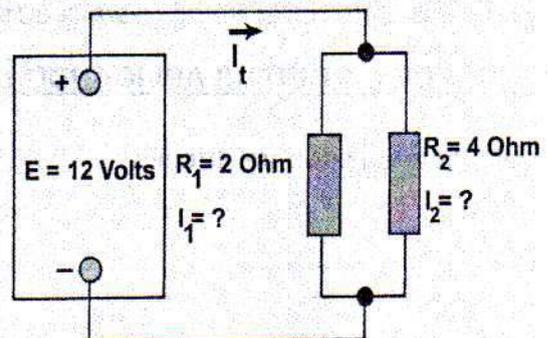
$$I = \frac{V}{R}$$

$$I_1 = \frac{12}{2} = 6 \text{ Amp.}$$

$$I_2 = \frac{12}{4} = 3 \text{ Amp.}$$

Intensidad total: $I_t = I_1 + I_2$

$$I_t = 9 \text{ Amperios.}$$



5.- Hallar la tensión de la fuente.

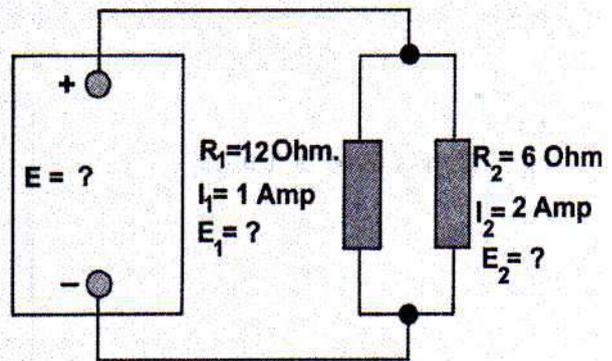
$$V = I \cdot R$$

$$E_1 = 1 \times 12 = 12 \text{ Volts}$$

$$E_2 = 2 \times 6 = 12 \text{ Volts}$$

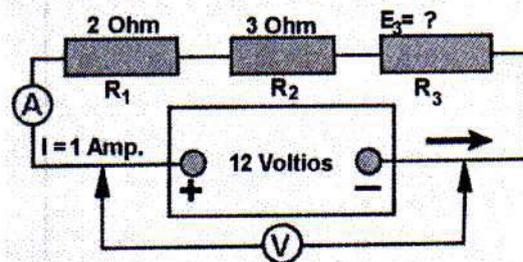
Tensión de la fuente:

$E = 12 \text{ Volts.}$



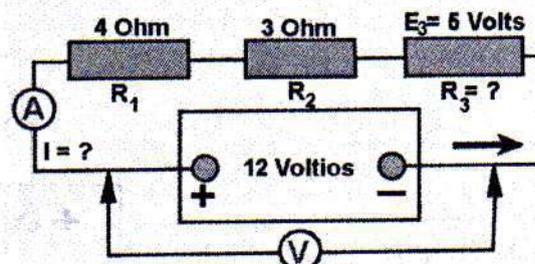
RESOLVER LOS SIGUIENTES EJERCICIOS:

1.- Hallar la caída de tensión en R₃.



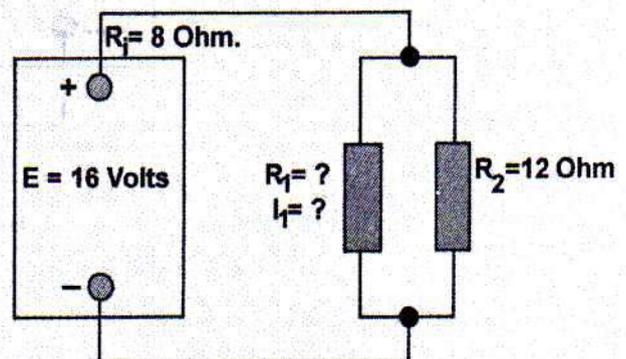
2.- Hallar:

- a) Intensidad del circuito
- b) R₃.



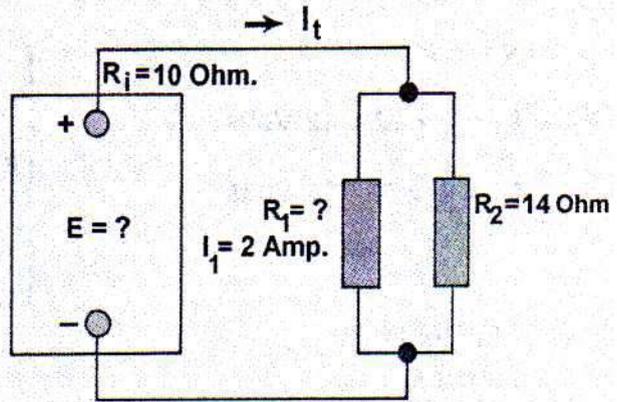
3.- Hallar:

- a) I₁
- b) R₁.



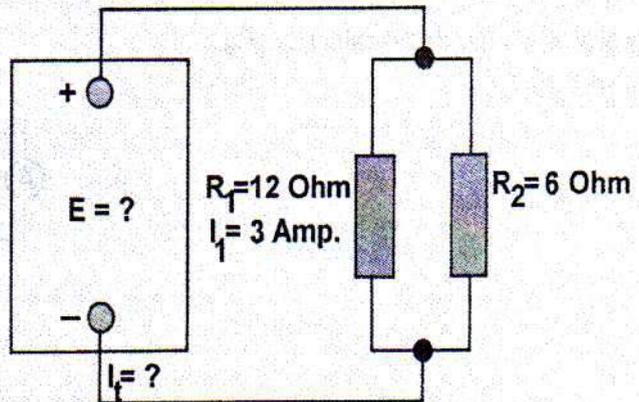
4.- Hallar:

- a) R_1
- b) I_t
- c) E (tensión de la fuente).

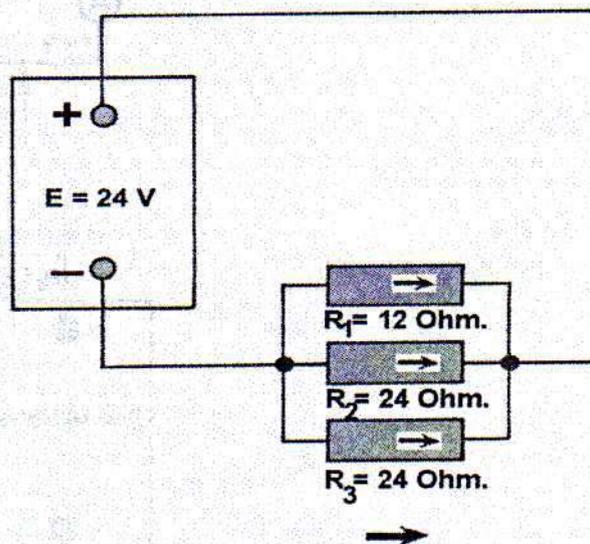


5.- Hallar:

- a) E
- b) I_t



6.- Hallar: I_1, I_2, I_3 .



LA RESISTENCIA

Todos los cuerpos oponen cierta dificultad a ser atravesados por la corriente eléctrica. Esta propiedad es comparable a la dificultad que tendría para sumergirse una bola de hierro en un material viscoso; este último penetraría una resistencia tanto mayor cuanto mayor sea su viscosidad.

En los materiales, y con respecto a la electricidad, ocurre algo parecido, es decir que se oponen al movimiento de los electrones. Esta propiedad de los materiales se llama **resistencia eléctrica**.

Los materiales considerados **aislantes o dieléctricos** son aquellos que oponen una resistencia tan fuerte que se puede decir que no dejan paso a la corriente eléctrica; en cambio, los materiales que presentan una resistencia muy baja son los que se consideran **materiales conductores**.

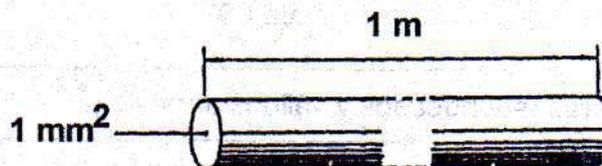
Por otra parte. La resistencia de un conductor depende también de la longitud y del área de la sección del mismo así como de la temperatura. La resistencia de un conductor es tanto mayor cuanto mayor es la longitud del mismo; y viceversa, la resistencia de un conductor es tanto menor cuanto mayor es la sección de paso de la corriente, de manera que un conductor de un milímetro cuadrado de sección tiene una resistencia doble que un conductor de la misma longitud pero que tenga dos milímetros cuadrados de sección.

Esta resistencia depende de la clase de material del conductor y de las dimensiones del mismo. Con las mismas dimensiones, un alambre de cobre conduce la corriente mejor que otro de aluminio, es decir, que el alambre de cobre tiene una resistencia más baja que el de aluminio.

1. RESISTENCIA ESPECÍFICA O RESISTIVIDAD

La resistencia eléctrica de los materiales se determina por comparación, es decir, midiendo la resistencia que ofrece un conductor de dimensiones conocidas; de esta manera puede compararse la resistencia de este material con la de otros. Así, por ejemplo, tenemos que la resistencia de un hilo de aluminio es casi ocho veces mayor.

Dado que la resistencia eléctrica de los materiales depende también de sus dimensiones, la determinación de la resistencia se realiza midiendo la de un hilo de un metro de longitud y de un milímetro cuadrado de sección. La resistencia de este trozo de hilo se llama **resistencia específica o resistividad** del material.



Conclusiones:

- Las propiedades de conducción de un material se caracterizan por la resistencia eléctrica específica y se representa por ρ (letra minúscula griega ro).
- La resistencia eléctrica específica ρ es la que corresponde a un conductor de 1 mm² de sección transversal y 1 m de longitud. La unidad de resistencia eléctrica específica es:

$$\Omega\text{mm}^2 / \text{m.}$$

Los materiales conductores, por ejemplo la plata, tienen una resistencia eléctrica específica pequeña.

Los materiales de resistencia, por ejemplo el constantán, tienen una resistencia eléctrica específica grande.

Los materiales aislantes, por ejemplo la porcelana, tienen una resistencia eléctrica específica muy grande.

Resistencia eléctrica específica	
Material	Resistencia eléctrica específica ρ en $\Omega\text{mm}^2 / \text{m.}$
Plata	0,0167
Cobre	0,018
Oro	0,022
Aluminio	0,0278
Tungsteno	0,055
Zinc	0,06
Latón	0,07
Níquel	0,10
Hierro	0,10 – 0,15
Platino	0,106
Estaño	0,11 – 0,14
Plomo	0,208
Niquelina (CuNi 30Mn)	0,4
Constantán (CuNi 44)	0,49
Mercurio	0,95
Carbón	66,667

Valores redondeados y válidos para 20°C

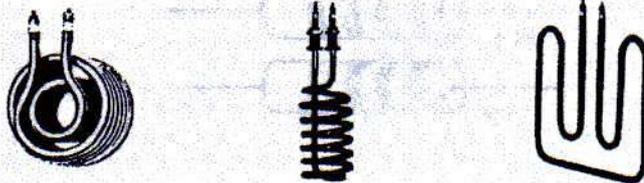
La resistencia de un conductor es tanto mayor

- Cuanto mayor es la resistividad
- Cuanto mayor es su longitud
- Cuanto menor es su sección.

2. MATERIALES PARA LA RESISTENCIA

Materiales para caldeo

Los conductores para caldeo que se muestran en la figura inferior pertenecen a diferentes instrumentos y accesorios que transforman la energía eléctrica en calor, como por ejemplo los calentadores eléctricos, calentadores de aire en la entrada del múltiple de admisión del aire, cocinas eléctricas, etc. Para ello debe dificultarse la circulación de los electrones a fin de que estos cedan parte de su energía cinética a los núcleos atómicos, con lo que estos efectuarán mayores vibraciones. De aquí se deduce que la resistencia eléctrica (o sea, la oposición al paso de los electrones) debe ser grande. Evidentemente los metales puros no nos servirán para esto, pero lo que suelen utilizarse metales de baja aleación (o sea, materiales con pequeños porcentajes de los componentes de la aleación), pues pequeñas irregularidades en los retículos cristalinos suponen ya un fuerte obstáculo para los electrones.



Como los conductores para caldeo deben alcanzar temperaturas altas con pequeñas cantidades de energía, deberán presentar pequeños calores específicos y una buena conductividad térmica.

Estas grandes temperaturas no podrán evidentemente provocar modificaciones en el material, esto es los materiales deberán conservar sus propiedades mecánicas y tecnológicas, y lógicamente no deberán fundirse en ningún caso, ni tampoco quemarse. Por tanto, deberemos alear materiales que o bien impidan totalmente la formación de cascarillas de óxido o formen una capa de óxido tal que impida el descascarillado.

Naturalmente el "medio ambiente" desempeña un papel decisivo. Cuando los materiales resistivos estén completamente encapsulados (por ejemplo, enterrados en cerámica) el oxígeno no podrá penetrar y no aparecerá oxidación. Sin embargo, como los materiales cerámicos son malos conductores del calor, sólo se podrán emplear en determinados casos. Al calentarse las sustancias cerámicas se dilatan menos que los metales, con lo que los conductores para caldeo se saldrían del encapsulado. Mediante aleaciones se obtienen materiales con coeficientes de dilatación muy pequeños.

Con todo esto obtenemos los siguientes requisitos para los conductores de caldeo:

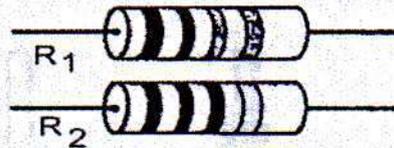
- gran resistividad
- pequeño calor específico
- buena conductividad térmica
- elevado punto de fusión
- buena resistencia a la corrosión
- buena resistencia al descascarillado en los conductores descubiertos
- pequeños coeficientes de dilatación.

Para todo ello se han desarrollado muchos materiales, cuyos componentes principales son: aluminio, cromo, hierro, níquel.

Ejemplo: Cr Al 20 5 (20 % Cr, 5 % Al, 75 % Fe). Existen distintas composiciones bajo nombres comerciales registrados.

Materiales para resistencias peliculares

Con las resistencias mostradas en la figura inferior no debe generarse calor, como es el caso en los conductores para caldeo, sino simplemente "consumirse" energía eléctrica. Como no es posible el consumo de energía sino simplemente la transformación de una forma en otra, en estos componentes también se generará calor. Como éste es nocivo los materiales de las resistencias peliculares deberán poseer grandes calores específicos y mala conductividad térmica.



Los materiales cerámicos reúnen estas propiedades, pero sus resistividades muy elevadas limitan sus aplicaciones. Por ello se emplean carbón, metales y óxidos metálicos.

Los materiales resistivos pueden bien vaporizarse sobre un soporte o dispersarse en solución y aplicarse por rociado. Dosificándolos adecuadamente y tratándolos a continuación (quemando o limando) se pueden lograr valores muy exactos, lo cual es de suma importancia, pues el funcionamiento de un circuito sólo queda garantizado cuando los componentes están calculados con exactitud. De aquí resulta entre otras cosas que las oscilaciones de la temperatura tampoco deben influir sobre los valores eléctricos.

Las pequeñas dimensiones de estas resistencias limitan también la carga permisible. Por ello se utilizan poco en las técnicas energéticas.

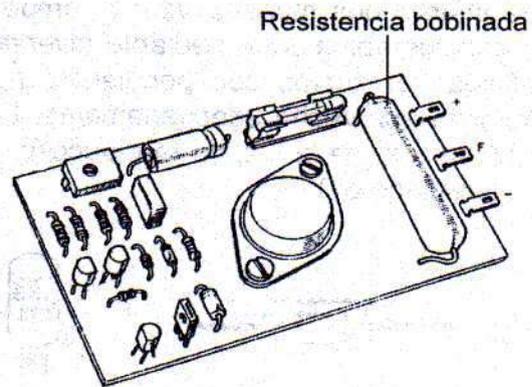
Algunos de los requisitos que deben reunir los materiales de los conductores para caldeo también deben cumplirse en este caso, con lo que obtenemos los requisitos siguientes:

- gran resistividad
- gran calor específico
- mala conductividad térmica
- buena resistencia a la corrosión
- buena resistencia al descascarillado
- pequeño coeficiente de dilatación
- pequeño coeficiente de temperatura.

Los componentes principales de estos materiales son carbón, cromo, níquel, tántalo, así como sus aleaciones y óxidos.

Materiales para resistencias bobinadas

En las resistencias de la figura de a lado tampoco se trata de convertir energía eléctrica en calor, sino de una reducción de la energía eléctrica. Por tanto, los materiales empleados deberán reunir requisitos similares a los de las resistencias peliculares.



Sin embargo, en muchos casos carece de importancia la variación de la resistencia con la temperatura. Tan sólo las resistencias de medida deberán presentar coeficientes de temperatura muy pequeños, para lo cual ha dado un excelente resultado una aleación de cobre-níquel-manganeso conocida bajo el nombre de constantán.

Constantán: 54 % Cu, 45 % Ni, 1 % Mn.

Coefficiente de temperatura $\alpha = 0,00004 \text{ 1/k}$

Resistividad $\rho = 0,5 \text{ } \Omega\text{mm}^2 / \text{m}$

A las propiedades eléctricas ya citadas se añaden en estos materiales algunas otras mecánicas, pues hay que devanar los hilos. Por otro lado, los materiales deben conservar su resistencia mecánica a temperaturas elevadas.

Por tanto, los materiales para resistencias bobinadas deberán reunir los siguientes requisitos:

- gran resistividad
- gran calor específico
- mala conductividad térmica
- buena resistencia a la corrosión
- buena resistencia al descascarillado
- pequeño coeficiente de dilatación
- pequeño coeficiente de temperatura (en las resistencias de medida)
- buenas propiedades mecánicas (elasticidad, resistencia a los golpes)
- buenas propiedades tecnológicas (soldabilidad, también con soldadura de aporte, estabilidad frente al calor).

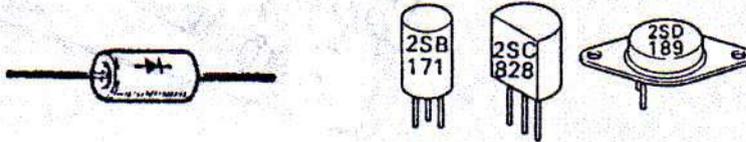
Los materiales empleados al efecto están normalizados.

Algunos nombres comerciales conocidos son:

Constantán, Niquelina, Manganina, Aurotán, Goldina, Isotán, Isa-ohm, Iso, Novoconstán, Ceranina, Isabelina.

Materiales para resistencias especiales (semiconductores)

La figura inferior nos muestra varios componentes. El valor de sus resistencias pueda variarse considerablemente mediante diversas influencias. La dependencia es alineal, y está definida por curvas con pendientes muy diferentes. Esta propiedad se busca a propósito y se aprovecha adecuadamente. Las diferentes resistencias pueden depender de la temperatura, de la luz, de la Inducción magnética, de la tensión y del sentido de la tensión (rectificadores).



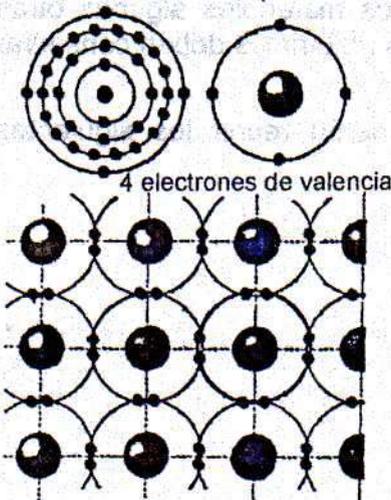
Diodo

Transistores

Los materiales empleados al efecto son elementos semiconductores (por ejemplo, germanio, silicio) o sus compuestos (semiconductores compuestos, por ejemplo arseniuro de galio).

Atomo de germanio

Completo Simplificado



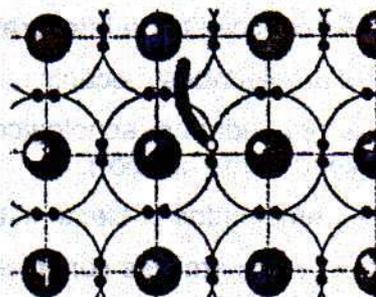
4 electrones de valencia

Red cristalina del germanio (representación un plano)

Los semiconductores son sustancias cuyos electrones de valencia están fuertemente ligados al retículo cristalino, con lo que no pueden contribuir al transporte de cargas.

Los semiconductores son malos conductores eléctricos a temperatura ambiente.

Al aumentar la temperatura los átomos o moléculas se moverán más rápidamente, con lo que se soltarán algunos de los enlaces de los electrones de Valencia. De este modo dispondremos de portadores de carga negativos que aumentarán la conductividad del material.



Estructura cristalina del germanio al elevar la temperatura

La conductividad de los semiconductores crece al aumentar la temperatura. Esta propiedad se denomina **conductividad intrínseca**.

Cuando los semiconductores se "impurifican" o "contaminan" con otros elementos, estos átomos extraños perturbarán la estructura regular de la red cristalina y la conductividad aumentará.

La conductividad de los semiconductores aumenta con la contaminación. Esta propiedad se denomina **conductividad extrínseca**.

Los **materiales de partida de los semiconductores** son principalmente el germanio y el silicio, y las impurezas, aluminio, boro, galio o indio, así como antimonio, arsénico o fósforo.

Otros materiales también empleados son: telurio, arseniuro de galio, seleniuros, sulfuros y fosfuros.

En la fabricación de resistencias fotoeléctricas o fotorresistencias se utiliza casi exclusivamente sulfuro de cadmio, pues este material posee una gran sensibilidad óptica. La fabricación de los propios componentes se logra mediante sinterización, vaporización o dispersión de polvo de CdS sobre un material soporte.

Las resistencias CTP, CTN y VDR (varistores) suelen fabricarse por sinterización de cristales de los elementos ya citados y sus compuestos.

Ejercicios

1. ¿Por qué es favorable que los materiales para caldeo presenten un calor específico pequeño?
2. ¿Por qué deben tener un coeficiente de dilatación pequeño los materiales para caldeo?
3. ¿Qué materiales se emplean en los conductores de caldeo?
4. ¿En qué se diferencia la misión de las resistencias bobinadas y peliculares de la de los conductores para caldeo?
5. ¿Por qué deben presentar un gran calor específico los materiales para resistencias peliculares?
6. ¿Qué significan las abreviaturas o denominaciones WM 100 y CuNi30Mn3?
7. ¿Por qué son malos conductores los semiconductores no contaminados a temperatura ambiente?
8. ¿Cuáles son los materiales más importantes en la tecnología de los semiconductores?

3. CALCULO DE LA RESISTENCIA DE UN CONDUCTOR

La resistencia de un conductor depende de la resistencia eléctrica específica ρ , de la longitud l del conductor y del área de la sección transversal A del conductor.

La resistencia de un conductor será, por tanto, mayor cuanto mayor sea la resistencia eléctrica específica ρ , mayor la longitud del conductor l y menor la sección transversal del mismo.

$$R = \rho \cdot l / A$$

Ejemplo:

Calcular la resistencia de un conductor de cobre de 300 metros de longitud con una sección de $1,5 \text{ mm}^2$.

Solución:

$$l = 300 \text{ m}$$

$$R = \rho \cdot l / A$$

$$A = 1,5 \text{ mm}^2$$

$$R = \frac{0,018 \text{ } \Omega\text{mm}^2 / \text{m} \times 300 \text{ m}}{1,5 \text{ mm}^2}$$

Resistencia eléctrica
específica del cobre:
 $\rho = 0,018 \text{ } \Omega\text{mm}^2 / \text{m}$.

$$R = 3,6 \text{ } \Omega$$

Ejercicios

1. Explicar la estructura atómica de los metales.
2. ¿Qué se entiende por un enlace metálico?
3. ¿Cuál es la causa de la buena conductividad eléctrica de los metales?
4. Una resistencia de precisión esta compuesta de manganina ($\rho = 0,43 \text{ } \Omega\text{mm}^2 / \text{m}$). El hilo utilizado mide 29 m y tiene una sección de $0,5 \text{ mm}^2$. ¿Cuál es la resistencia?
5. ¿Cuánto vale la resistencia de una línea de cobre de un hilo con una longitud de 1 Km. y una sección de 35 mm^2 ?
6. Una línea defectuosa debe sustituirse por otra. Como en el almacén no se encuentra material del mismo tipo, se coloca una línea con una conductividad 1,5 veces mayor. ¿Que consecuencias tiene esto sobre la sección, si la resistencia ha de ser la misma?
7. Una resistencia de caldeo ($\rho = 1,45 \text{ } \Omega\text{mm}^2 / \text{m}$) debe valer $24 \text{ } \Omega$. ¿Que longitud debe tener el hilo si la sección es $1,2 \text{ mm}^2$?
8. Una línea de aluminio ha de sustituirse por una de cobre. La resistencia ha de ser la misma. ¿Qué sección ha de tener la línea de cobre si la de aluminio tenía una sección de 50 mm^2 ?

CONDUCTANCIA Y CONDUCTIBILIDAD

Conductancia

Se da el nombre de conductancia a la facilidad con que el conductor deja pasar la corriente eléctrica a través de él. Esta propiedad es la inversa de la resistencia, es decir, que cuanto menor es la resistencia mayor es la conductancia.

La conductancia se representa en las formulas con la letra G.

En el sistema SI, la unidad de conductancia se llama *siemens*, que se representa por la letra S y es la conductancia de un conductor que tiene un ohmio de resistencia. En las normas americanas esta unidad suele llamarse Mho, pero equivale a lo mismo.

El valor de la conductancia de un conductor se obtiene dividiendo la unidad por el valor de la resistencia, o sea:

$$G = 1/R$$

Por ejemplo, un conducto que tuviese 4 Ω de resistencia tendrá una conductancia:

$$G = 1/R = 1/4 = 0,25 \text{ siemens}$$

Conductibilidad (conductividad) eléctrica

También conocida como conductancia específica se representa por la letra χ (letra griega kappa minúscula) y es el valor inverso de la resistividad o resistencia específica:

$$\chi = 1/\rho$$

Por ejemplo, en el cobre la conductividad vale:

$$\chi = 1/\rho = 1 / 0.018 = 56$$

Conductividad eléctrica	
Material	Conductividad χ en m / Ωmm^2
Plata	60
Cobre	56
Oro	45
Aluminio	36
Tungsteno	18
Zinc	16
Latón	14
Níquel	10
Hierro	7 - 10
Platino	9
Estaño	7 - 9
Plomo	4,8
Niquelina(CuNi 30Mn)	2,5
Constantán (CuNi 44)	2,0
Mercurio	1,05
Carbón	0,015

Valores redondeados y válidos para 20°C

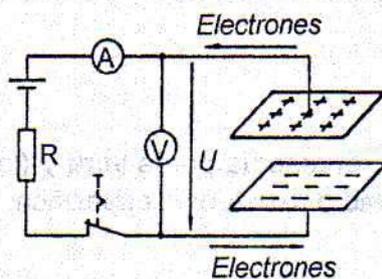
POTENCIA Y TRABAJO ELECTRICO

Trabajo eléctrico

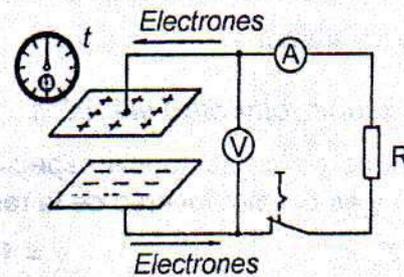
En toda fuente de tensión se transforma energía en energía eléctrica, dando lugar a la aparición de una carga eléctrica y una tensión eléctrica. La energía así obtenida debe poseer la capacidad de realizar un trabajo.

A continuación vamos a tratar más detenidamente el trabajo eléctrico. Para ello emplearemos un dispositivo que es capaz de almacenar una cantidad conocida de energía eléctrica: *el condensador*.

El condensador se compone de dos placas aisladas una de otra. Cuando se conecta una tensión a las placas el polo positivo P extrae electrones de la placa conectada a él, con lo que ésta queda cargada positivamente. El polo negativo N introduce electrones adicionales en la otra placa, que queda cargada negativamente.



Proceso de carga de un condensador



Proceso de descarga de un condensador

La carga negativa que se extrajo de la placa superior se encuentra almacenada en la inferior. Decimos que el condensador está cargado. Esto podemos demostrarlo con un voltímetro, que indicará la existencia de una tensión. Esta tensión perdurará aunque desconectemos la fuente de tensión del condensador. Por tanto, este último almacena energía eléctrica.

Según se vio en el estudio de tensión eléctrica $E = U \cdot Q$

Esta energía eléctrica puede recuperarse como trabajo eléctrico si conectamos un circuito de consumo.

$$\text{Si: } E = W \text{ entonces } W = U \cdot Q$$

Cuando el condensador se descarga circula una corriente I durante un determinado tiempo, t , hasta que el condensador esté descargado. Esto supone un movimiento de cargas.

$$\text{Sabemos que: } Q = I \cdot t$$

Por tanto, obtenemos para el trabajo eléctrico:

$$W = U \cdot Q$$

$$W = U \cdot I \cdot t$$

Trabajo es tensión por Intensidad por tiempo

$$1J = 1V \cdot 1A \cdot 1s$$

El trabajo eléctrico y el mecánico tienen el mismo símbolo. ¿Coinciden también sus unidades? Vamos a comprobarlo comparándolas.

Trabajo mecánico

$$[W] = N \cdot m$$

Trabajo eléctrico

$$[W] = V A s$$

$$[W] = V \cdot A \cdot s \quad 1V = 1 \frac{N \cdot m}{A \cdot s}$$

$$[W] = \frac{N \cdot m \cdot A \cdot s}{A \cdot s}$$

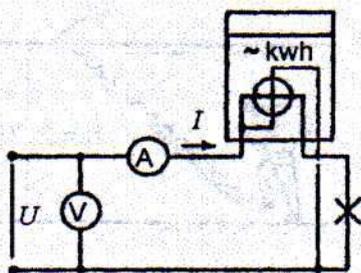
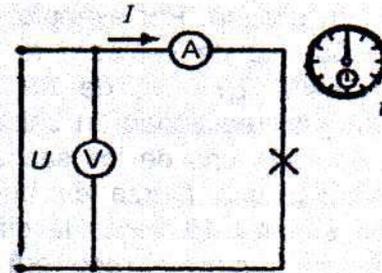
$$[W] = N \cdot m$$

El resultado muestra que ambas unidades son equivalentes. Por tanto:

$$1 Nm = 1 V A s$$

Medida del trabajo eléctrico

Para medir el trabajo mecánico realizado por un motor es necesario disponer de un gran aparato técnico. En cambio el trabajo eléctrico es fácil de medir. Para ello se precisan solamente un voltímetro, un amperímetro y un cronómetro, pudiéndose obtener el resultado por cálculos simples.



Todavía más sencillo es la utilización de un contador eléctrico. Este aparato se compone básicamente de un circuito de tensión (que equivale a un voltímetro) y de un circuito de intensidad (que equivale a un amperímetro). Ambos actúan sobre un dispositivo contador que indica el trabajo teniendo en cuenta el tiempo de conexión (Fig. 6.7).

La unidad de trabajo, y por tanto también la de trabajo eléctrico, es el joule. En electrotecnia se le llama también watt-segundo Ws. Pero como es muy pequeña, en problemas técnicos se han impuesto otras unidades mayores.

Estas unidades son el watt-hora, Wh, y el kilowatt-hora, kWh.

$$1 Wh = 3600 Ws = 3,6 \times 10^3 Ws = 3,6 kW s$$

$$1 kWh = 3600000 Ws = 3,6 \times 10^6 Ws = 3,6 MW s$$

Por ello los contadores eléctricos utilizados en la práctica suelen estar calibrados en Kwh. (Figura de al lado).

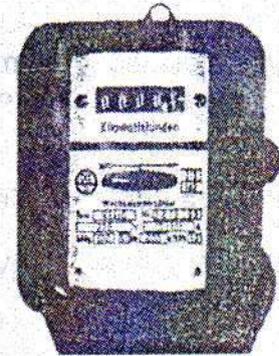
En la placa indicadora de un contador se encuentra indicada, junto a otras características como tensión, Intensidad, etc., la constante del contador c_z .

Esta constante indica el número de revoluciones del disco contador que equivalen a 1 KWh.

Ejemplo:

$$c_z = 180 \frac{1}{\text{KWh}}$$

(180 revoluciones por kilowatt-hora)



Potencia eléctrica

Antes de poder hablar de la potencia eléctrica y de las magnitudes de las que depende debemos retroceder brevemente a la magnitud "trabajo".

Se realiza un trabajo cuando una fuerza actúa a lo largo de un camino. Por ejemplo, cuando un peón sube 500 kg de cemento al tercer piso (cada piso mide 2,75 m) de un edificio en construcción está realizando un trabajo. Para el transporte de cada uno de los sacos de 50 kg debe desarrollar una fuerza de unos 490 N. Como debe superar 10 veces la diferencia de alturas entre los tres pisos, recorrerá en total un camino $h = 82.5$ m.

$$W = F \cdot h$$

$$W = 490 \text{ N} \times 82,5 \text{ m}$$

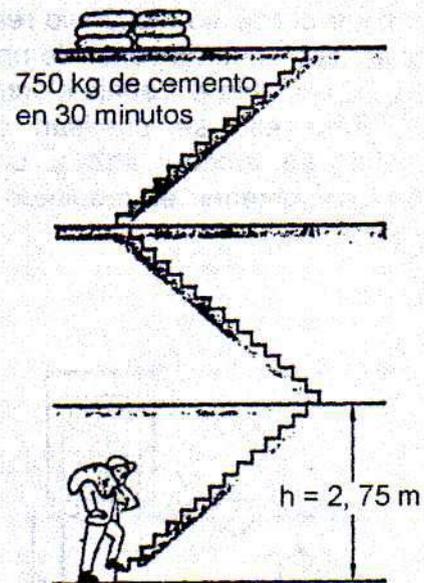
$$W = 40425 \text{ Nm}$$

Por tanto, el peón ha desarrollado un trabajo de 40425 Nm. Pero, ¿qué potencia ha desarrollado? Para calcularla hay que tener en cuenta además el tiempo que tardó. Si se dio prisa habrá desarrollado más potencia que si subió muy lentamente las escaleras. Pero en ambos casos habrá realizado el mismo trabajo.

La potencia es tanto mayor cuanto menor es el tiempo en que se realiza un trabajo.

Ahora podemos hacer un nuevo razonamiento:

Dos peones transportan durante 30 minutos ($t = 1800$ s) cemento al tercer piso ($h = 8,25$ m). El primero transporta en este tiempo 500 kg mientras el segundo peón logra transportar 750 kg. Por tanto, el segundo peón ha realizado en el mismo tiempo más trabajo, o sea que habrá desarrollado una potencia mayor.



La potencia es tanto mayor cuanto mayor es el trabajo realizado y menor el tiempo necesario para ello.

La unidad de potencia es el **watt** (James Watt, Ingeniero Ingles, 1736 -1819).

En la anterior podemos observar la actividad del segundo peón. También hemos calculado la potencia y el trabajo.

Para la potencia eléctrica tomemos las mismas relaciones que para la mecánica.

$$\text{Potencia} = \frac{\text{Trabajo}}{\text{Tiempo}}$$

El trabajo eléctrico es igual al producto de tensión por Intensidad por tiempo. Sustituamos esta expresión en la fórmula para calcular la potencia.

Potencia eléctrica Trabajo eléctrico: $W = U \cdot I \cdot t$

$$P = \frac{W}{t}$$

$$P = \frac{U \cdot I \cdot t}{t}$$

$$P = U \cdot I$$

Potencia eléctrica es tensión por Intensidad

$$1\text{Watt} = 1\text{V} \cdot 1\text{A}$$

Ordenes de magnitud de las potencias de aparatos eléctricos

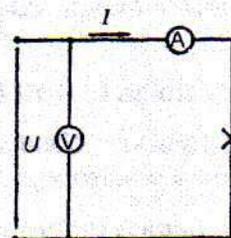
Micrófono	p. ej.	0,000 000 005 W
Radio portátil	p. ej.	5 W
Televisor en color	aprox.	100 W
Bombilla (220 V)	p. ej.	100 W
Frigorífico	aprox.	120 W
Horno eléctrico	aprox.	10 000 W
Locomotora eléctrica	p. ej.	1 000 000 W

Ordenes de magnitud de las potencias de centrales eléctricas

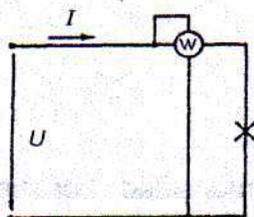
Central hidroeléctrica	124 000 KW
Central termoeléctrica	356 000 KW
Central hidroeléctrica de agua acumulada	440 000 KW
Central nuclear	670 000 KW

Medida de la potencia eléctrica

La fórmula para calcular la potencia eléctrica ya muestra que es muy fácil medir potencias eléctricas. Solamente se necesitan un amperímetro y un voltímetro. Multiplicando los dos valores medidos se obtiene la potencia.



Medida indirecta de potencia



Medida directa de potencia

Sin embargo, para aplicaciones técnicas existen también aparatos (vatímetro: "w") en los que el voltímetro y el amperímetro actúan sobre la misma aguja Indicadora, con lo que puede leerse directamente la potencia.

Un vatímetro (W) eléctrico, esto es un aparato para medir la potencia, tiene una estructura más sencilla que un contador eléctrico. No tiene ningún dispositivo contador aunque sí posee un circuito de tensión y uno de Intensidad igual que el contador.

Al conectar un vatímetro debe prestarse especial cuidado en no intercambiar los dos circuitos. El circuito de tensión presenta una gran resistencia y debe conectarse a la tensión total aplicada. El circuito de Intensidad presenta una pequeña resistencia y debe conectarse en el circuito por el que pasa la corriente. Si se le conectara a la tensión total, podría circular por él una corriente tan intensa que el aparato quedaría deteriorado.

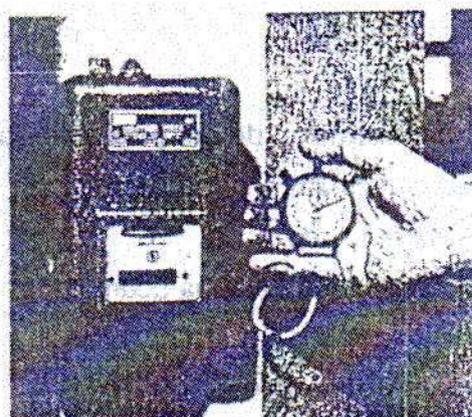
Un aparato de medida puede resultar dañado incluso aunque esté conectado correctamente y su aguja no indique el valor máximo. Este caso puede darse sobre todo en los Instrumentos conmutables. Vamos a explicarlo con un ejemplo:

En un vatímetro el circuito de tensión se ajusta a la gama de 300 V y el circuito de intensidad, a la de 1 A. Por tanto, el margen de medida es de 300 W.

La carga cuya potencia se debe medir se encuentra sometida a 100 V y por ella circula una corriente de 2.5 A. El instrumento de medida indica el valor correcto, o sea, 250 W.

El valor medido se encuentra dentro del margen de medida del vatímetro. Sin embargo, éste quedará dañado, pues su circuito de Intensidad está sobrecargado en un 150 %.

Otro método muy sencillo de medir la potencia de una carga es la determinación mediante un contador eléctrico, como se ha representado en la figura de al lado. Por ejemplo, si tenemos que controlar el consumo de potencia de un tostador eléctrico en una vivienda y no disponemos de vatímetro, será suficiente un cronómetro (también puede servir un reloj con segundero).



Realización de las medidas

Conectemos a la instalación exclusivamente el aparato cuyo consumo de potencia queramos medir; en nuestro caso, pues, el tostador eléctrico. El giro del disco del contador indica que el aparato está funcionando. La marca roja del disco nos permite contar el número de revoluciones. Mediremos el tiempo que transcurre durante un número determinado de revoluciones.

Ejemplo:

La constante del contador vale $c_2 = 180 \frac{1}{\text{KWh}}$. El disco del contador precisa 100 s para efectuar 10 revoluciones

Por tanto el tostador eléctrico consume durante los 100 s un trabajo eléctrico

$$W = \frac{10}{180} \text{ KWh} = 0,06 \text{ KWh}$$

Tenemos, pues, para la potencia:

$$P = \frac{W}{T} = \frac{0,06 \text{ KWh}}{100 \text{ s}}$$

Transformamos los 100 s en horas h para poder simplificar:

$$P = \frac{0,06 \text{ KWh}}{0,03\text{h}} \quad 100 \text{ s} = \frac{100}{3600} \text{ h} = 0,03\text{h} \quad (\text{redondeando})$$

$$P = 2 \text{ KW}$$

Para la determinación de potencias con un contador podemos utilizar directamente una fórmula. Como también se trata de una ecuación con unidades, sólo podemos sustituir las magnitudes que aparecen en la fórmula por valores con las unidades prescritas.

Comprobación del ejemplo:

$$N = 10 \quad t = 100 \text{ s} \quad c_2 = 180 \frac{1}{\text{KWh}}$$

$$P = \frac{n \cdot 3600}{t \cdot c_2}$$

$$P = \frac{10 \times 3600}{100 \times 180} \text{ KW}$$

$$P = 2 \text{ KW}$$

Ejercicios

1. Un montacargas está calculado para 2000 kg. carga que sube en 12 s a una altura de 15 m.
 - a) ¿Qué trabajo realiza en cada subida?
 - b) ¿Cuánto vale la potencia?
2. Un motor de corriente continua a 220 V está funcionando durante 10 horas. La Intensidad nominal vale 41,6 A.
 - a) ¿Cuánto vale la potencia consumida?
 - b) ¿Qué trabajo eléctrico ha desarrollado?
3. Un aparato eléctrico de 220 V está 6 minutos en funcionamiento. El disco del contador eléctrico efectúa durante este tiempo 72 revoluciones.

$$c_z = 180 \frac{1}{\text{KWh}}$$
 - a) ¿Qué energía consume en los 6 minutos?
 - b) ¿Cuánto vale la potencia consumida?
 - c) ¿Cuánto vale la intensidad?
 - d) ¿Qué energía consumiría en 3 horas?
4. Razonar por qué la magnitud tiempo no aparece en la fórmula de la potencia eléctrica.
5. ¿Qué ocurre si se conecta el circuito de tensión de un watímetro en el circuito principal por donde circula la corriente?
6. ¿Qué ocurre cuando se somete el circuito de intensidad de un watímetro a la tensión total?
7. ¿Qué Indicará un watímetro si no se conecta su circuito de tensión? Razonar la respuesta.

CAIDA DE TENSION, PERDIDA DE TENSION Y CÁLCULO DEL CONDUCTOR RESPECTO A LA PÉRDIDA DE TENSION

1. Caída de tensión, pérdida de tensión

El propietario de una caravana (roulotte) monta en ésta una calefacción eléctrica según las instrucciones que se le adjuntan. La calefacción se ha de conectar a 220 V y consume a esta tensión una potencia de 4 kw. Al acabar la instalación la hace comprobar por un técnico, que la pone en funcionamiento y mide los siguientes valores de tensión e intensidad:

$$U = 220 \text{ V}; \quad I = 18 \text{ A.}$$

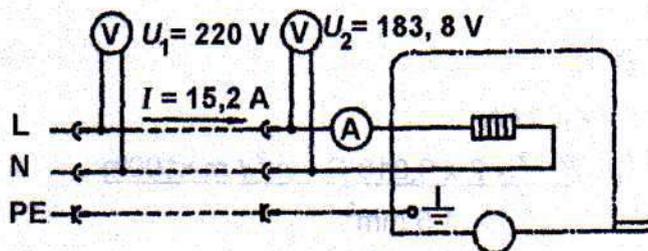
A continuación el propietario se va de vacaciones y aparca su caravana en un camping. Para poder conectar su calefacción compra 100 m de línea de 3 hilos, de sección $A = 1.5 \text{ mm}^2$, pues el enchufe más próximo está bastante alejado de su lugar de acampada.

Después de poner la calefacción en funcionamiento comprueba que ésta no proporciona su máxima potencia.

Una nueva medida muestra que: $U = 183,8 \text{ V}; \quad I = 15,2 \text{ A.}$

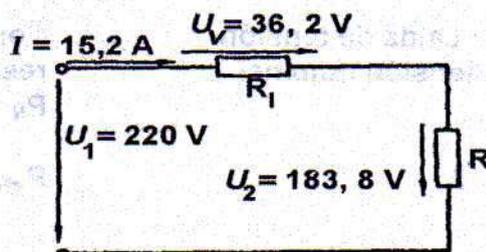
Estos valores son bastante menores que los primitivos. La suposición de que la compañía suministradora de electricidad proporcionaba una tensión demasiado baja resultó ser falsa. En los enchufes del camping pueden medirse 220V.

Por tanto, **las pérdidas** sólo pueden estar provocadas por la resistencia de línea que da lugar a una conexión en serie con las resistencias de la calefacción.



En la figura superior hemos representado el circuito de la calefacción junto con los instrumentos de medida y los resultados de ésta. En la figura inferior se encuentra el circuito equivalente correspondiente.

Circuito de medida para comprobar el funcionamiento de la calefacción (con cables largos)



Circuito equivalente de una carga con la resistencia de la línea

La **caída de tensión** en la línea depende de la intensidad de la corriente de carga $I = 152$ A y de la resistencia de la línea R_l (ver calculo de resistencia de conductores), que se compone de las resistencias de los conductores, el "de ida" y el "de vuelta". La Longitud l es la de la línea (en nuestro caso 100 m). Por tanto, la resistencia de la línea vale:

$$R_l = R_{L(\text{ida})} + R_{L(\text{vuelta})} = 2 R_c$$

$$R_l = 2 \rho \cdot l / A$$

Por tanto, la caída de tensión vale:

$$U_v = I \cdot R_l$$

$$U_v = I \cdot 2 \rho \cdot l / A$$

$$U_v = \frac{15,2 \text{ A} \times 2 \times 0,018 \Omega \text{ mm}^2 / \text{m} \times 100 \text{ m}}{1,5 \text{ mm}^2}$$

$$U_v = 36,2 \text{ V}$$

Esta **caída de tensión** provoca en la carga (en nuestro caso las resistencias de la calefacción) una reducción de la potencia. Por lo tanto la línea provoca no sólo una caída de tensión sino también una pérdida de potencia.

Las pérdidas de potencia en una línea cargada son directamente proporcionales a la resistencia de la línea y al cuadrado de la Intensidad de la corriente de la carga.

$$P_v = I^2 \cdot R_l$$

$$P_v = I^2 \cdot 2 \rho \cdot l / A$$

$$P_v = \frac{15,2^2 \text{ A}^2 \times 2 \times 0,018 \Omega \text{ mm}^2 / \text{m} \times 100 \text{ m}}{1,5 \text{ mm}^2}$$

$$P_v = 550 \text{ W}$$

En la práctica se suelen indicar las pérdidas en tanto por ciento.

Porcentaje de caída de tensión respecto a la tensión nominal
 $U_N = 220 \text{ V}$

$$U_{v\%} \approx \frac{U_v}{U_N} \cdot 100 \%$$

$$U_{v\%} \approx \frac{36,2 \text{ V}}{220 \text{ V}} \cdot 100\%$$

$$U_{v\%} \approx 16,45 \%$$

Porcentaje de pérdidas de potencia respecto a la potencia nominal
 $P_N = 4000 \text{ W}$

$$P_{v\%} \approx \frac{P_v}{P_N} \cdot 100 \%$$

$$P_{v\%} \approx \frac{550 \text{ W}}{4000 \text{ W}} \cdot 100\%$$

$$P_{v\%} \approx 13,75 \%$$

La suma de la caída de tensión y la tensión en la carga nos da la tensión nominal.

$$U_V + U_2 = 36,2 \text{ V} + 183,8 \text{ V}$$

$$\underline{U_V + U_2 = 220 \text{ V}}$$

Esta relación no es válida para la suma de las pérdidas de potencia y la potencia consumida por la carga. El porcentaje de potencia útil es mucho menor que el de tensión útil, pues la potencia depende del cuadrado de la tensión.

2. Cálculo del conductor respecto a la pérdida de tensión

¿Qué posibilidades existen para utilizar la instalación del ejemplo anterior de una manera más económica?

Sabemos que es la resistencia de la línea la que provoca las pérdidas. Por tanto deberemos reducirla, para lo cual existen dos posibilidades :

- acortar la línea.
- aumentar la sección de los conductores.

En la práctica (también en nuestro ejemplo) sólo suele ser realizable la segunda solución.

Toda línea cargada provoca una caída de tensión, que deberá ser lo menor posible. Frecuentemente viene fijada por la compañía suministradora de electricidad.

Por lo general, la caída de tensión en tanto por ciento no puede ser superior al 0,5 % en las líneas que van de la acometida de una casa hasta los contadores. La caída de tensión en tanto por ciento en la instalación que viene después del contador no debe sobrepasar los siguientes valores:

- 1.5 % en las líneas para circuitos de lámparas o enchufes, desde el contador hasta las cargas;
- 3 % en las líneas de cargas con circuito eléctrico propio, desde el contador hasta la carga.

Esta caída se llama caída de tensión permisible U_{vper} .

$$U_{vper} \approx 3 \% \text{ de } 220 \text{ V o bien}$$

$$U_{vper} = 0,03 \times 220 \text{ V de donde resulta}$$

$$\underline{U_{vper} = 6,6 \text{ V}}$$

Esta caída permisible es la base para calcular la sección necesaria del conductor A.

$$U_{vper} = I \cdot 2 \rho \cdot l / A$$

Por tanto la sección necesaria del conductor será:

$$A = I \cdot 2 \rho \cdot l / U_{vper}$$

$$A = \frac{18 \text{ A} \times 2 \times 0,018 \Omega \text{ mm}^2 / \text{m} \times 100 \text{ m}}{6,6 \text{ V}}$$

$$\underline{A = 9,74 \text{ mm}^2}$$

Para solo un 3 % de tensión se aproxima la intensidad de la corriente de carga por la intensidad nominal.

El cálculo de la sección necesaria del conductor da en general un valor no normalizado. Por ello se elige un conductor de sección del valor normalizado superior más próximo. En nuestro caso es $A = 10 \text{ mm}^2$

Obtendremos, pues, una caída de tensión menor que la permisible lo cual sólo presenta ventajas.

$$U_v = I \cdot 2 \rho \cdot l / A$$

$$U_v = \frac{18 \text{ A} \times 2 \times 0,018 \Omega \text{ mm}^2 / \text{m} \times 100 \text{ m}}{10 \text{ mm}^2}$$

$$U_v = 6,4 \text{ V}$$

Este cálculo entraña una pequeña inexactitud. Dado que la resistencia de los conductores y la de la calefacción forman una conexión en serie, no circulará la corriente nominal de 18 A, sino una corriente de intensidad algo menor, aquí 17,66 A. Con este valor podremos calcular la caída de tensión real, $U_v = 6,3 \text{ V}$. Como este valor es aproximadamente igual a 6.4 V. en la práctica será suficiente hacer los cálculos con la intensidad nominal.

Protección de líneas eléctricas

Para que una instalación eléctrica funcione correcta y económicamente es de singular importancia el cálculo de las líneas de alimentación, para lo cual desempeña un papel especial la máxima caída de tensión permisible.

Veamos para ello otro ejemplo.

La caída de tensión permisible de una instalación de 220 V es del 3 % o sea $U_{v\text{per}} = 6,6 \text{ V}$. La línea es muy corta, $l = 3.5 \text{ m}$. y debe soportar una corriente de $I = 75 \text{ A}$. ¿Cuál será la sección de la línea a utilizar?

$$A = I \cdot 2 \rho \cdot l / U_{v\text{per}}$$

$$A = \frac{75 \text{ A} \times 2 \times 0,018 \Omega \text{ mm}^2 / \text{m} \times 3.5 \text{ m}}{6,6 \text{ V}}$$

$$A = 1,43 \text{ mm}^2$$

Según esto para la instalación sería suficiente una línea con conductores de sección $A = 1,5 \text{ mm}^2$

No obstante, para una intensidad $I = 75 \text{ A}$ no es permisible una sección tan pequeña. La línea se calentaría excesivamente y el calor podría destruir los aislantes.

Las pérdidas de potencia nos lo aclararán:

$$P_v = I^2 \cdot 2 \rho \cdot l / A$$

$$P_v = \frac{75^2 \text{ A}^2 \times 2 \times 0,018 \Omega \text{ mm}^2 / \text{m} \times 3.5 \text{ m}}{1.5 \text{ mm}^2}$$

$$P_v = 472.5 \text{ W}$$

Una explicación del calentamiento excesivo es la razón de la intensidad de corriente a la sección del conductor. Este cociente se denomina densidad de corriente, y no pueda ser pues excesivamente grande.

La densidad corriente Indica cuántas amperios circulan por metro cuadrado de sección del conductor.

Hay distintas organizaciones (ASTM, AIEE, VDE. etc.) que indican en sus normas la máxima carga permanente permisible en conductores aislados para el montaje de instalaciones de potencia con tensiones de hasta 600 V y 1000V. Tomemos como ejemplo los valores de la tabla 9,1 que se refieren a temperaturas ambiente de hasta 25°C. Para temperaturas mayores las cargas permanentes permisibles son menores.

En la tabla se distinguen tres grupos de líneas.

Grupo 1: Una o varias líneas situadas en un tubo.

Grupo 2: Líneas de varios conductores, por ejemplo líneas revestidas, líneas paralelas (planas), líneas en tubos, líneas móviles.

Grupo 3: Líneas de un solo conductor, líneas aéreas desnudas y cableadas en los armarios de conexiones.

En nuestro ejemplo necesitaremos, pues, una sección de por lo menos $A = 16 \text{ mm}^2$ (grupo2).

Sección nominal mm^2	Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3	
	Cu A	Al A	Cu A	Al A	Cu A	Al A
0,75	---	---	13	---	16	---
1	12	---	16	---	20	---
1,5	16	---	20	---	25	---
2,5	21	16	27	21	34	27
4	27	21	36	29	45	35
6	35	27	47	37	57	45
10	48	38	65	51	78	61
16	65	51	87	68	104	82
25	88	69	115	90	137	107
35	110	86	143	112	168	132
50	140	110	178	140	210	165
70	175	---	220	173	260	205
95	210	---	265	210	310	245
120	250	---	310	245	365	285
150	---	---	355	280	415	330
185	---	---	405	320	475	375
240	---	---	480	380	560	440
300	---	---	555	435	645	510
400	---	---	---	---	770	605
500	---	---	---	---	880	690

Tabla 9.1: Carga permanente permisible para líneas aisladas, temperatura ambiente hasta 25°C

Antes de construir una instalación eléctrica debemos calcularla. Las líneas eléctricas deben calcularse de manera que cumplan los siguientes requisitos:

- No puede sobrepasarse la caída de tensión permisible.
- No puede sobrepasarse la máxima carga permisible.
- La resistencia mecánica de las líneas ha de ser suficiente (ver tabla 9.2. extracto de la norma VDE).

Tabla 9.2: Sección mínima de los conductores de líneas

Tipo de montaje	Sección mínima en mm ²	
	para	para
Montaje fijo y protegido	1,5	2,5
Líneas en equipo de conmutación y distribución para intensidades de hasta 2,5 A más de 2,5 A hasta 16 A más de 16 A	0,5 0,75 1,0	-----
Montaje al aire libre sobre aisladores Distancia entre los puntos de sujeción Hasta 20 m Más de 20 hasta 45 m	4 6	16 16(de varios hilos)
Líneas móviles para la conexión de aparatos portátiles ligeros con un consumo de corriente hasta 1 A y longitud máxima del cable de conexión de 2 m, cuando así lo indiquen las instrucciones del aparato correspondiente. Aparatos con un consumo máximo de corriente de hasta 2,5 A y longitud máxima del cable de conexión de 2 m, cuando así lo indiquen las instrucciones del aparato correspondiente. Aparatos con un consumo máximo de corriente de 10 A, enchufes de aparatos y alargaderas de hasta 10 A de intensidad nominal. Aparatos con un consumo máximo de corriente de 10 A, enchufes múltiples, enchufes de aparatos y alargaderas con más de 10 A y hasta 16 A de intensidad nominal.	0,1 0,5 0,75 1,0	-----
Hilos para portalámparas	0,75	
Cadena de luces para interiores Entre la cadena de luz y el enchufe Entre las diferentes bombillas		0,75 0,5
Líneas aéreas de potencia		véase

La carga permanente permisible de las líneas eléctricas no debe sobrepasarse. Las líneas se calculan y dimensionan para la corriente de régimen. Por tanto durante el funcionamiento normal apenas aparecen sobrecargas excesivas.

No ocurre lo mismo en caso de una avería. Por ejemplo, durante un corto circuito pueden sobrepasarse los valores permisibles. En estos casos deben asegurarse las líneas con dispositivos protectores contra sobrecargas.

Para las diferentes secciones de las líneas y según su división en grupos también se deben montar dispositivos protectores de diferentes valores. La tabla 9.3 Indica los valores de los dispositivos protectores correspondientes a cada una de las secciones

nominales según la norma VDE 0100 § 4. Se pueden montar valores inferiores, pero nunca superiores a los permitidos.

No está permitido colocar dispositivos protectores de valores superiores a los prescritos por la VDE.

Sección nominal mm ²	Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3	
	Cu A	Al A	Cu A	Al A	Cu A	Al A
0,75	—	—	13	—	16	—
1	12	—	16	—	20	—
1,5	16	—	20	—	25	—
2,5	21	16	27	21	34	27
4	27	21	36	29	45	35
6	35	27	47	37	57	45
10	48	38	65	51	78	61
16	65	51	87	68	104	82
25	88	69	115	90	137	107
35	110	86	143	112	168	132
50	140	110	178	140	210	165
70	175	—	220	173	260	205
95	210	—	265	210	310	245
120	250	—	310	245	365	285
150	—	—	355	280	415	330
185	—	—	405	320	475	375
240	—	—	480	380	560	440
300	—	—	555	435	645	510
400	—	—	—	—	770	605
500	—	—	—	—	880	690

Tabla 9.3: Valores de los dispositivos protectores correspondientes a las diferentes secciones nominales de líneas aisladas.

Los fusibles y los disyuntores son dispositivos protectores, tanto en caso de sobrecarga como en caso de cortocircuito.

EJERCICIOS

1. ¿Qué condiciones deben cumplirse para la instalación correcta, según las normas, de líneas eléctricas?
2. ¿Bajo que condiciones esta garantizada la selectividad de una instalación?

3. ¿Cuál puede ser la longitud de un cable de dos hilos de $A = 1,5 \text{ mm}^2$ si debe circular una corriente de 16 A y la máxima caída de tensión permisible es 3,3 V?
4. ¿Cuál deberá ser la sección de los conductores a montar para un calentador eléctrico ($U_N = 220 \text{ V}$, $P_N = 4 \text{ KW}$) si la longitud de la línea es 12 m y la caída de tensión permisible el 1,5 %? (conductores de cobre).
5. ¿Qué proporción de su potencia nominal $P_N = 1000 \text{ W}$ recibe una plancha eléctrica si se produce en la línea una caída de tensión del 10 %?

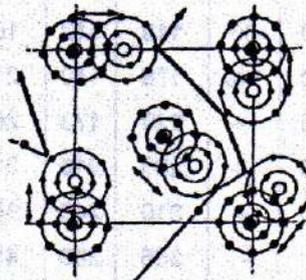
RESISTENCIA Y TEMPERATURA

Variación de la resistencia con la temperatura

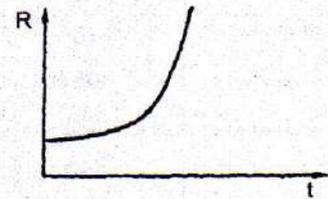
La resistencia de un hilo crece al aumentar la temperatura.

Para explicar este fenómeno debemos ocuparnos nuevamente de la explicación de la forma de energía llamada calor. El calor es el movimiento de las moléculas o de los átomos. Cuanto más caliente está un material, tanto más intenso es el movimiento de las moléculas, es decir, tanto más enérgicamente vibran alrededor de sus puestos en la red del cristal.

Con ello aumenta la posibilidad de un choque de los electrones cuasilibres con los núcleos atómicos o con los electrones ligados. Por tanto, al aumentar la oposición a la circulación de los electrones aumenta la resistencia (ver figura de al lado).



Aumento de la resistencia al aumentar la vibración de los átomos cuando se calientan



Característica de un conductor frío

Además de los metales también existen otros materiales que muestran este comportamiento. Como en estado "frío" conducen mejor que en "caliente", se les denomina **conductores en frío**.

Los conductores en frío son materiales que conducen mejor en frío que en caliente.

Si se enfriaran los materiales hasta el cero absoluto ($0^\circ\text{K} = -273,15^\circ\text{C}$) su resistencia sería nula. Esta propiedad se llama superconductividad y los conductores a muy bajas temperaturas, superconductores. Los superconductores pueden soportar corrientes de gran intensidad Incluso con pequeñas secciones.

Al igual que las vibraciones de los núcleos atómicos influyen sobre el movimiento de los electrones cuasilibres, también ocurre al contrario. Los electrones cuasilibres, con sus choques contra los electrones de las órbitas de los átomos, provocan que estos electrones ligados vibren más fuertemente, lo que se manifiesta por un aumento de la temperatura. Esta propiedad se utiliza en los aparatos de calentamiento eléctrico.

El calentamiento debido a la corriente que circula se denomina **calentamiento propio**, mientras que el **calentamiento Indirecto** es debido a una influencia externa.

Cuando se aumenta más el calentamiento de un conductor, la corriente vuelve a decrecer aún más, o sea, que la resistencia aumenta.

Gran variación de temperatura => gran variación de la resistencia

Si se utilizan bobinas resistivas de diferentes longitudes se obtendrán aumentos grandes y pequeños de las resistencias. Por tanto, podemos decir:

Gran resistencia de partida => gran variación de la resistencia

Como los diversos materiales tienen diferentes estructuras cristalinas los aumentos de la resistencia eléctrica al variar la temperatura también serán diferentes. El valor que da información sobre la variación de la resistencia de un determinado material se llama **coeficiente de temperatura α** . Se refiere a una resistencia de 1Ω y una variación de temperatura de $1K$. La variación de temperatura se indica siempre en K (también en las variaciones de temperaturas en $^{\circ}C$).

El coeficiente de temperatura es la variación de la resistencia de un conductor de 1Ω debida a una variación de temperatura de $1K$.

Recopilando lo anterior resulta:

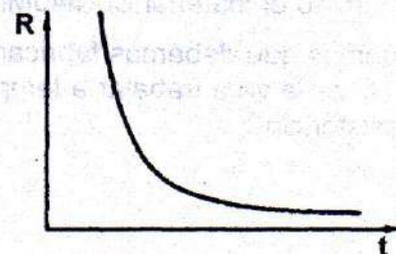
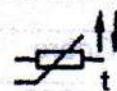
La variación de resistencia es tanto mayor

- cuanto mayor es la resistencia
- cuanto mayor es la variación de la temperatura
- cuanto mayor es el coeficiente de temperatura.

Hasta aquí hemos investigado lo que ocurre con los metales. Existen otros muchos materiales que muestran un comportamiento similar. Sin embargo, también existen otra serie de materiales (por ejemplo, el carbón, los semiconductores) que se comportan precisamente al revés, pues su resistencia disminuye al aumentar la temperatura. Una explicación de este fenómeno requiere no obstante conocimientos que se salen del margen de esta obra.

Estas sustancias se denominan conductores en caliente o **termistores**, y su coeficiente de temperatura es negativo.

Termistor
no lineal



Característica de un
termistor

Los conductores en caliente son materiales que conducen mejor en caliente que en frío

Comparación entre conductores en frío y en caliente

Conductores en frío

- conducen mejor en frío
- tienen un coeficiente de temperatura positivo
- también se llaman resistencia CTP (coeficiente de temperatura positivo)

Conductores en caliente

- conducen mejor en caliente
- tienen un coeficiente de temperatura negativo
- también se llaman resistencias CTN (coeficiente de temperatura negativo)

El significado de las dos flechas del esquema puede recordarse fácilmente sabiendo que

- Las variaciones de temperatura y resistencia son del mismo signo
↑↑
- Las variaciones de temperatura y resistencia son de distinto signo
↑↓

En algunos componentes especiales se emplean ambas propiedades para regular. En estos casos se utilizan materiales que presenten una dependencia alínea entre la temperatura y la resistencia para poder provocar una conmutación a determinadas temperaturas.

Combinando materiales CTP y CTN se obtienen materiales resistivos con coeficientes de temperatura extraordinariamente pequeños, de tal modo que el valor de la resistencia prácticamente no varíe. La tabla 3.2 contiene los coeficientes de temperatura de algunos materiales de gran importancia en la técnica.

Tabla 3.2: Coeficientes de temperatura de materiales a una temperatura de partida de 20°C.

Materiales	Hierro	Estaño	Plomo	Zinc	Oro	Platino
A en 1/°K	0,005	0,0046	0,0042	0,0042	0,004	0,004

Materiales	Plata	Cobre	Aluminio	Latón	Constantán	Carbón
A en 1/°K	0,004	0,0039	0,0036	0,0015	0,00004	-0,00045

Vamos a aclarar ahora los efectos de un pequeño aumento de la resistencia tomando como ejemplo el material CuNi45Mn1, también conocido como constantán.

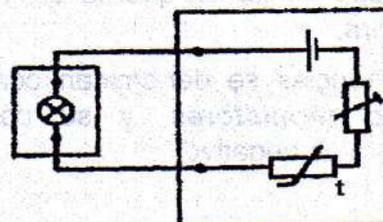
Supongamos que debemos fabricar una resistencia de constantán con un valor de 1 kΩ, y que al utilizarla va a trabajar a temperaturas de hasta 200 °C. ¿Cuánto vale el incremento de la resistencia?

$$R_{20} = 1 \text{ k}\Omega$$

$$T_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 200 \text{ }^\circ\text{C} \quad \text{entonces} \quad \Delta T = T_2 - T_1 = 180 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$\alpha = 0,00004 \text{ 1/}^\circ\text{k}$$



$$\Delta R = R_{20} \cdot \Delta T \cdot \alpha$$

$$\Delta R = 1000 \Omega \cdot 180 \text{ }^\circ\text{K} \cdot 0,00004 \text{ } 1/^\circ\text{K}$$

$$\Delta R = 7,2 \Omega$$

Por lo tanto, el valor de la resistencia R_t después del calentamiento será:

$$R_t = R_{20} + \Delta R$$

$$R_t = 1000 \Omega + 7,2 \Omega$$

$$R_t = 1007,2 \Omega$$

El valor de la resistencia ha aumentado despreciablemente (sólo un 0,72 %). Este aumento está muy por debajo de las tolerancias usuales del 5 % o del 10%.

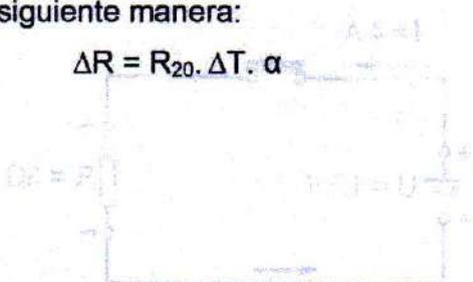
Si no conocemos la variación de la resistencia sino la variación de la temperatura, podemos calcular R_t de la siguiente manera:

$$R_t = R_{20} + \Delta R$$

$$\Delta R = R_{20} \cdot \Delta T \cdot \alpha$$

$$R_t = R_{20} + R_{20} \cdot \Delta T \cdot \alpha$$

$$R_t = R_{20} \cdot (1 + \Delta T \cdot \alpha)$$



Ejercicios

- El devanado de cobre de un motor presenta una resistencia de $1,2 \Omega$ a la temperatura ambiente.
¿Cuánto vale la resistencia cuando el motor está caliente ($80 \text{ }^\circ\text{C}$)?
- Una línea aérea de aluminio presenta a $28 \text{ }^\circ\text{C}$ una resistencia de $1,86 \Omega$.
a) ¿Cuánto vale la resistencia a $20 \text{ }^\circ\text{C}$?
b) ¿Cuánto vale la resistencia a $-20 \text{ }^\circ\text{C}$?
- Los termómetros de resistencia eléctrica se utilizan también para efectuar medidas eléctricas de temperatura. Fundamentalmente se componen, por ejemplo, de una resistencia de platino cuya variación de resistencia con la temperatura sirve para medir ésta. La resistencia a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ vale 105Ω .
¿A qué temperatura tiene un valor de 136Ω ?
- Explicar por qué en las proximidades del cero absoluto los conductores apenas presentan resistencia.
- ¿En qué se diferencian las resistencias CTP de las CTN cuando varía su resistencia al aumentar la temperatura?
- Una resistencia CTN con $\alpha = -0,004 \text{ } 1/\text{K}$ vale 182Ω a $-20 \text{ }^\circ\text{C}$. ¿Qué valor presenta a $+20 \text{ }^\circ\text{C}$?

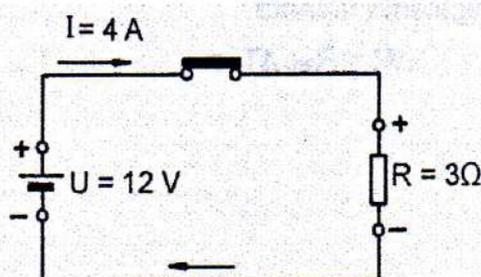
ANALISIS DE CIRCUITOS EN SERIE, PARALELO Y MIXTO

Un circuito eléctrico básico consta de tres partes fundamentales:

- Un generador o fuente de tensión, que puede ser una batería, un alternador, un enchufe, etc.
- Un receptor o resistencia de carga, que puede ser una lámpara, un motor, una resistencia, etc.
- Unos conductores que unen entre si a estos elementos

Además el circuito puede tener un interruptor para permitir impedir el paso de la corriente.

La figura muestra el esquema de un circuito elemental en el que un solo generador alimenta a un receptor.



Fíjese como las flechas señalan la dirección de la corriente, que sale del generador por su borne + y entra en el mismo por su borne -. Vea que en el receptor se denomina borne + al borne por el que entra la corriente y borne - al de la salida, o sea, al revés que en el generador.

En este circuito elemental, podemos calcular el valor de la intensidad que circula por él mediante la ley de Ohm si conocemos la tensión en bornes del generador y el valor de la resistencia del receptor.

En esa figura, si los valores de la tensión y la resistencia son los indicados, la intensidad será la indicada, pues:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{12 \text{ V}}{3 \Omega} = 4 \text{ A}$$

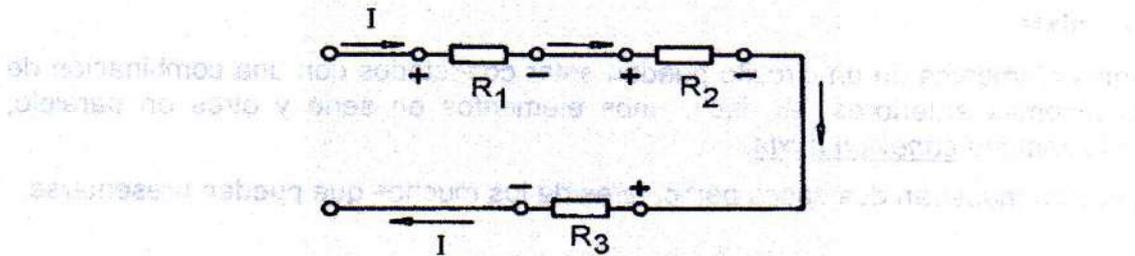
Pero en la práctica, los circuitos suelen ser bastante más complejos, pues un solo generador, a veces varios generadores a la vez, alimentan a más de un receptor.

En estos casos, los elementos del circuito, tanto generadores como receptores, pueden estar conectados entre sí de tres maneras distintas, en serie, en paralelo y mixto (combinación de conexión en serie y paralelo)

Conexión en serie

A una fuente de tensión pueden conectarse varias cargas (resistencias) eléctricas, entendiendo ahora por carga un dispositivo que consuma energía. Una de las posibilidades es conectarlas en serie, hecho no demasiado frecuente en la práctica. Sin embargo, un ejemplo muy conocido de conexión en serie es la guirnalda de luces (iluminaciones navideñas).

En la conexión en serie, los elementos del circuito se conectan uno a continuación del otro, de manera que el punto por el que sale la corriente de un elemento está unido por el punto por el que entra la corriente en el receptor siguiente. La corriente solo puede seguir un camino único.

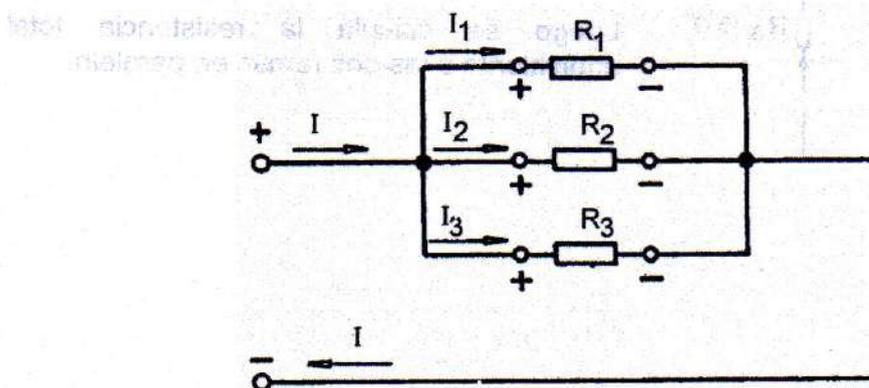


En la figura se presentan el caso de conexión en serie de tres resistencias. En ella se puede observar las propiedades de todo circuito acoplado en serie:

- En la conexión en serie, todos los elementos del circuito son atravesados por la misma intensidad de corriente.
- En la conexión en serie, se conectan el borne - de cada receptor al borne + del siguiente receptor

Conexión en paralelo

Para conectar elementos en paralelo (generadores ó receptores) se conectan a un punto común todos los bornes +, ese punto común será el borne + del conjunto, y todos los bornes - se conectan a otro punto que será el borne - del conjunto. La figura muestra la conexión en paralelo de tres resistencias.



Las dos propiedades fundamentales de la conexión en paralelo son:

- En la conexión en paralelo, todos los elementos conectados están a la misma tensión.
- En la conexión en paralelo, se conectan todos los bornes + en un borne + común y todos los bornes - en un borne - común.

La intensidad que sale del generador, se reparte luego por cada uno de los elementos, de forma que la intensidad total que circula por el circuito es igual a la suma de las intensidades parciales que circulan por cada elemento.

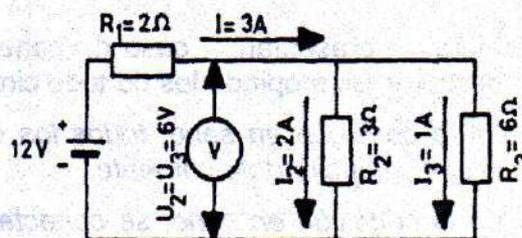
Conexión mixta

Los distintos elementos de un circuito pueden estar conectados con una combinación de los dos sistemas anteriores, es decir, unos elementos en serie y otros en paralelo, formando la llamada conexión mixta.

En la figuras se muestran dos casos particulares de los muchos que pueden presentarse.

El circuito de la figura de al lado derecho representa un circuito que tiene una resistencia en serie R_1 con una combinación de dos resistencias en paralelo R_2 y R_3 .

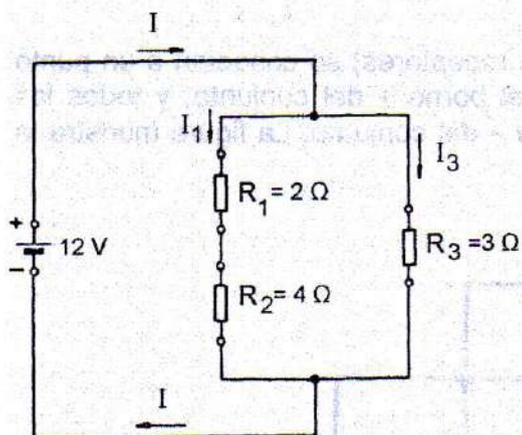
Para calcular la resistencia total se calcula primero la resistencia equivalente de las dos resistencias en paralelo, y a esta resistencia equivalente se le sumará la resistencia en serie.



El circuito de al lado izquierdo representa otro circuito con conexión mixta.

En este caso se calcula primero la resistencia total de la rama que contiene a las dos resistencias en serie R_1 y R_2 .

Luego se calcula la resistencia total equivalente a las dos ramas en paralelo.



COMPORTAMIENTO DE LA RESISTENCIA, TENSIÓN E INTENSIDAD EN CADA UNA DE ELLAS

CIRCUITOS ELECTRICOS

Una de las partes más importantes del estudio de la electricidad son los circuitos eléctricos. Como se conectan y comportan. Éstos son: circuito serie y circuito paralelo. (El circuito mixto es una combinación del circuito serie y paralelo)

CIRCUITO SERIE

Cuando los aparatos eléctricos o resistencias se conectan unos a continuación de otros de modo que por todos pase la misma intensidad de corriente. Es decir, que la corriente que por ellos circulan solamente pueden pasar por un mismo camino; se tiene resistencias conectadas en circuito serie.

CARACTERÍSTICAS DEL CIRCUITO SERIE:

1.- Cuando se instalan en el circuito **RESISTENCIAS** en serie. La resistencia total del circuito es la suma de todas las resistencias.

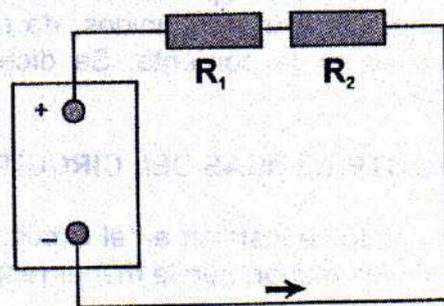
Ejemplo:

$$R_1 + R_2 = R_t$$

Donde:

R_1 y R_2 : Resistencias parciales

R_t : Resistencia total del circuito



2.- La **TENSIÓN** de la fuente se divide en cada una de las resistencias parciales. La tensión dividida en cada una de las resistencias parciales; dependerá del valor de cada una de las resistencias. Cuanto más alta la resistencia, mayor es la tensión dividida o caída de tensión, Cuanto más baja la resistencia menor es la caída de tensión. Por tanto la suma de las tensiones caídas es igual a la tensión de la fuente. (Segunda ley de Kirchhoff)

Ejemplo:

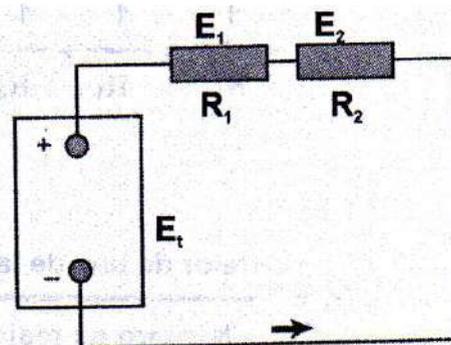
$$E_1 + E_2 = E_t$$

Donde:

E_1 : caída de tensión en R_1

E_2 : caída de tensión en R_2

E_t : tensión total (tensión de la fuente)



3.- La **INTENSIDAD** de corriente (amperaje); que circula por el circuito es única. Es decir la corriente que atraviesa por la resistencia 1, es la misma corriente que atraviesa por la resistencia 2. Inclusive ésta misma corriente atraviesa la fuente.

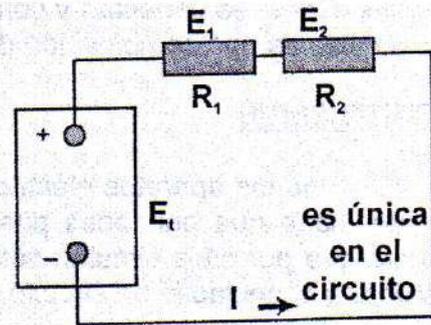
Para hallar la intensidad del circuito se debe dividir la resistencia total entre la tensión de la fuente.

Ejemplo:

$$I = \frac{E_t}{R_t}$$

Donde:

- I : Intensidad única que circula por el circuito
- E_t : Tensión total (tensión de la fuente)
- R_t : Resistencia total



CIRCUITO PARALELO

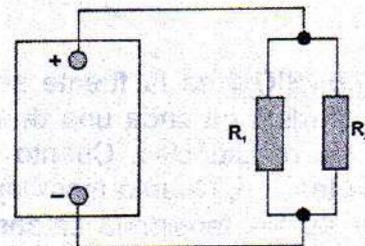
Cuando los aparatos eléctricos o resistencias se conectan lado a lado o una junto a otra con los extremos unidos; de modo que proporcionen más de un camino para que pueda pasar la corriente. Se dice que las resistencias están conectadas en circuito paralelo.

CARACTERÍSTICAS DEL CIRCUITO PARALELO:

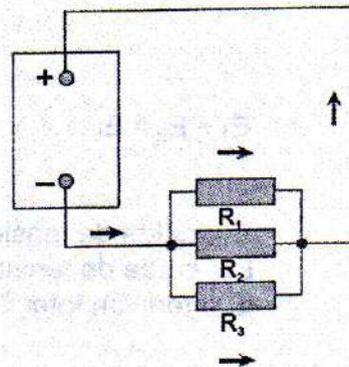
1.- Cuando se instalan en el circuito **RESISTENCIAS** en paralelo. La resistencia total del circuito, es menor, que la menor resistencia parcial del circuito.

Ejemplo:

a)
$$R_t = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$



b)
$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$



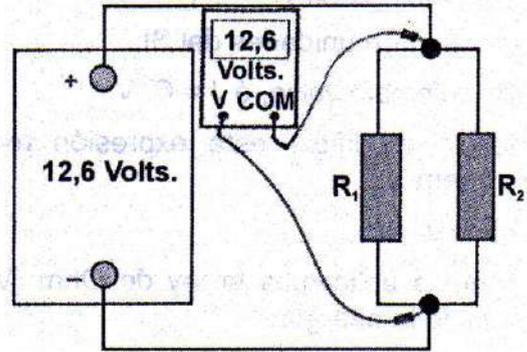
c)
$$R_t = \frac{\text{Valor de una de las resistencias}}{\text{Número de resistencias}}$$

NOTA: Ambas fórmulas del ejemplo a y b son aplicables para hallar la resistencia del circuito paralelo. La fórmula c se aplica cuando todas las resistencias del circuito son del mismo valor.

2.- La **TENSIÓN** de la fuente. Aplicada al circuito en paralelo, es la misma en todas las resistencias (considerando despreciable la caída de tensión en los conductores).

Ejemplo:

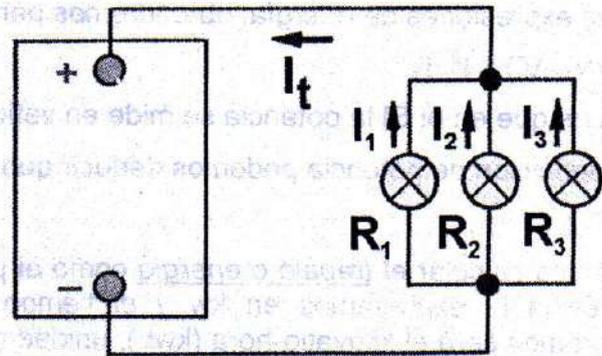
R_1 y R_2 : reciben tensión de la Fuente (12,6 V)



3.- La **INTENSIDAD** de corriente (amperaje), que circula por la fuente, es la suma de todas las intensidades parciales. Es decir la intensidad que atraviesa la resistencia 1, 2 y 3 se suman para luego atravesar la fuente y desde ahí volver a distribuirse por cada una de las resistencias parciales. (Primera ley de Kirchhoff)

Ejemplo:

$$I_t = I_1 + I_2 + I_3$$



NOTA: El valor de la intensidad que atraviesa por cada una de las resistencias parciales, dependerá del valor de su respectiva resistencia. Es decir por la resistencia de menor valor la intensidad será mayor y por la resistencia de mayor valor la intensidad será menor

ENERGIA Y POTENCIA

ENERGÍA Y POTENCIA DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA

En los circuitos eléctricos, el generador realiza un trabajo sobre cada carga para mantener la intensidad de corriente. La energía que el generador proporciona es igual al trabajo que realiza.

Su expresión será: $W = q \cdot (V - V')$.

Expresado en unidades del SI:

julio = culombio.voltio, ó $J = C \cdot V$

Podemos modificar esta expresión recordando que $I = q/t$, de donde $q = I \cdot t$, y obtendremos:

$$W = I \cdot t \cdot (V - V')$$

Si además aplicamos la ley de Ohm ($V - V' = I \cdot R$), nos queda otra expresión para el cálculo de la energía:

$$W = I \cdot t \cdot I \cdot R$$

$$W = I^2 \cdot R \cdot t$$

Estas expresiones son importantes para la resolución de ejercicios.

La potencia de la corriente eléctrica se define como el trabajo realizado por unidad de tiempo:

$$P = W/t$$

Con las expresiones de energía, obtendremos para la potencia las siguientes:

$$P = I \cdot (V - V') = I^2 \cdot R$$

Sabemos que en el SI la potencia se mide en vatios (W).

De la definición de potencia podemos deducir que.

$$W = P \cdot t$$

y podemos calcular el trabajo o energía como el producto de la potencia por el tiempo. Si la potencia la expresamos en kw y el tiempo en horas, la unidad de energía que obtendremos será el kilovatio-hora (kwh), unidad que suele emplearse habitualmente para medir la energía eléctrica consumida en nuestras casas.

EFEECTO JOULE

Cuando la corriente eléctrica atraviesa un circuito, sus elementos se calientan. Es lo que llamamos efecto calorífico de la corriente eléctrica.

Esto es debido a que los electrones que circulan por el conductor chocan con el resto del material y parte de su energía cinética (de movimiento) se transforma en energía térmica, que se libera en forma de calor.

Algunos aparatos eléctricos, como una plancha o una estufa, están contruidos con conductores de gran resistencia, de manera que cuando la corriente eléctrica circula por ellos experimentan un gran calentamiento, que es para lo que están diseñados.

El fenómeno por el cual en un conductor se transforma la energía eléctrica en calor se denomina **efecto Joule**.

A partir de la expresión de energía obtenida anteriormente: $W = I^2 \cdot R \cdot t$ podemos calcular la energía calorífica transformada.

Tradicionalmente, el calor se mide en calorías.

Teniendo en cuenta la relación entre esta unidad y la unidad de energía en el SI: 1 julio = 0,24 calorías, obtendremos la expresión que nos permite calcular el calor desprendido por efecto Joule:

$$Q = 0,24 \cdot R \cdot I^2 \cdot t$$

EJERCICIO

Una plancha eléctrica está conectada a la red de 220 V y consume 1 kW de potencia. ¿Qué intensidad pasará por el circuito? ¿Cuál es la resistencia de la plancha? ¿Cuál será el costo de funcionamiento de la plancha durante 12 horas si el kwh cuesta 15 pesetas?

¿Qué calor desprenderá la plancha funcionando durante media hora?

Solución:

De la plancha conocemos su potencia: $P = 1000W$

Diferencia de potencial es $V - V' = 220 V$.

Si $P = V I$, luego el valor de la intensidad será:

$$I = P/V = 1000 W / 220 V = 4,5A.$$

Para el cálculo de la resistencia aplicaremos la ley de Ohm: $V - V' = I \cdot R$, siendo $R = V - V' / I = 220V / 4,5A = 48,9 \Omega$

El costo de funcionamiento lo calcularemos a partir de la energía consumida:

$$W = P \cdot t = 1 kW \cdot 12 h = 12 Kwh$$

$$12 Kwh \cdot 15ptas / 1 kWh = 180 Ptas.$$

El calor desprendido es $Q = 0,24 \cdot R \cdot I^2 \cdot t$, con todas las unidades en el SI:

$$Q = 0,24 \times 4,5^2 \times 48,9 \times 1800 = 427 777 \text{ cal} = 427,8 \text{ kcal.}$$

LA ELECTROSTATICA

Definición

Es la parte de la física que estudia los fenómenos de la electricidad estática presente en los cuerpos.

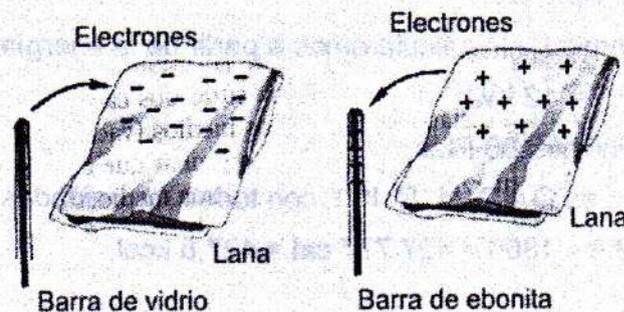
Hace unos 2500 años, un sabio griego llamado tales de Mileto comprobó que el ámbar, una resina de color amarillo, frotado con un trozo de lana, es capaz de atraer cuerpos ligeros, como papelitos, plumas, etc. El ámbar, llamado "elektron" en griego, había adquirido al frotarlo algo que se llamo "electricidad". Muchos siglos más tarde, se comprobó que otras muchas sustancias se comportan como el ámbar, es decir, se electrizan al ser frotadas.

El fenómeno citado anteriormente habrás podido observarlo en diferentes ocasiones. Un bolígrafo de plástico frotado en un jersey atrae trocitos de papel. Cuando te peinas con un peine de plástico, al pasarlo varias veces por el pelo, el peine y los cabellos se electrizan.

Para explicar estos fenómenos, hemos de saber que la materia está formada por partículas pequeñísimas llamadas átomos. La estructura del átomo nos explica la naturaleza de la electricidad. Recordemos que un átomo consta de un núcleo, donde hay protones, con carga positiva, y neutrones, sin carga, y de una corteza con electrones, que tienen carga negativa y que giran alrededor del núcleo. En estado normal, el número de protones es igual al de electrones.

Al frotar dos cuerpos de materiales diferentes, se arrebatan electrones del uno al otro, por lo que uno queda con carga eléctrica positiva, porque ha perdido electrones, y el otro queda cargado negativamente, porque gana electrones.

Vamos a comprobar que hay dos tipos de electrización (ver figura abajo). Al frotar con un trozo de lana una barra de vidrio, ésta es capaz de ceder electrones a la lana y se carga positivamente. Si cambiamos la barra y utilizamos una de ebonita (una materia sólida de color negro obtenida del caucho), es la lana la que cede electrones, y la barra queda cargada negativamente.

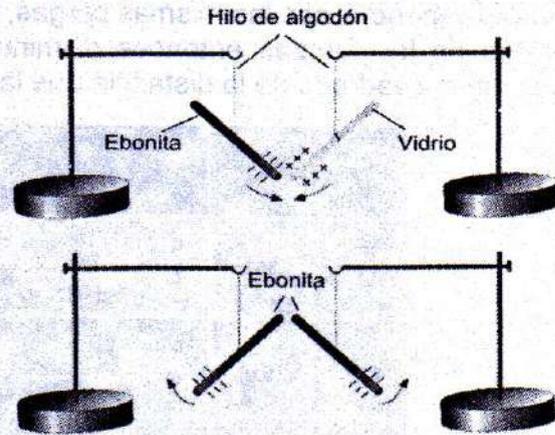


De esta manera se clasifican los materiales: los que se comportan como el vidrio, decimos que quedan cargados positivamente, y los que se comportan como la ebonita, que quedan cargados negativamente.

Si utilizamos una barra metálica, no conseguiremos atraer trocitos de papel. Los metales también se electrizan, pero su estructura permite que los electrones circulen fácilmente a través del metal y no quedan localizados en una zona concreta.

Las sustancias que se comportan como los metales se llaman conductores. El cuerpo humano o la tierra son conductores. Las sustancias como el vidrio, la ebonita o los plásticos se llaman aislantes o dieléctricos.

Observa la figura de al lado. Si colgamos de un hilo una barra de ebonita, cargada, por su punto medio, y hacemos lo mismo con una barra de vidrio, al acercarnos veremos que se atraen. En cambio, si las dos barras cargadas son del mismo material, por ejemplo, dos barras de ebonita, observaremos que se alejan.



De esta experiencia deducimos que las cargas de distinto signo se atraen, y las del mismo signo se repelen.

UNIDAD DE CARGA ELÉCTRICA

La unidad natural es la carga de un electrón, pero es una unidad demasiado pequeña para ser utilizada en la práctica. En el Sistema Internacional la unidad de carga es el culombio (C), en honor del ingeniero y científico francés Charles Augustin de Coulomb (1736-1806), que realizó importantes investigaciones en el campo de la electrostática. La definición completa del culombio se desarrollará en el tema siguiente, por lo que ahora sólo señalaremos su equivalencia con la unidad natural. Un culombio equivale a la carga de $6,3 \times 10^{18}$ electrones. Se utilizan también con frecuencia el miliculombio (mC), cuyo valor es $1 \text{ mC} = 10^{-3}\text{C}$ y el microculombio (μC), que vale $1 \mu\text{C} = 10^{-6}\text{C}$

LEY DE COULOMB

Con las experiencias anteriores, podemos llegar a la siguiente conclusión: si un cuerpo cargado es capaz de atraer o repeler a otros, es porque ejerce una fuerza sobre éstos. Esta fuerza la llamaremos fuerza eléctrica. Hay que señalar que esta fuerza actúa a distancia.

Coulomb fue el primer científico que midió las fuerzas de atracción o repulsión entre dos pequeñas esferas cargadas, mediante distintas experiencias.

Primera experiencia: colocó cargas diferentes separadas siempre a la misma distancia (ver figura abajo); al aumentar las cargas, constató que las fuerzas aumentan de forma proporcional al producto de éstas.

q	q'	q x q'	F	
1 u	1 u	1	5 u	
1 u	2 u	2	10 u	
2 u	2 u	4	20 u	

Segunda experiencia: con las mismas cargas, aumentó la distancia entre ellas (ver figura); los valores de las fuerzas entonces disminuyen, y el valor obtenido es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa.

d	F	
1 u	36 u	
2 u	9 u	
3 u	4 u	

Tercera experiencia: situó dos cargas a la misma distancia en distintos medios (vacío, aire, agua, aceite, etc.), y pudo comprobar que el valor de la fuerza era diferente para cada medio.

Con estos resultados, Coulomb enunció la ley que lleva su nombre: la fuerza de atracción o repulsión entre dos cuerpos cargados es directamente proporcional al producto de las cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa, y depende del medio en el que están situadas. Su expresión matemática es: $F = K \frac{q_1 \times q_2}{d^2}$

(q_1 y q_2 = los valores de las cargas)

(d = distancia que las separa)

(K = constante que depende del medio)

El valor de la constante K en el vacío y en el aire, en unidades del Sistema Internacional, es: $9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$.

Esta ley es válida para cuerpos electrizados con unas dimensiones muy pequeñas en comparación con la distancia que los separa, y las cargas de esos cuerpos podemos considerarlas concentradas en un punto: las llamaremos cargas puntuales.

EJERCICIOS

1. Dos cargas puntuales de $2 \mu\text{C}$ y $5 \mu\text{C}$ están situadas en el aire a 10 cm. de distancia. Calcular la fuerza con que se repelen.

Solución: Expresaremos los datos en unidades SI:

Datos

$q_1 = 2 \mu\text{C} = 2 \times 10^{-6} \text{ C}$

$q_2 = 5 \mu\text{C} = 5 \times 10^{-6} \text{ C}$

$d = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$

$K = 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$

$$F = K \frac{q_1 \times q_2}{d^2} = 9 \times 10^9 \cdot \frac{2 \times 10^{-6} \times 5 \times 10^{-6}}{0,1^2}$$

$F = 9 \text{ N}$

Las cargas se repelen con una fuerza de 9 newtons.

2. Una carga de $4 \mu\text{C}$ atrae a otra carga situada en el vacío a 25 cm. de distancia, con una fuerza de 3 N. Calcular el valor de la carga.

Solución:

Datos

$$q_1 = 4 \mu\text{C} = 4 \times 10^{-6} \text{ C}$$

$$d = 25 \text{ cm.} = 0,25 \text{ m}$$

$$F = 3 \text{ N}$$

En la expresión de la ley de Coulomb, despejaremos el valor de la carga:

$$q_2 = \frac{F d^2}{K q_1} = \frac{3 \times 0,25^2}{9 \times 10^9 \times 4 \times 10^{-6}}$$

$$q_2 = 5,2 \times 10^{-6} \text{ C}$$

$$q_2 = 5,2 \mu\text{C}$$

El valor de la carga es de $5,2 \mu\text{C}$, y puesto que las dos cargas se atraen, tiene que ser una carga de signo contrario, es decir: $- 5,2 \mu\text{C}$.

3. Una carga de $- 5 \times 10^{-4} \text{ C}$ y otra de $+4 \times 10^{-5} \text{ C}$ se atraen con una fuerza de 5 N. Calcular la distancia a la que se encuentran.

Solución: Despejaremos el valor de la distancia en la fórmula:

Datos:

$$q_1 = 2 \mu\text{C} = - 5 \times 10^{-4} \text{ C}$$

$$q_2 = 5 \mu\text{C} = + 4 \times 10^{-5} \text{ C}$$

$$F = 5 \text{ N}$$

$$K = 9 \times 10^9 \text{ N. m}^2/\text{C}^2$$

$$d^2 = K \frac{q_1 \times q_2}{F} = 9 \times 10^9 \cdot \frac{5 \times 10^{-4} \times 4 \times 10^{-5}}{5}$$

$$d^2 = 36$$

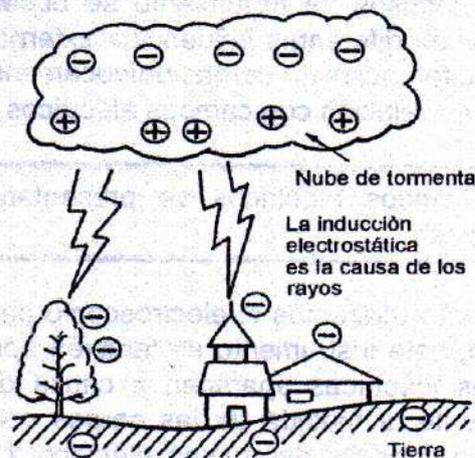
$$d = 6 \text{ m.}$$

Las dos cargas están situadas a 6 metros de distancia.

CAMPO ELÉCTRICO, PROPIEDADES, APLICACIONES

Fenómenos básicos con campos eléctricos

La figura muestra un fenómeno de la naturaleza, componentes electrónicos y cables blindados, respectivamente. En principio parecen no tener nada en común, pero no obstante en todas ellas el campo eléctrico desempeña un importante papel.



Estos fenómenos y los campos de aplicación indicados sólo son un par de ejemplos. Aún no podemos efectuar una explicación exacta de las relaciones físicas, pues debemos estudiar en primer lugar los conceptos básicos necesarios.

Para lograr una comprensión exacta del campo eléctrico y una manipulación correcta de los aparatos técnicos correspondientes nos servirán los apartados siguientes.

Causas y efectos de los campos eléctricos

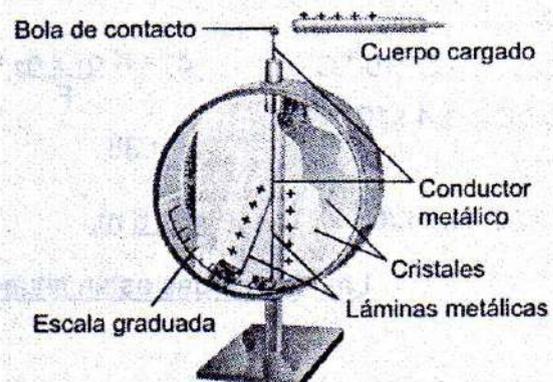
Ya hemos tratado brevemente en electricidad estática los fenómenos eléctricos básicos relacionados con campos eléctricos. Mediante frotamiento obtuvimos una separación de cargas. Estas cargas en reposo influyen sobre el espacio colindante, con lo que aparecía una zona en la que actuaban fuerzas sobre otras cargas eléctricas.

El campo eléctrico es un espacio en el que actúan fuerza sobre cargas eléctricas.

Según el tipo o signo de la carga aparece una atracción o una repulsión. Las cargas eléctricas son siempre la causa de los campos eléctricos.

Las cargas dan lugar a campos eléctricos.

El estado de carga de un determinado objeto puede ponerse de manifiesto mediante un electroscopio. Cuando se toca con el objeto cargado el terminal superior del electroscopio algunas cargas se desplazan a la aguja móvil (ver figura adjunta). Como sobre la varilla fija se encuentran también cargas del mismo signo se producirá una repulsión.



En los procesos de frotamiento se obtienen siempre diferentes cantidades de cargas debido a las diferentes influencias externas. En cambio las fuentes de tensión permiten obtener diferencias de cargas unívocamente determinadas. Las tensiones eléctricas están siempre en relación con campos eléctricos.

Los campos eléctricos se presentan siempre que existen tensiones eléctricas.

Hasta ahora utilizamos el electroscopio para medir cantidades de carga en un objeto. Sin embargo, este instrumento es también apropiado para la medida de tensiones, pues las tensiones eléctricas aparecen a causa de una separación de cargas. Si observamos atentamente la medida de las cargas con el electroscopio nos daremos cuenta de un fenómeno especial del campo eléctrico. La aguja del instrumento Indicador se desviará antes de que toquemos el electrodo de contacto. La desviación de la aguja es tanto mayor

cuanto menor es la distancia entre la varilla cargada y el electrodo del electroscopio. ¿Cómo podemos explicar este fenómeno?

Toda carga da lugar a un campo eléctrico a su alrededor. Cuando en este campo se encuentren otras cargas aparecerán fuerzas sobre ellas. Como el electrodo de contacto es de metal, en él se halarán electrones libres, o sea cargas.

El campo eléctrico que se forma alrededor de la varilla (el origen de este campo son cargas negativas) repele a los electrones del electrodo (ver figura adjunta).

Por tanto, se producirá un desplazamiento de cargas que quedará indicado por el Instrumento de medida. Este fenómeno se denomine **influencia electrostática**.

La influencia eléctrica es una modificación de la distribución de cargas debida a la acción de campos eléctricos.

Gracias a la Influencia podemos explicar el por qué podemos atraer materiales descargados con objetos cargados. Como ejemplos nos servirán los experimentos descritos en las figuras a y b.

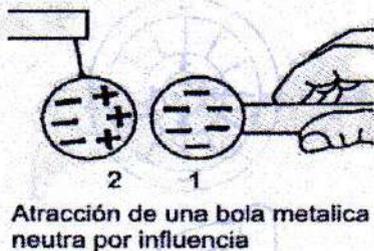
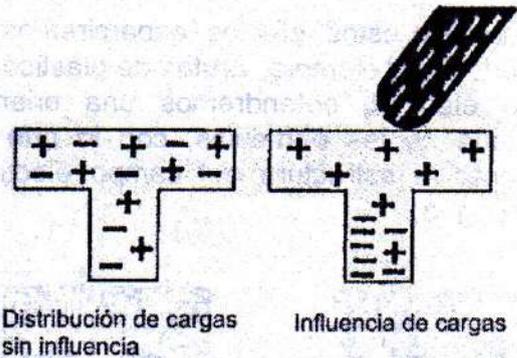


Figura a



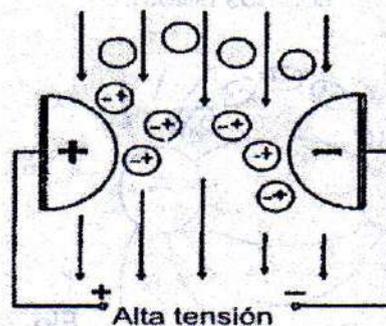
Figura b

En la figura a se aproxima una bola 1 cargada negativamente a otra bola neutra 2. Los electrones libres de la bola 2 serán repelidos con lo que aparecerá un desequilibrio de cargas. Entre la mitad positiva de la bola 2 y la bola negativa 1 aparecerá una atracción.

La varilla cargada negativamente (Fig. b) provocará un desplazamiento de las cargas en los recortes de papel, neutros en conjunto, con lo que el punto de contacto se volverá positivo y dará lugar a una atracción.

La polarización de la materia provocada por campos eléctricos se aprovecha en los filtros de aire electrostáticos (ver figura).

La corriente de aire que contiene partículas de polvo se lleva a través de un campo eléctrico, donde se obtiene una polarización de las partículas, que se depositan sobre los electrodos. De este modo se consigue limpiar la corriente de aire.



Formas del campo eléctrico

Los campos eléctricos modifican las propiedades del espacio colindante. Sin embargo, no poseemos órganos sensoriales para percibir esta modificación. Sólo podemos reconocer sus efectos y de modelos a partir de ellos.

Para probar estos efectos esparciremos entre los electrodos, por ejemplo, virutas de plástico. Debido al campo eléctrico obtendremos una orientación de terminada de las partículas, con lo que podremos reconocer la estructura del campo eléctrico en un plano (Fig. a).

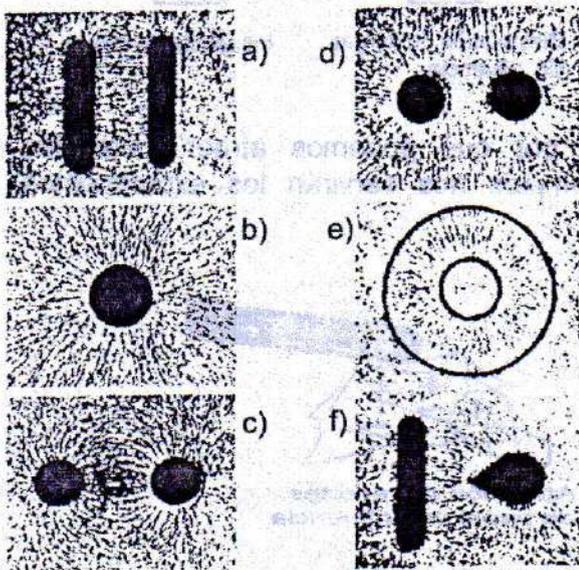


Fig. a Proyecciones de diversos campos

Las virutas se orientan simplemente porque el campo eléctrico modifica la distribución de las cargas en ellas. La influencia da lugar a que las cargas positivas y negativas dejen de estar repartidas uniformemente. La figura c muestra una cadena de virutas entre dos electrodos. Cada partícula se ha convertido en un dipolo (partícula con dos polos).

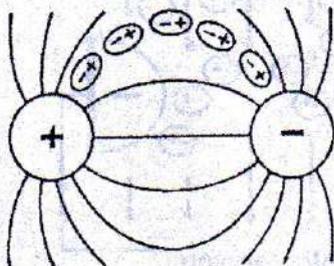


Fig. c Cadena de virutas polarizadas en un campo eléctrico

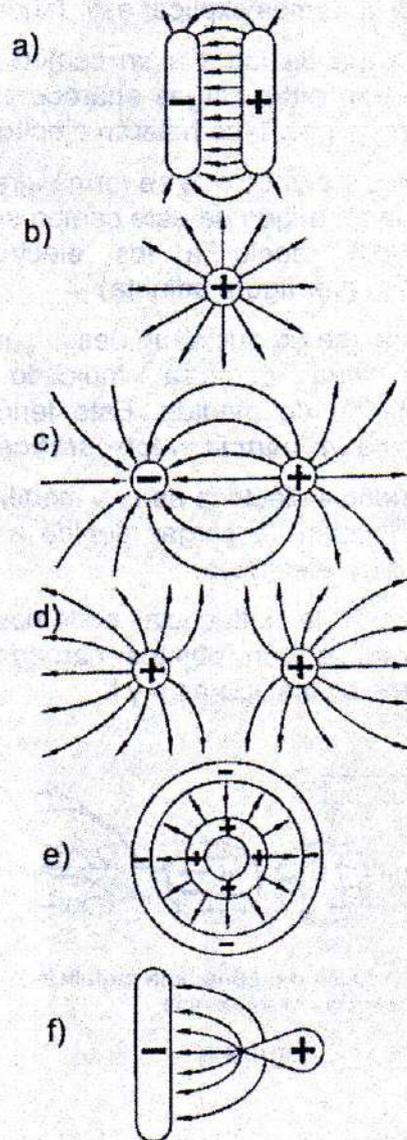


Fig. b Diagramas de líneas de campo entre diversos electrodos

Las curvas descritas por las partículas se denominan líneas de campo, y nos permiten hacernos una idea o modelo de la estructura del campo eléctrico. En los párrafos que siguen las utilizaremos para representar y explicar los efectos de los campos eléctricos.

De la figura a hemos obtenido los esquemas de la figura b, que nos dan una representación simplificada de la estructura del campo eléctrico. Además las líneas de campo presentan un determinado sentido. Hemos determinado que discurran del electrodo positivo a electrodo negativo, incidiendo perpendicularmente en ambos.

Las líneas del campo eléctrico tienen un sentido, que va del polo positivo al polo negativo.

A partir de los diagramas de las líneas de campo pueden sacarse más conclusiones sobre las Leyes que rigen el campo eléctrico. Para ello vamos a observar dos superficies de igual tamaño en dos campos eléctricos diferentes (figuras d y e).

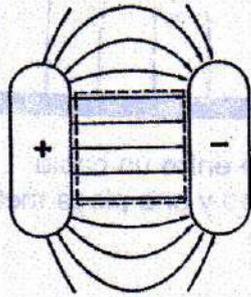


Fig. d Campo homogéneo

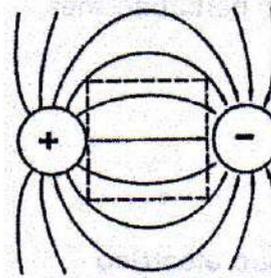


Fig. e Campo inhomogéneo

En la superficie del campo encuadrada en la figura d las líneas de campo entre las dos placas discurren paralelamente. El campo es uniforme, con lo que también serán uniformes la acción de las fuerzas sobre cargas que se encuentren en esta zona. Decimos que el **campo es homogéneo**.

Si las líneas de campo discurren paralelamente y la separación entre todas ellas es la misma el campo es homogéneo.

En la figura e las líneas de campo no son paralelas. Por lo tanto el campo no será uniforme sino **inhomogéneo**.

Comparemos ahora el campo entre la punta y el electrodo plano de la figura e con la afirmación anterior; vemos que se trata de un campo inhomogéneo. Además junto a la punta las líneas de campo están mucho más próximas que en las cercanías del electrodo plano. Esto muestra que en esta zona, junto a la punta, el campo es más intenso que en el resto. En estos puntos es más fácil extraer electrones.

La distancia entre las líneas de campo es una medida de la intensidad del campo eléctrico.

Blindaje de campos eléctricos

En muchas instalaciones los campos eléctricos son nocivos, pues provocan por influencia un desplazamiento de cargas, y por tanto una tensión. Por este motivo es necesario realizar blindajes, para los que se emplea cualquier metal, por ejemplo cobre, hierro o aluminio. Los blindajes pueden ser chapas macizas, rejillas o mallas.

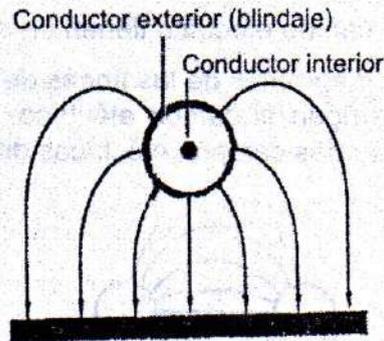
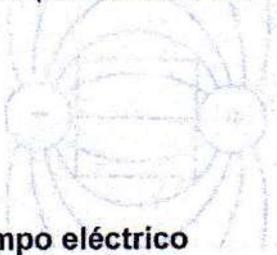
En una zona blindada con metal no hay campo.

¿Cómo podemos explicar este hecho?

Las líneas de campo empiezan en cargas positivas y termina en las negativas, por tanto tienen un principio y un final. Las cargas quedan ligadas unas con otras por las líneas de campo.

Para el blindaje es suficiente una rejilla de metal o la carrocería de un coche.

El efecto de blindaje de determinados cables está representado en la figura de al lado. De este modo se pueden transmitir señales sin perturbaciones.



Campo entre un cable blindado y una placa metálica

Intensidad del campo eléctrico

Para poder hacer afirmaciones exactas sobre campos eléctricos debemos introducir las magnitudes convenientes. Como el campo eléctrico ejerce unos determinados efectos, el valor de estos efectos, la intensidad del campo eléctrico, será una de las magnitudes buscadas.

La acción de las fuerzas sobre cargas se utiliza para determinar la intensidad del campo eléctrico.

Para demostrar estas relaciones es conveniente utilizar campos homogéneos, que son los que aparecen entre dos placas paralelas conectadas a una fuente de tensión. Este tipo de dispositivos se denominan condensadores planos.

Como el campo en el interior tiene la misma intensidad en todos los puntos (campo homogéneo, líneas paralelas a distancias iguales) también deberá ser uniforme la acción de las fuerzas.

Si en este campo introducimos una bola cargada su desviación (ver figura) nos mostrará la fuerza que actúa. Esta fuerza será tanto mayor cuanto mayor sea la carga.

Medidas más exactas darán como resultado una proporcionalidad directa:

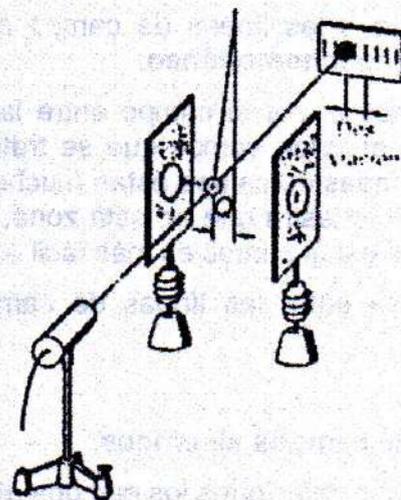
$$F \sim Q$$

Esta relación se puede transformar en una ecuación introduciendo una constante.

$$F = k \cdot Q$$

Despejando K de la formula obtenemos:

$$K = \frac{F}{Q}$$



Acción de una fuerza sobre cargas en un campo eléctrico

Esta fórmula nos indica que al ir aumentando la carga también aumentará la fuerza que actúa sobre ella. Por ejemplo, si duplicamos la carga obtendremos una fuerza doble. El cociente es siempre constante. Por tanto esta constante sólo depende del campo que dio lugar a la fuerza, y se denomina **intensidad del campo eléctrico**.

La intensidad del campo eléctrico indica cuánto vale la fuerza que actúa sobre una carga en un campo

$$E = \frac{F}{Q}$$

Intensidad del campo eléctrico
Símbolo E

La intensidad de campo en el condensador plano depende de su estructura y de la fuente de tensión conectada. Entre estas magnitudes y la intensidad de campo debe existir una relación.

- La intensidad del campo es directamente proporcional a la tensión (figura 11.19). Cuanto mayor sea ésta mayor será la intensidad de campo.

$$E \sim U$$

Esto resulta evidente si tenemos en cuenta que al aumentar la tensión también aumenta el número de cargas en las placas; y las cargas son la causa del campo.

- La Intensidad de campo decrece al aumentar la distancia entre las placas. Cuanto más largas son las líneas de campo, menor será la Intensidad de éste.

Una variación exacta nos muestra que la Intensidad del campo y la distancia entre placas son inversamente proporcionales.

$$E \sim \frac{1}{d}$$

La tensión y la separación entre placas determinan la intensidad del campo entre las placas del condensador. Si expresamos las dos proporcionalidades en una sola fórmula obtenemos:

$$E \sim \frac{U}{d}$$

La unidad de intensidad de campo eléctrico, como ya sabíamos de su definición general, es el newton/coulomb. No obstante, de la proporcionalidad del condensador plano obtenemos la unidad volt/metro. De momento ambas relaciones parecen diferentes, pero vamos a demostrar que son iguales.

Para iniciar la demostración partamos de que el trabajo mecánico es igual al trabajo eléctrico. La ecuación de unidades es: $1 \text{ V A s} = 1 \text{ Nm}$.

Despejando en esta ecuación 1 V/m y sustituyendo 1 A s por 1 C , obtenemos:

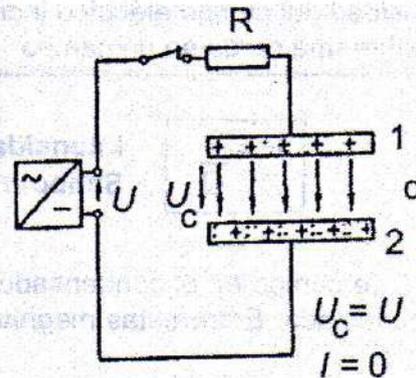
$$1 \frac{\text{V}}{\text{m}} = 1 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

La relación de proporcionalidad puede también escribirse en forma de ecuación, pues los valores numéricos coinciden. Obtenemos así una sencilla fórmula para calcular la intensidad de campo en el condensador plano.

La separación entre placas no se puede reducir a voluntad, pues podría producirse un arco voltaico. Cuando el campo eléctrico es muy intenso el aire deja de comportarse como aislante. La **rigidez dieléctrica** del aire vale aproximadamente 3,2 kV/mm, lo que significa que a una tensión de unos 3,2 kV y una separación de aproximadamente 1 mm se produce un arco voltaico.

$$E = \frac{U}{d}$$

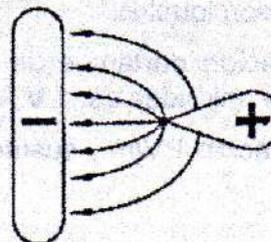
Intensidad de campo eléctrico
en el condensador plano



Condensador Plano cargado

Ejercicios

- ¿Cuál es la causa de los campos eléctricos?
- ¿Explicar el funcionamiento de un voltímetro electrostático?
- Las sustancias eléctricamente neutras pueden ser influenciadas por campos eléctricos. Explicar cómo, tomando como ejemplo una lámina de plástico.
- ¿Cuál es el sentido con el que se han definido las líneas de campo eléctrico?
- Dibujar el diagrama de las líneas de campo entre los siguientes electrodos:
 - Dos placas paralelas (una positiva y otra negativa).
 - El conductor de "ida" y el de "vuelta" de un circuito eléctrico.
 - Un cable positivo respecto a tierra (negativa).
- Explicar cuál es la diferencia entre los campos homogéneos y los no homogéneos
- Dibujar dos zonas de un campo eléctrico donde una tenga doble intensidad que la otra (utilizar líneas de campo)
- ¿En qué punto de la figura es máximo el campo eléctrico?



- Razonar porque es constante el campo eléctrico entre las placas de un condensador
- Calcular la intensidad del campo eléctrico en un condensador de placas separadas 1,3 mm sometido a una tensión de 220V.

ELECTROMAGNETISMO

Hace 2000 años, los griegos y los chinos ya conocían los fenómenos magnéticos. Habían observado que cierto mineral procedente de una ciudad de Asia Menor llamada Magnesia era capaz de atraer trozos de metal. Este mineral estaba formado por un compuesto de hierro (Fe_3O_4) que llamaron magnetita. A principios del siglo XIX, el físico danés Hans Christian Oersted demostró que había una relación entre electricidad y magnetismo. Unos años más tarde, otro científico inglés, Michael Faraday, descubrió el efecto contrario, es decir, que los imanes podían crear electricidad. De esta manera surgió el **electromagnetismo**, que estudia la relación entre los fenómenos eléctricos y magnéticos.

Campo magnético creado por la corriente eléctrica

La corriente eléctrica posee una propiedad fundamental de la que los técnicos han sabido sacar un gran provecho. Esta propiedad fundamental podríamos enunciarla de la siguiente forma:

Cuando circula una corriente eléctrica por un conductor, alrededor de dicho conductor se forma un campo magnético.

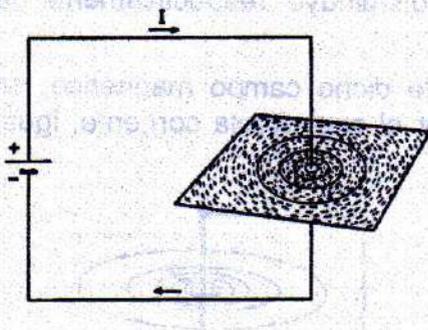


Figura 1. Disposición de las líneas de fuerza del campo magnético de un conductor por el que circula una corriente eléctrica.

Este campo magnético se produce de una manera natural por lo que resulta un fenómeno que se produce en la misma naturaleza de la electricidad. Ocurre realmente en todas los conductores por los que circula una corriente eléctrica. Nuestros ojos no lo pueden ver, pero sí podemos evidenciarlo mediante toda una serie de experimentos muy sencillos de realizar.

Si colocamos un cartón perpendicularmente a un conductor y esparcimos sobre el cartón finas limaduras de hierro, al pasar una corriente continua por el conductor las limaduras se distribuirán por el cartón siguiendo unas líneas de fuerza concéntricas al conductor. Esta situación es la que nos muestra la figura 1.

También si colocamos una brújula sobre cualquier conductor por el que circula una corriente eléctrica continua, veremos como la aguja de la brújula se desvía de su posición inicial.

Al anular la corriente, la aguja vuelve a su posición inicial; si se invierte el sentido de la corriente, la aguja se desvía en sentido contrario al anterior (Fig.2). Asimismo, si se varía la intensidad de la corriente, se observa como la desviación de la aguja aumenta o disminuye al aumentar o disminuir la intensidad.

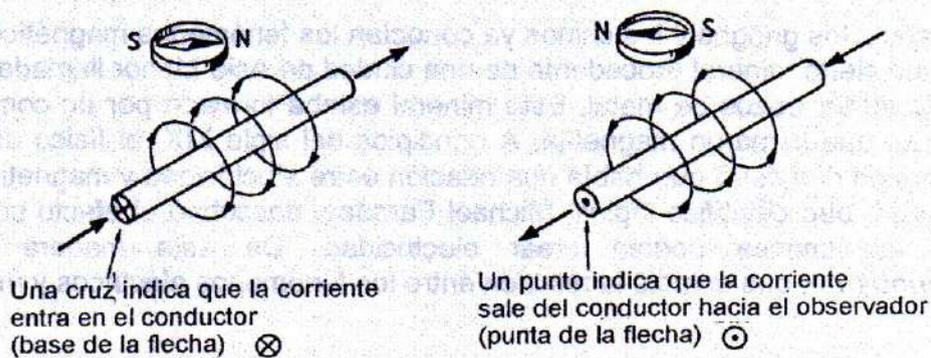


Figura 2. Las líneas de fuerza del campo magnético cambian de sentido al cambiar el sentido en que circula la corriente

Todo esto demuestra que el campo magnético que se crea alrededor de un conductor por el que pasa corriente desaparece cuando deja de pasar ésta; que la polaridad de ese campo se invierte al invertir la corriente su sentido, y que la intensidad de campo magnético aumenta o disminuye cuando aumenta o disminuye respectivamente la intensidad de la corriente que circula por el conductor.

En los libros y dibujos, para representar la existencia de dicho campo magnético, se dibujan unas líneas de fuerza alrededor del conductor por el que circula corriente, igual que se hace con el campo magnético de un imán.

Estas líneas son concéntricas al conductor e, igual que pasa con un imán serán más densas cerca del conductor, ya que la intensidad del campo magnético disminuye al aumentar la distancia al eje del conductor.

El sentido de las líneas de fuerza es el de las agujas del reloj si se mira en la dirección de la corriente eléctrica.

Pero también se puede determinar mediante la primera regla de la mano derecha (Fig. 3).

Si se sujeta el conductor con la mano derecha y el pulgar apuntando en la dirección de la corriente, las puntas de los otros dedos de la mano indican la dirección de las líneas de fuerza.

Estas líneas de fuerza están siempre en un plano perpendicular al conductor.

Atracción y repulsión entre conductores

Entre dos conductores por los que circula corriente eléctrica, se producen los efectos magnéticos de atracción o repulsión de forma análoga a lo que ocurre con los imanes. Veámoslo con detalle.

Cuando por dos conductores paralelos circulan corrientes en sentido contrario, en uno de los conductores se forma un campo magnético en el sentido de las agujas del reloj, y en sentido contrario a las agujas en el otro (Fig. 4), las líneas de fuerza de ambos campos

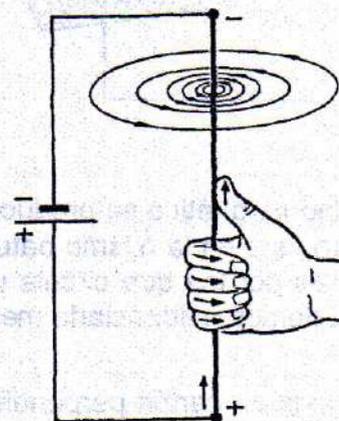


Figura 3. La regla de la mano derecha indica el sentido de las líneas de fuerza del campo creado por la corriente que atraviesa un conductor rectilíneo.

tienen la misma dirección entre los dos conductores, por lo que en esa zona ambos campos se suman y forman un campo más fuerte. De este modo, las líneas de fuerza están más concentradas entre los conductores que por fuera de los mismos y ambos conductores tienden a separarse, de lo que se saca la siguiente conclusión:

Todo conductor atravesado por una corriente eléctrica tiende a salirse de un campo magnético intenso, haciéndolo hacia el campo débil.

En este principio se basan los motores eléctricos.

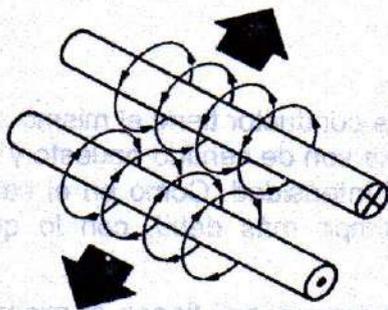
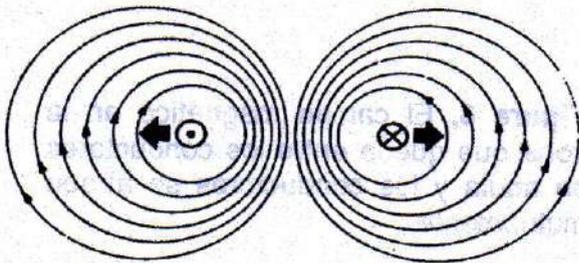


Figura 4. El campo magnético en la zona que queda entre los dos conductores es más intenso y los conductores tienden a separarse.

En la figura 5 se han representado dos conductores situados entre los polos N y S de un potente imán. La corriente circula en sentido opuesto por ambos conductores y como puede verse, al combinarse el campo del imán con el de los conductores, se forma un campo magnético intenso y otro débil por los lados opuestos de cada conductor.

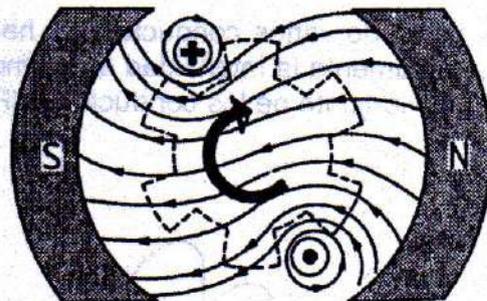


Figura 5. Principio del motor eléctrico

Aplicando la regla de la mano derecha vemos que la corriente que atraviesa al conductor de arriba, crea unas líneas de fuerza que por la parte inferior del conductor se suman a las líneas que van de Norte a Sur entre los polos del imán, por lo que el conductor tiende a salirse hacia la parte más débil del campo, o sea, hacia arriba, imprimiendo un giro en el sentido de las agujas del reloj al rotor del motor.

De modo semejante, la corriente que pasa por el conductor de abajo crea un campo que junto al del imán, dan lugar a un campo intenso por arriba del conductor y débil por debajo, con lo que éste tiende a salirse hacia abajo, imprimiendo un giro al rotor del mismo sentido que el que imprime el otro conductor.

Vemos como la corriente que atraviesa a esos dos conductores al estar éstos instalados sobre el rotor que puede girar libremente, imprime a éste un movimiento de rotación.

Veamos ahora lo que sucede cuando la corriente circula en el mismo sentido por los dos conductores paralelos (Fig. 6). El fenómeno que se produce es opuesto al anterior.

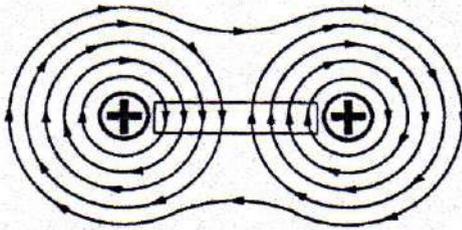
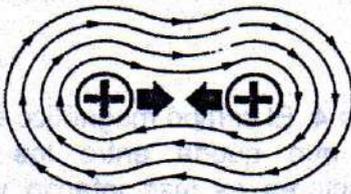


Figura 6. El campo magnético en la zona que queda entre los conductores se anula y los conductores se atraen mutuamente



El campo magnético que se crea alrededor de cada conductor tiene el mismo sentido, con lo que entre ambos conductores las líneas de fuerza son de sentido opuesto y los campos magnéticos se restan, anulándose si son de igual intensidad. Como en el caso anterior, los dos conductores tienden a salir hacia el campo más débil, con lo que los dos conductores tienden a aproximarse, se atraen.

Por el exterior de los dos conductores los campos magnéticos tienen el mismo sentido y se suman, creando un campo magnético equivalente al de un solo conductor atravesado por una corriente de intensidad doble.

Por tanto, juntando varios conductores y haciendo pasar por ellos corriente en la misma dirección, se aumenta la intensidad del campo magnético al sumarse las líneas de fuerza que rodean al conjunto de los conductores (Fig. 7).

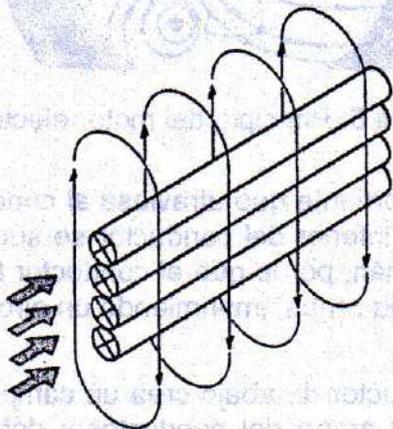


Figura 7. Los campos de cada conductor se suman y dan lugar a un campo único y más intenso que rodea el conjunto de conductores

Pan muchas aplicaciones practicas, bobinas, máquinas eléctricas, etc., los conductores suelen formar espiras. Cuando pasa corriente por un conductor que forma una espira, se

crea a su alrededor un campo magnético que sigue teniendo la misma intensidad que antes de arrollarlo (Fig. 8).

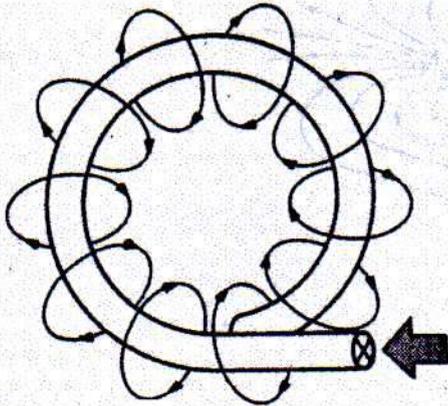


Figura 8. El conductor arrollado en una sola espira no crea un campo magnético más intenso que el del conductor estirado.

Aplicando la regla de la mano derecha se ve que todas las líneas de fuerza entran por un lado de la espira y salen por el otro, quedando más concentradas por la zona de dentro.

Una espira de hilo conductor atravesado por una corriente eléctrica forma un imán elemental.

Conclusiones.- Hemos visto ya como la corriente eléctrica produce campos magnéticos. Este fenómeno nos muestra la correlación que existe entre la electricidad y el magnetismo y es de gran importancia, pues, junto al fenómeno contrario, que veremos próximamente, es decir, como los campos magnéticos pueden originar corrientes eléctricas, constituyen la base técnica de los generadores, motores, transformadores, relés, etc.

Sin embargo, el campo magnético creado alrededor de un solo conductor es débil y en las máquinas eléctricas se precisan, generalmente, campos magnéticos de gran intensidad.

En la práctica, esos campos más potentes se consiguen:

- Aumentando la intensidad que circula por el conductor, como hemos visto ya.
- Arrollando el conductor en espiras formando una bobina.
- Introduciendo en la bobina un núcleo de hierro, como veremos.

Campo magnético de una bobina. El electroimán

Si se arrolla un conductor en espiras se forma una bobina.

Cuando por una bobina circula una corriente eléctrica, como ya sabemos, alrededor del conductor y lo que es lo mismo, alrededor de cada espira, se forma un campo magnético. El campo de cada espira se superpone con el de las otras y forma el campo magnético de la bobina (Fig. 9), que es la suma de los campos de las distintas espiras. Por tanto, *este campo es mucho más intenso que el que produciría el conductor estirado.*

Cuando pasa corriente por ella, la bobina tiene propiedades magnéticas similares a los de un imán permanente y recibe el nombre de *electroimán*.

En las dos bobinas, el producto de la intensidad por el número de espiras tiene el mismo valor $I \cdot N$.

Lo que cuenta es, solamente, el valor del producto $I \cdot N$ de la intensidad por el número de espiras. Cuanto mayor sea el producto $I \cdot N$ más potente será el campo magnético de la bobina, no importando si ha aumentado sólo la intensidad, sólo el número de espiras o ambos factores a la vez.

El producto $I \cdot N$ es, pues, la causa eléctrica que genera al campo magnético, es decir, que lo produce, y es una magnitud eléctrica, pero no una magnitud magnética.

Se llama fuerza magnetomotriz al producto $I \cdot N$ que es la causa eléctrica del campo magnético.

La magnitud fuerza magnetomotriz se representa por la letra F (F inglesa).

En el producto $I \cdot N$, el número de espiras o número de vueltas, es simplemente un número, mientras que la intensidad es una magnitud eléctrica cuya unidad de medida es el amperio; por tanto, el producto de ambos es una magnitud eléctrica que tiene como unidad el amperio (A), pues si consideramos una bobina de 1 espira por la que circula una intensidad de 1 A, tendremos:

$$F = I \cdot N = 1A \cdot 1 = 1A$$

Como unidad de la fuerza magnetomotriz se ha usado e incluso se sigue usando el amperio vuelta (AV) pero es más correcto emplear la que hemos indicado de amperio (A).

La intensidad de campo magnético de la bobina o excitación de la bobina

Se comprende fácilmente que si las espiras de una bobina están muy separadas unas de otras, el campo magnético de cada espira no llegará a envolver a las otras espiras, con lo que el campo resultante de la bobina no podrá ser la suma de los campos individuales de todas las espiras y será bastante menor.

Vemos pues que en el valor final del campo de la bobina influye también el que las espiras estén próximas o separadas, de modo que cuanto más comprimidas estén, más potente será el campo magnético creado.

O sea, el campo magnético creado por la bobina, que como sabemos es directamente proporcional al producto $I \cdot N$, depende también, pero de forma inversamente proporcional, de la longitud de la bobina (l).

Vemos pues que la intensidad del campo magnético de la bobina (H) es directamente proporcional a la intensidad (I) y al número de espiras (N) e inversamente proporcional a la longitud (l) de la bobina, o sea:

H = intensidad de campo magnético o
excitación magnética, en A / m

$H = \frac{I \cdot N}{l}$ I = intensidad de corriente, en A

N = número de espiras de la bobina

l = longitud de la bobina, en m

Esta nueva magnitud, la intensidad del campo magnético, no es una magnitud magnética, pues en realidad es una magnitud eléctrica, ya que es la causa eléctrica productora del campo magnético.

El hecho de que tenga ese nombre de intensidad magnética crea muchas confusiones, pues parece que se refiere al efecto, al campo magnético creado.

La intensidad de campo magnético H indica que parte de esa excitación existente está concentrada en 1 m (o en 1 cm.) de la longitud de la bobina.

La unidad de intensidad de campo o excitación magnética H es el amperio por metro (A/m), pues poniendo valores de la unidad en la fórmula, tenemos:

$$H = \frac{I \cdot N}{l} = \frac{1 \text{ A} \cdot 1}{1 \text{ m}} = 1 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

En la práctica se suele emplear un múltiplo de esta unidad, el amperio por centímetro (A/cm.), que es 100 veces mayor. La relación entre ambas unidades es:

$$1 \text{ A/m} = \frac{1}{100} \text{ A/cm}$$

Ejemplo de aplicación.- El polo de excitación de un motor eléctrico lleva arrollada una bobina de 40 mm de longitud y 10 espiras. ¿Cuál es la intensidad del campo magnético H de dicha bobina cuando la intensidad de corriente que circula por ella es de 60 A?

Solución: Para calcular el valor de H aplicaremos su fórmula, pero antes hemos de poner la longitud en metros y será: $l = 40 \text{ mm} = 0,040 \text{ m}$.

Obtendremos:

$$H = \frac{I \cdot N}{l} = \frac{60 \text{ A} \cdot 10}{0,004 \text{ m}} = 15000 \text{ A/m} = 150 \text{ A/cm}$$

Densidad de flujo magnético en el vacío

Hemos visto como podríamos crear campos magnéticos mediante una bobina por la que circula una corriente eléctrica.

También conocemos la magnitud intensidad de campo magnético H , cuya unidad es el A/m, que nos permite conocer el valor de esa causa eléctrica que crea el campo magnético.

Por otra parte, anteriormente ya vimos que para conocer el valor de un campo magnético se emplea la magnitud *densidad de flujo magnético* B , cuya unidad es el tesla (T).

O sea, conocemos la causa conocemos el efecto y podemos medir ambos. Como es lógico, existe una relación entre la causa y el efecto, o sea, entre la intensidad de campo H que excita y la densidad de flujo magnético B creado.

Esa relación está expresada por la fórmula siguiente:

$$B = \mu_0 \cdot H$$

Donde:

B = densidad de flujo magnético, en T

H = intensidad de campo magnético, en A/m

μ_0 = constante de campo magnético

O sea, la densidad de flujo magnético B creado es igual al producto de la intensidad de campo H de excitación por la constante de campo magnético k (se lee mu sub cero).

La constante de campo magnético, también llamada *permeabilidad magnética*, es una constante de la naturaleza para cada medio que expresa la permeabilidad de ese medio a las líneas de fuerza.

El valor de esa constante o permeabilidad depende del medio por el que discurren las líneas de fuerza. Cuando ese medio es el vacío, el aire, y otras muchas sustancias no magnéticas, su valor es:

$$\mu_0 = \frac{4 \pi}{10\,000\,000} \frac{T \cdot m}{A}$$

que, recordando que $10\,000\,000 = 10^7$, se puede escribir $\mu_0 = 4 \pi / 10^7$

Este valor de la constante de campo en el vacío no varía aunque varíe la intensidad de campo H de excitación.

Ejemplo de aplicación. - Calcular la densidad de flujo magnético creado en el interior de una bobina de 10 espiras y 40mm de longitud, cuando circula por ella una corriente eléctrica de 60 A. Se supone que por el interior de la bobina solo hay aire.

Solución: Como la causa eléctrica del campo magnético es la intensidad de campo H producido por la bobina, calculamos primero su valor sustituyendo en su fórmula las letras por sus valores (la longitud la hemos de poner en metros).

$$H = \frac{I \cdot N}{l} = \frac{60 \text{ A} \cdot 10}{0,004 \text{ m}} = 15000 \text{ A/m}$$

Sustituyendo ahora ese valor de H en la fórmula de la densidad de flujo B y recordando que en el vacío y en el aire:

$$\mu_0 = \frac{4 \pi}{10\,000\,000} \frac{T \cdot m}{A}$$

Tendremos:

$$B = \mu_0 \cdot H = \frac{4 \pi}{10\,000\,000} \frac{T \cdot m}{A} \cdot 15000 \text{ A/m} = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 15000}{10\,000\,000} \frac{T \cdot m \cdot A}{A \cdot m}$$

$$B = 0,01884 \text{ T}$$

Densidad de flujo magnético en la materia

Imaginemos que tenemos un campo magnético creado por un imán o una bobina, y que se expande por el vacío de alrededor.

¿Qué sucede si dentro de ese campo introducimos un cuerpo? El efecto dependerá principalmente de la clase de material de dicho cuerpo.

Si se trata de un material no magnético, como puede ser el aire, la madera, el aluminio, el cobre, etc., su presencia no influirá prácticamente en la distribución de las líneas de fuerza de ese campo magnético existente.

En cambio, si introducimos una pieza de hierro en el campo magnético la distribución de las líneas de fuerza del campo quedará notablemente afectada (Fig. 10).

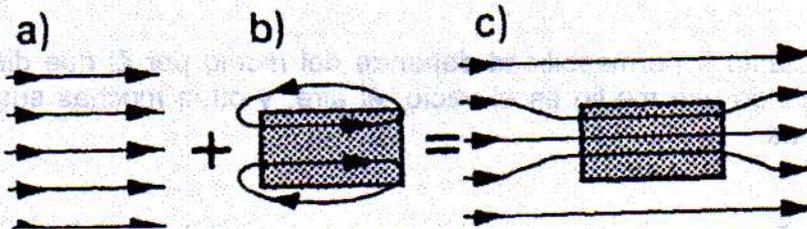


Figura 10. Si en el campo magnético (a) introducimos una pieza de hierro se magnetiza y crea su propio campo magnético (b). Al sumarse los efectos de ambos campos, se obtiene una nueva distribución de las líneas de fuerza (c)

La acción de ese campo magnético existente hace que los pequeños imanes elementales de la pieza de hierro se orienten en la misma dirección del campo, constituyendo así un imán que, a su vez, produce su propio campo magnético que se superpone al campo original. Allí donde las líneas de fuerza tienen el mismo sentido se suman, y donde tienen sentidos distintos se restan. De este modo, en el interior de la pieza de hierro la densidad de flujo magnético B queda reforzada, mientras que por su exterior queda debilitada.

Observando la nueva distribución de las líneas de fuerza, vemos que las líneas de fuerza prefieren mucho más pasar por el hierro que por el aire.

Vemos también que la pieza de hierro se comporta como un verdadero imán mientras se encuentra en el seno de un campo magnético. Este fenómeno recibe el nombre de **inducción magnética**.

Si el cuerpo introducido en el campo magnético es de un material no magnético, la densidad de flujo magnético B en el interior de dicho cuerpo será prácticamente igual que en el vacío, y la calcularíamos por la fórmula $B = \mu_0 \cdot H$.

Pero si el cuerpo introducido en el campo magnético es de un material ferromagnético, es decir, magnetizable, la densidad del flujo B en su interior queda muy reforzada con respecto a la que sería en el vacío o el aire.

Así, por ejemplo, si introducimos una pieza de fundición de acero en el seno del campo magnético creado por una intensidad de campo de $H = 20 \text{ A/cm}$, el campo magnético que se crea en el interior de la pieza tendrá una densidad de flujo B que será unas 200 veces superior a la que creaba en el aire.

Este aumento lo podemos expresar matemáticamente mediante un nuevo factor de multiplicación, que se representa por μ_r (se lee mu sub erre) y recibe el nombre de coeficiente de permeabilidad o permeabilidad relativa.

De este modo, la densidad de flujo magnético B creado en el interior de una materia cualquiera por una intensidad de campo H de excitación, se calcula mediante la fórmula:

$$B = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot H$$

Donde: B = densidad de flujo magnético, en T

H = intensidad de campo magnético, en A/m

μ_0 = permeabilidad magnética en el vacío = $\frac{4 \pi}{10^7} \frac{T \cdot m}{A}$

μ_r = Coeficiente de permeabilidad o permeabilidad relativa (sin unidades, es un número)

El coeficiente de permeabilidad o permeabilidad relativa μ_r es un número puro que indica las veces que la densidad de flujo magnético B en una materia dada es mayor que en el vacío o en el aire.

Hemos dicho que el valor de la permeabilidad depende de las propiedades magnéticas del material y que para los cuerpos no magnéticos su valor es prácticamente fijo e igual en todos ellos. Su permeabilidad relativa μ_r es, por tanto, próxima a 1.

Sin embargo en los cuerpos ferromagnéticos, este valor es variable, pues no solo varía de un material a otro, sino que *para un mismo material también varía disminuyendo a medida que aumenta la intensidad del campo H de excitación.*

Al principio, cuando la intensidad de campo H es pequeña, la permeabilidad es grande. Luego, tal como va aumentando la intensidad, se va haciendo menor. A elevadas intensidades de campo, el valor de la permeabilidad μ_r es tan próximo a 1 que el flujo magnético B solo aumenta en la medida en que crece la intensidad de campo H .

Esta disminución del valor de permeabilidad se debe a que tal como aumenta la intensidad de campo, van siendo más los imanes elementales del material que están ya orientados en la dirección del campo y por tanto, van siendo menos los que aun se pueden ir orientando en esa dirección para reforzarlo, llegándose a un momento o valor de la intensidad de campo H de excitación en que prácticamente todos los imanes elementales están ya orientados.

En ese caso se dice que el material está ya saturado magnéticamente, y que, prácticamente, ya no puede ser magnetizado más aunque siga aumentando la intensidad de campo.

La dependencia de una magnitud con respecto a otra, se representa en forma muy clara en los llamados diagramas. La figura 11 muestra un diagrama en el que se ha representado la dependencia de la permeabilidad relativa respecto a la intensidad de campo H de excitación en una pieza de hierro (acero fundido). En la horizontal se han marcado los valores de la intensidad de campo H ; en la vertical los de permeabilidad relativa, μ_r .

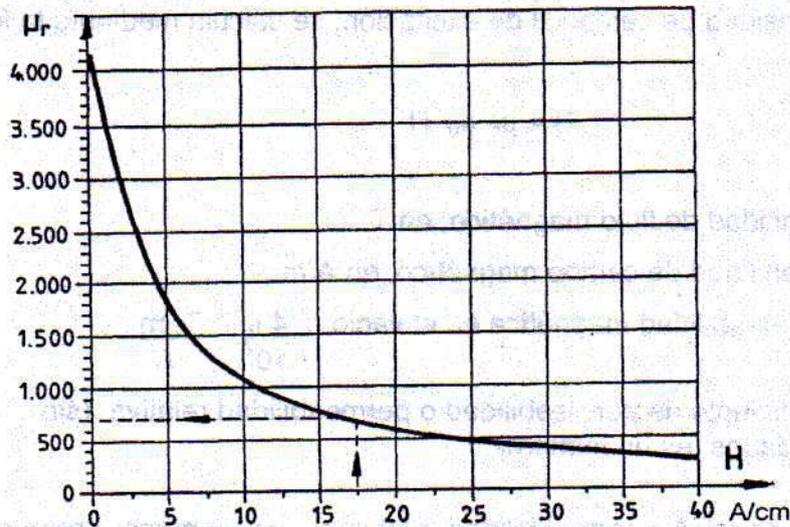


Figura 11. Variación de la permeabilidad relativa μ_r en función de la intensidad de campo H de excitación, en la fundición de acero.

El modo de interpretar un diagrama de este tipo puede quedar claro para quien no esté acostumbrado a esta representación por medio del siguiente ejemplo: Para una intensidad de campo de $H = 17,5$ A/cm se busca en la línea horizontal, entre 15 y 20, en el punto indicado por la línea de trazos y la flecha. Siguiendo la línea de trazos vertical se sube hasta encontrarse en la curva de trazo grueso. Al llegar a este punto se invierte el sentido de la búsqueda siguiendo la dirección horizontal, tal como la línea de trazos indica, en sentido hacia la izquierda, hasta llegar al eje vertical, en donde se puede leer el valor de la permeabilidad relativa $\mu_r = 700$, correspondiente a esta intensidad de campo.

El producto $\mu_r \cdot \mu_0$ de la permeabilidad relativa por la permeabilidad en el vacío, recibe el nombre de permeabilidad absoluta, o simplemente permeabilidad y se designa por el símbolo μ .

O sea, $\mu = \mu_r \cdot \mu_0$

Como μ_r es un número puro, la μ tendrá las mismas unidades que la μ_0

Con esta simplificación, la fórmula que nos relaciona la densidad del flujo magnético creado en cualquier material con la intensidad de campo H de excitación queda definitivamente expresada por:

$$B = \mu H$$

B = densidad de flujo magnético, en T
 H = intensidad de campo magnético, en A/m
 $\mu = \mu_r \cdot \mu_0 =$ permeabilidad, en $\frac{T \cdot m}{A}$

Curva de magnetización

Esas fórmulas y esos conceptos de los distintos tipos de permeabilidad que hemos visto, son necesarios para entender bien estos fenómenos y la influencia que la clase de material tiene sobre el valor del campo magnético obtenido a partir de una determinada excitación.

Sin embargo, en la práctica, cuando los proyectistas de máquinas eléctricas han de hacer sus cálculos, no buscan primero el valor de la permeabilidad y luego calculan la B mediante la fórmula correspondiente, sino que obtienen directamente el valor de la densidad de flujo B producido por una determinada intensidad de campo H a partir de los llamados diagramas de imantación o curva de magnetización correspondiente al material dado (Fig. 12).

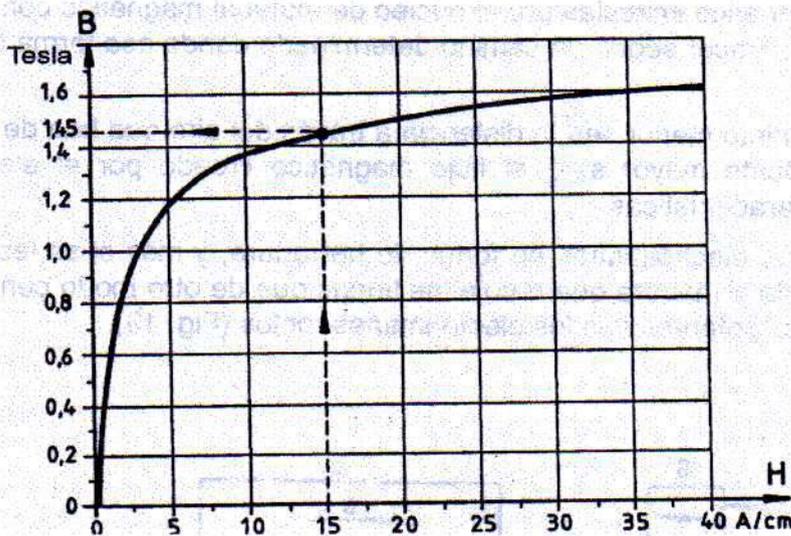


Figura 12. Curva de magnetización de la fundición de acero

Por ejemplo, en dicha figura podemos ver que si aplicamos una intensidad de campo de excitación de $H = 15$ A/cm sobre una pieza de acero fundido, la densidad de flujo magnético B del campo creado en el interior de la pieza será de 1,45 T.

La pendiente de la curva de esa figura nos permite ver la variación de la permeabilidad con la intensidad de campo H . Al principio, cuando el valor de la H es pequeño, la permeabilidad es grande y la curva tiene una pendiente pronunciada. Luego la permeabilidad se va haciendo menor y también lo va siendo la pendiente de la curva, hasta que finalmente la curva es casi horizontal.

A partir de la curva de magnetización se puede obtener también el valor de la permeabilidad del material para una determinada intensidad de campo H , pues hasta obtener el correspondiente valor de B mediante el diagrama y luego calcular la permeabilidad mediante la fórmula:

$$\mu = B / H$$

Conclusiones. - No es probable que el mecánico electricista tenga que hacer cálculos sobre estos fenómenos magnéticos y electromagnéticos, pero sí debe conocerlos para obtener conclusiones e ideas prácticas muy claras que sí le serán útiles en su trabajo diario.

Hemos visto:

- Que para una misma excitación, al introducir un material magnético se obtiene un campo magnético mucho más potente que el que se forma en el aire.
- Que ello es debido a la mayor permeabilidad magnética de los materiales magnéticos.

- Por ello, una bobina con núcleo de hierro produce campos más potentes que la misma bobina sin núcleo.
- Que por esa mayor permeabilidad o facilidad con que los materiales dejan pasar a SSU través las líneas de fuerza, estas prefieren pasar a su través que a través del aire, lo que indica que el aire y los otros materiales no ferromagnéticos ofrecen una mayor resistencia al paso de las líneas de fuerza que los materiales ferromagnéticos.
- Por ello, el flujo magnético «circula» por el núcleo de material magnético con preferencia al aire y se le puede hacer seguir un camino determinado dando esa forma al núcleo de hierro.
- Por ello también, cuanto menor sea la distancia a través del aire que han de recorrer las líneas de fuerza, tanto mayor será el flujo magnético creado por el electroimán, a igualdad de otras características.
- En consecuencia, los electroimanes en forma de herradura, y más si se les añade una pieza inferior llamada armadura que recoja las líneas que de otro modo cerrarían por el aire, son mucho más potentes que los electroimanes rectos (Fig. 13).

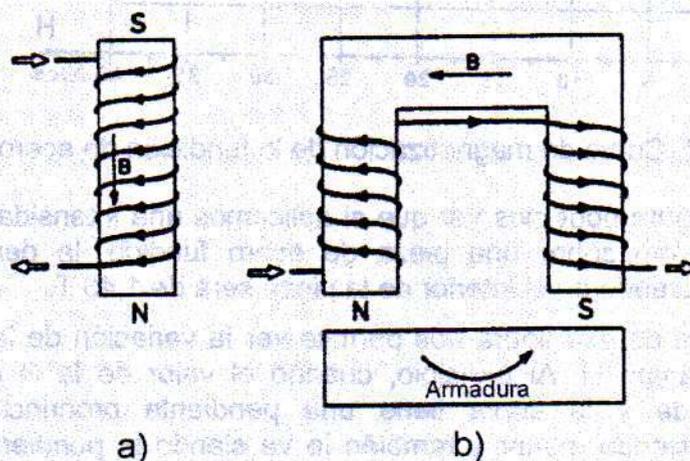


Figura 13. Electroimanes a) rectos b) de herradura

- Los componentes magnéticos de las máquinas eléctricas se fabrican de chapa aleada magnética y de acero, pues así el flujo discurre por el camino adecuado y que le ofrece la menor resistencia magnética posible. Cuando el flujo magnético ha de pasar de una parte a otra atravesando una pequeña longitud de aire, llamada entrehierro, éste ha de ser lo menor posible para conseguir que el campo magnético sea lo más intenso posible.

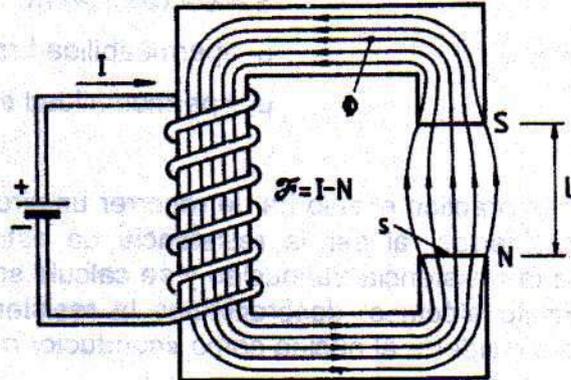
En resumen, podemos decir que el flujo magnético creado por un electroimán depende:

- De la intensidad de la corriente que atraviesa la bobina, del número y sentido de arrollamiento de las espiras de ésta y de la longitud total.
- Del camino recorrido por el flujo, o sea, del material del núcleo, de su forma y de la longitud de los entrehierros.

Circuito magnético

En un electroimán, las líneas de fuerza magnética forman siempre un circuito cerrado, es decir, salen del polo N, recorren un espacio exterior al electroimán, vuelven a entrar en éste por su polo S y recorren entonces el interior del electroimán hasta el punto que hemos considerado inicial, es decir, se cierran sobre sí mismas (Fig. 14).

Figura 14. Circuito magnético de un electroimán



Por analogía con la electricidad, se denomina *circuito magnético* al trayecto recorrido por las líneas de fuerza, dentro y fuera del electroimán, y en el cual estas líneas se cierran sobre sí mismas.

La analogía con un circuito eléctrico nos facilita la comprensión del comportamiento magnético. Pero ya de entrada hemos de tener bien presente que esta semejanza solo lo es en ciertos aspectos, pues los fenómenos magnéticos son estáticos, mientras que los fenómenos relacionados con la corriente eléctrica son dinámicos.

Así, por ejemplo, podemos comparar el flujo magnético Φ a la corriente eléctrica I , pero teniendo muy en cuenta que en un flujo magnético no hay movimiento, no hay nada que se desplaza, mientras que en la corriente eléctrica hay unas cargas eléctricas que se desplazan.

De un modo análogo, podemos equipar la fuerza magnetomotriz F a la fuerza electromotriz y a la tensión U .

Del mismo modo que la tensión provoca la corriente eléctrica, la fuerza magnetomotriz provoca el flujo magnético.

En un circuito eléctrico el valor de la corriente está determinado por el de la tensión y el de la resistencia (ley de Ohm). En el circuito magnético sucede algo análogo.

En el circuito magnético hemos visto que los materiales ferromagnéticos ofrecen menos resistencia que el aire al paso de las líneas de fuerza.

Vemos pues que también en un circuito magnético hay una *resistencia magnética* equiparable a la resistencia eléctrica de un circuito eléctrico.

Esta resistencia magnética depende de la permeabilidad absoluta $\mu = \mu_r \cdot \mu_0$ como hemos visto.

Esta resistencia magnética (R_m) es inversamente proporcional a la permeabilidad absoluta $\mu = \mu_r \cdot \mu_0$ como se deduce de lo que hemos ido viendo ya, y también, como es lógico, es directamente proporcional a la longitud del circuito (l) e inversamente proporcional a su sección (S).

Su valor se calcula, por tanto, con la fórmula siguiente:

$$R_m = \frac{l}{\mu_r \cdot \mu_0 \cdot S}$$

R_m = resistencia magnética, en A/Wb
 l = longitud, en m
 S = sección, en m^2
 μ_r = permeabilidad relativa
 μ_0 = permeabilidad en e vacío = $\frac{4 \pi}{10^7} \frac{T \cdot m}{A}$

Como en la práctica el flujo ha de recorrer un circuito formado por un núcleo magnético y unos entrehierros, al ser la resistencia de estos mucho mayor que la de aquél, se desprecia la resistencia del núcleo y se calcula solo la del entrehierro. Es decir, igual que en el circuito eléctrico, despreciamos la resistencia del conductor, pues en este caso podemos considerar al núcleo como «conductor magnético».

El entrehierro suele ser de pequeña longitud, por lo que en la fórmula de la resistencia se reemplaza m por mm así como m^2 por mm^2 . Haciendo este cambio de unidades, sustituyendo μ_0 por su valor y tomando valores algo aproximados, nos queda para el cálculo de la resistencia del entrehierro la siguiente fórmula práctica:

$$R_m = 800 \cdot \frac{l}{\mu_r \cdot S}$$

R_m = resistencia magnética, en A/ μ Wb
 l = longitud, en mm
 S = sección, en mm^2
 μ_r = permeabilidad relativa

Insistimos en que en esta fórmula la longitud hay que ponerla en mm, la sección en mm^2 y que el resultado lo da en amperios por microweber (A/ μ Wb) (1μ Wb = 0,000001 Wb)

Una vez conocemos como se calcula el valor de la resistencia magnética de un circuito magnético, podemos definir en él también una fórmula que corresponde a la ley de Ohm, y es la siguiente:

$$R_m = \frac{F}{\Phi}$$

R_m = resistencia magnética, en A/ μ Wb
 F = fuerza magnetomotriz en A
 Φ = flujo magnético, en μ Wb

Repetimos, no es probable que el mecánico electricista tenga que realizar cálculos con estas fórmulas magnéticas, pero no por ello pueden dejar de estudiarse, pues sirven para comprender mejor los fenómenos al expresar la relación y dependencia entre las diversas magnitudes de una forma clara y breve.

Por ejemplo: el entrehierro de un generador eléctrico ha sufrido un aumento, pasando de 2,5 mm a 5 mm. ¿Cómo afecta dicho aumento al campo magnético de excitación de dicho generador?

Mirando la fórmula que nos da el valor de la resistencia magnética de un circuito, vemos que dicha resistencia (R_m) es directamente proporcional a la longitud (l) del entrehierro; luego a doble longitud ($2l$) habrá doble resistencia ($2 R_m$).

Por otra parte, en una de las fórmulas derivadas de la ley de Ohm magnética, vemos que el flujo magnético (Φ) es inversamente proporcional a la resistencia magnética (R_m) por lo que, al doblar el valor de la resistencia magnética del entrehierro ($2 R_m$) el flujo del circuito vera reducido su valor a la mitad ($\Phi/2$).

O sea, el haberse doblado la longitud del entrehierro ha dado lugar a una reducción del campo magnético a la mitad de su valor. Y de un modo semejante se habrá reducido la potencia suministrada por el generador.

Vemos con este ejemplo como la teoría y las fórmulas, aun sin hacer cálculos con ellas, nos permiten llegar a unas conclusiones que si es necesario que el mecánico electricista las tenga claras y sea consciente de su importancia a la hora de juzgar el comportamiento de las maquinas eléctricas y a la hora de proceder a su inspección y mantenimiento.

También en los circuitos magnéticos puede aplicarse las leyes de Kirchhoff

1. Cuando se aplican en serie, las fuerzas magnetomotrices se suman algebraicamente (Fig. 15).
2. Cuando las fuerzas magnetomotrices se aplican en paralelo, los flujos magnéticos producidos en cada derivación se suman algebraicamente en los puntos de unión de estas derivaciones (Fig. 16). La figura 17 muestra un circuito eléctrico equivalente.

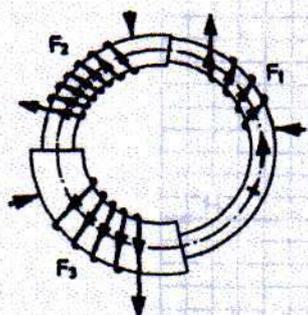


Figura 15. Circuitos magnéticos en serie

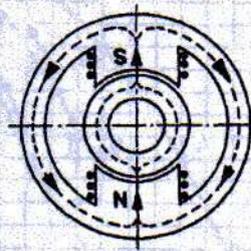


Figura 16. Circuitos magnéticos en paralelo

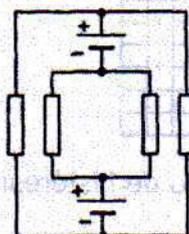


Figura 17. Circuito equivalente al circuito magnético de la figura anterior ...

Sin embargo y como ya hemos dicho, existen diferencias entre los circuitos eléctrico y magnético.

Las más importantes son:

1. La resistencia eléctrica es independiente de la intensidad de corriente mientras que la resistencia magnética varía con el valor de la permeabilidad, y por tanto, del flujo magnético.
2. Si el circuito eléctrico se abre, no circula corriente. El circuito magnético no se interrumpe por corte del circuito ya que el flujo atraviesa las capas de aire.
3. La corriente eléctrica circula en su totalidad por el conductor, mientras que el flujo magnético puede presentar derivaciones en el aire, llamadas, en general flujo de dispersión y que es un flujo no útil.
4. El paso de la corriente eléctrica produce una pérdida de energía y provoca el calentamiento del conductor. El paso del flujo magnético por un circuito magnético no produce pérdida de energía ni calentamiento.

Histéresis magnética

La curva de magnetización vista anteriormente solo es válida para el caso en que el material se ha introducido por primera vez en un campo magnético; si se hace desaparecer el campo magnético y luego se le hace aparecer de nuevo, suceden fenómenos muy particulares que es preciso conocer.

Ante todo, supongamos que la pieza de material esta inicialmente desmagnetizada totalmente. Esta condición queda indicada en el punto 1 de la curva de magnetización de la figura 18; en ese punto tenemos que la intensidad de campo magnético H de excitación vale cero y la densidad de flujo B también vale cero.

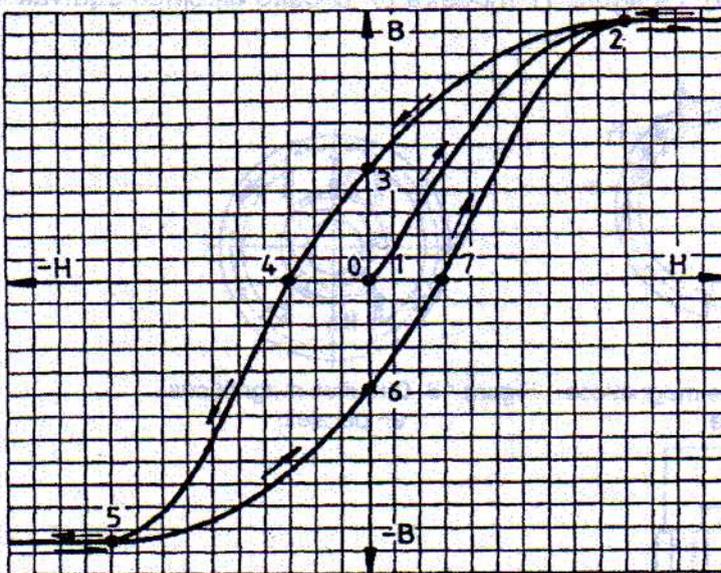


Figura 18. Curva de magnetismo que muestra el fenómeno de histéresis magnética

Si ahora aumentamos el valor del campo magnético H se eleva también el valor de la densidad de flujo B en la pieza, hasta llegar a la saturación magnética, representado por el punto 2 de la curva de magnetismo. Elevando aún más el valor de la intensidad de campo H , apenas se apreciaría aumento de la densidad de flujo B , pues, como se ve en la figura, ese punto 2 es el de saturación magnética.

Si, a partir del punto 2 de la curva, vamos disminuyendo la intensidad de campo H , también disminuirá la densidad de flujo B en la pieza.

Parece lógico suponer que, en la curva de magnetismo, a cada valor de H correspondería el mismo valor de B que le correspondía antes cuando H iba aumentando.

Pero la experiencia demuestra que no es así, pues, para un mismo valor de la intensidad de campo H valores de la densidad de flujo B son mayores cuando la H está disminuyendo que cuando está aumentando. Tanto es así que, en la curva descendente, para un valor de $H = 0$, al que, teóricamente, tendría que corresponder una $B = 0$, sucede que la pieza aun conserva un valor considerable, representado por el punto 3 de la curva.

Es decir que, a pesar de que la intensidad de campo de excitación es nula la pieza sigue magnetizada. A este valor de la densidad de flujo magnético B , que corresponde a una intensidad de campo H de excitación nulo, se le llama *magnetismo remanente*.

Ahora, vamos a cambiar la polaridad del campo magnético inductor, es decir, el sentido de la intensidad de campo H de excitación. Si antes habíamos supuesto que el campo magnético era positivo, ahora, que tendrá el sentido contrario, lo su pondremos negativo, y producirá una densidad de flujo sobre la pieza de sentido contrario al magnetismo remanente de ésta.

Si vamos aumentando lentamente ese campo magnético negativo, llegará un momento en que la densidad de flujo negativa producida por ese campo inductor, será exactamente igual y de sentido contrario al magnetismo remanente de la pieza; en este caso, la densidad de flujo B de la pieza será cero y la curva de magnetismo pasará por el punto 4 de la figura.

A la intensidad de campo H negativa necesaria para anular a ese magnetismo remanente de un material magnético o sea el valor de la H que corresponde al punto 4 de la curva, se la llama *fuerza coercitiva*.

Si ahora seguimos aumentando el valor de la intensidad de campo H , de signo negativo, el valor de la densidad de flujo B irá creciendo negativamente hasta llegar al punto 5 de la curva de magnetismo de la figura. Si se comparan los puntos 2 y 5 de la curva, puede apreciarse que el punto de saturación se alcanza para los mismos valores de intensidad de campo H y de la densidad de flujo B , pero negativos, o sea, de sentido contrario.

Para cerrar la curva, disminuimos paulatinamente el valor de la intensidad de campo conservando su sentido negativo, hasta que el valor de la densidad de flujo B llega al punto 6 de la curva, que representa un magnetismo remanente negativo, o sea, un magnetismo remanente igual pero de sentido contrario al de antes, con una intensidad de campo H nula.

Si ahora invertimos la polaridad de la intensidad de campo H de excitación, es decir, en sentido positivo, y vamos aumentando su valor, se llega de nuevo a un punto en que la densidad de flujo B de la pieza se anula, punto 7 de la curva. Si seguimos aumentando positivamente el valor de H , la curva de magnetismo sigue aumentando positivamente hasta que llega otra vez al punto de saturación 2, cerrándose el ciclo.

Este ciclo se puede ir repitiendo tantas veces como se quiera, y la curva recorrerá los mismos valores citados, teniendo presente que, una vez magnetizada ya no pasa más por los valores de la curva inicial 1 a 2.

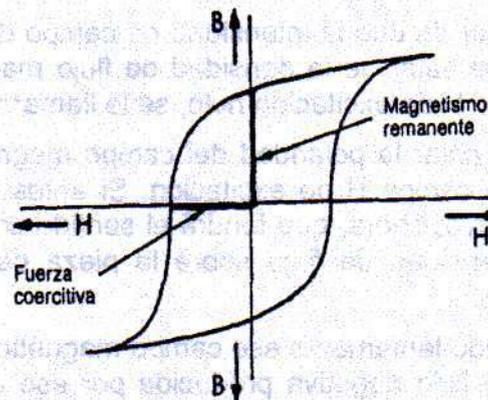
A este fenómeno se le da el nombre de *histéresis magnética* y al ciclo cerrado que recorre la curva de magnetismo se le llama *ciclo de histéresis*.

La histéresis magnética es un fenómeno importante de cara a la fabricación de imanes permanentes y de núcleos magnéticos.

Para la fabricación de imanes permanentes interesa que el magnetismo remanente del material magnético sea elevado. Así, al suprimir el campo magnético necesario para magnetizar el imán éste conserva una buena parte de sus propiedades magnéticas. La curva de magnetismo de un imán permanente tendría una forma parecida a la de la figura 19. Estos materiales se denominan *materiales magnéticamente duros* y están caracterizados por las siguientes propiedades:

- Moderada o baja permeabilidad.
- Alto magnetismo remanente.
- Alta fuerza coercitiva.

Figura 19. Ciclo de histéresis de un material magnéticamente duro



En otras ocasiones, interesa que el material magnético alcance rápidamente el valor de la saturación y que se desmagnetice rápidamente cuando se interrumpe el campo magnético. La curva de magnetismo tiene una forma parecida a la de la figura 20 y estos materiales se denominan *materiales magnéticamente blandos* y están caracterizados por las siguientes propiedades:

- Alta permeabilidad.
- Alto magnetismo remanente.
- Pequeña fuerza coercitiva.

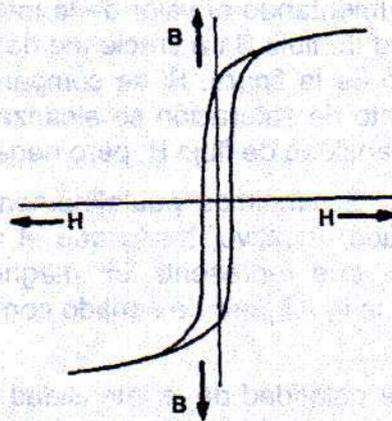


Figura 20. Ciclo de histéresis de un material magnéticamente blando

Las aplicaciones principales de estos materiales magnéticamente blandos están en los núcleos magnéticos para máquinas eléctricas, bobinas de encendido de auto móviles, transformadores, electroimanes, relés, etc.

PRIMERA LEY DE KIRCHHOFF

En muchas instalaciones eléctricas es posible poder conectar y desconectar las cargas a voluntad e Independientemente unas de otras. Este hecho es una característica de la conexión en paralelo. Las cargas están conectadas en paralelo unas con otras y todas a la fuente de tensión.

Para obtener la 1º ley de Kirchoff vamos a realizar un experimento.

Experimento: Intensidades de corrientes en la conexión en paralelo

Montaje

Tres resistencias $R_1 = 10 \Omega$, $R_2 = 20 \Omega$ y $R_3 = 50 \Omega$ se conectan en serie a una fuente de tensión de $U = 16 V$.

Realización

Mediremos la tensión de la fuente U_g la Intensidad I_g de la corriente que suministra y las Intensidades de las corrientes que circulan por las diferentes resistencias.

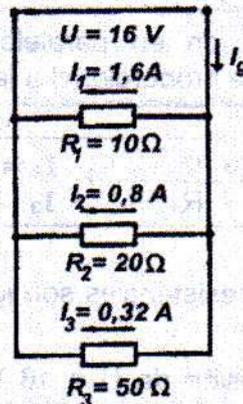
Resultados

Ug en V	Ig en A	I1 en A
16	2,72	1,6

I2 en A	I3 en A
0,8	0,32

El experimento muestra la relación existente entre la Intensidad de la corriente total y las intensidades de las corrientes por las diferentes resistencias.

$$I_g = I_1 + I_2 + I_3$$

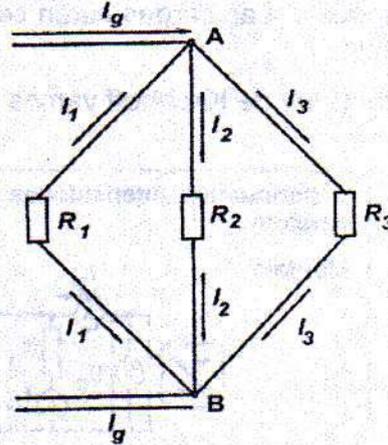


Primera ley de Kirchoff
La intensidad de la corriente total es igual a la suma de las diferentes intensidades

$$I_g = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

Si existieran más resistencias deberían sumarse también las intensidades de las demás corrientes. Cada resistencia conectada en paralelo aumenta la Intensidad I_g de la corriente total.

La división de la corriente en el experimento puede reconocerse en la figura de al lado. Los diferentes puntos de ramificación se han reducido a dos nudos (A y B).



Para estos nudos también es válida la primera ley de Kirchhoff (ley de los nudos):

Nudo A

$$I_g = I_1 + I_2 + I_3$$

Nudo B

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_g$$

La suma de las corrientes que entran en un nudo es igual a la suma de las corrientes que salen de él.

La relación entre las resistencias y las corrientes que circulan por ellas puede explicarse así:

Por la resistencia menor circula la corriente de mayor intensidad

Pero, ¿cuál es la relación existente entre las diversas intensidades?

$$I_1 = \frac{U_g}{R_1} \quad I_2 = \frac{U_g}{R_2} \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

En la conexión en paralelo la Intensidad de las corrientes es inversamente proporcional a las resistencias por las que circulan.

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} \quad \text{y} \quad \frac{I_1}{I_3} = \frac{R_3}{R_1} \quad \text{y} \quad \frac{I_2}{I_3} = \frac{R_3}{R_2}$$

Si las diferentes resistencias son iguales también lo serán las corrientes que circulen por ellas.

La fuente de tensión de $U = 16 \text{ V}$ alimenta a las tres resistencias, suministrando una corriente de intensidad $I_g = 2.72 \text{ A}$.

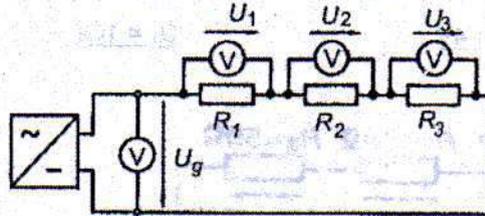
Esta misma intensidad también circularía si en lugar de las tres resistencias estuviera conectada la resistencia equivalente R_e . Según la ley de Ohm, tenemos:

$$R_e = \frac{U_g}{I_g} \quad R_e = \frac{16 \text{ V}}{2,72 \text{ A}} \quad R_e = 5,9 \Omega$$

SEGUNDA LEY DE KIRCHHOFF

Vamos a estudiar ahora la 2º ley de Kirchhoff, realizando un experimento, en un circuito en serie con tres resistencias.

Experimento 4-2: Tensiones en la conexión en serie
Montaje



Tres resistencias $R_1 = 10 \Omega$, $R_2 = 20 \Omega$ y $R_3 = 50 \Omega$ se conectan en serie a una fuente de tensión de $U = 16 V$.

Realización

Se miden la tensión en los bornes del generador, las tensiones en las resistencias y la intensidad de la corriente.

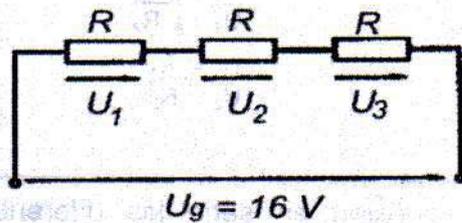
Resultados.

Ug en V	U ₁ en V
16	2

U ₂ en V	U ₃ en V
4	10

Al comparar las tensiones en las resistencias con la tensión del generador puede observarse que las primeras son todas menores que la del generador.

$U_g = U_1 + U_2 + U_3$



Segunda ley de Kirchhoff (Gustav Kirchhoff, físico alemán. 1824 -1887.)

La tensión total es igual a la suma de las diferentes tensiones en serie

$U_g = U_1 + U_2 + \dots + U_n$

Si existieran más resistencias la tensión total se dividiría entre todas ellas. El circuito se encuentra sometido a la tensión de la fuente de alimentación $U_g = 16 \text{ V}$, que provoca la circulación de una corriente de intensidad $I = 0,2 \text{ A}$ a través de todas las resistencias. Por ello en todas ellas se produce una caída de tensión. Las diferentes caídas de tensión pueden calcularse mediante la ley de Ohm:

$$U_1 = I_1 \cdot R_1$$

$$U_1 = 0,2 \text{ A} \times 10 \Omega$$

$$\underline{U_1 = 2V}$$

$$U_2 = I_2 \cdot R_2$$

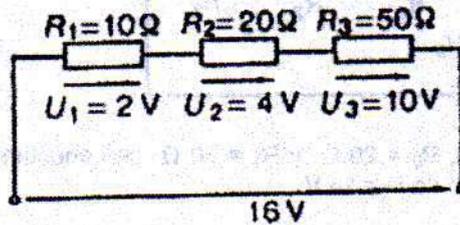
$$U_2 = 0,2 \text{ A} \times 20 \Omega$$

$$\underline{U_2 = 4V}$$

$$U_3 = I_3 \cdot R_3$$

$$U_3 = 0,2 \text{ A} \times 50 \Omega$$

$$\underline{U_3 = 10V}$$



Los valores medidos y los calculados coinciden.

Para cada una de las resistencias puede aplicarse la ley de Ohm teniendo en cuenta los diferentes valores de cada una.

Las diferentes caídas de tensión correspondientes a las diferentes resistencias muestran:

En la resistencia mayor se produce también la mayor caída de tensión, y en la menor, la menor caída.

¿Cuál es la relación existente entre las diversas tensiones?

$$U_1 = I \cdot R_1$$

$$U_2 = I \cdot R_2$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I \cdot R_1}{I \cdot R_2}$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

En la conexión en serie las diferentes tensiones son directamente proporcionales a sus correspondientes resistencias.

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

y

$$\frac{U_1}{U_3} = \frac{R_1}{R_3}$$

y

$$\frac{U_2}{U_3} = \frac{R_2}{R_3}$$

Si todas las resistencias fueran iguales también lo serían las caídas de tensión.

EL ELECTROIMAN

ELECTROIMANES

Si se introduce en el interior de un solenoide un núcleo de hierro dulce, el campo magnético se hace mucho más intenso. El aumento del campo magnético es debido a que el hierro dulce se imanta y produce su propio campo magnético, que se suma al del solenoide. El conjunto es un electroimán. Al cesar el paso de la corriente, el solenoide no se imanta y el campo desaparece, es decir, es un imán temporal.

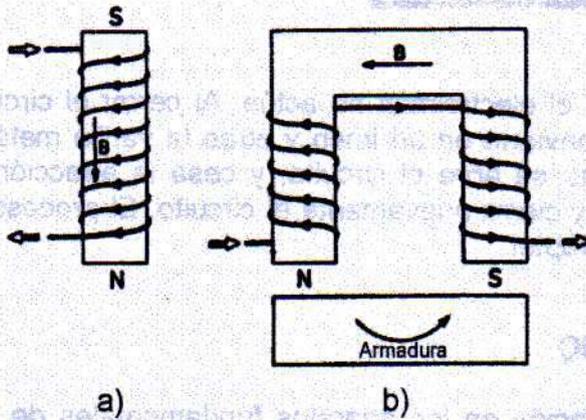
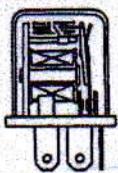
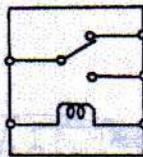


Figura Electroimanes
a) Rectos b) de herradura

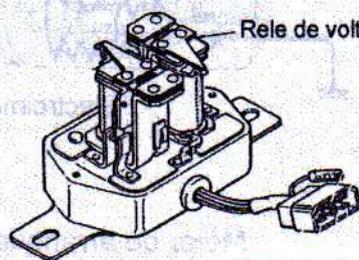
Los electroimanes se usan mucho en las instalaciones eléctricas como interruptores electromagnéticos o relés, los cuales han permitido en los autos modernos tener el control sobre los diversos consumidores (iluminación, motor de arranque, motor de limpiaparabrisas, eleva lunas, bomba de combustible eléctrica, reguladores de voltaje, ventiladores eléctricos del sistema de refrigeración, etc.) con corrientes de menor intensidad y por lo tanto contar con cableados debajo del tablero de menor calibre.



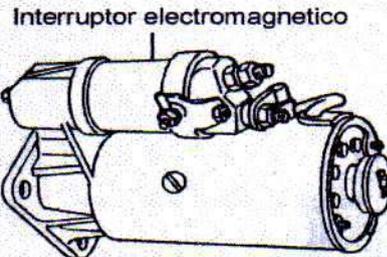
Relé de luces



Relé de voltaje



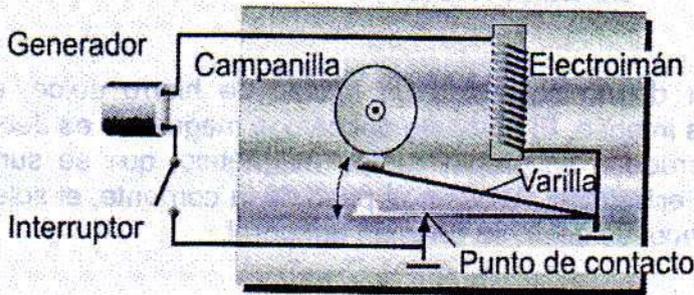
Regulador de voltaje



Motor de arranque

Otras aplicaciones se dan también en: en los timbres, el telégrafo, las grúas electromagnéticas, etc.

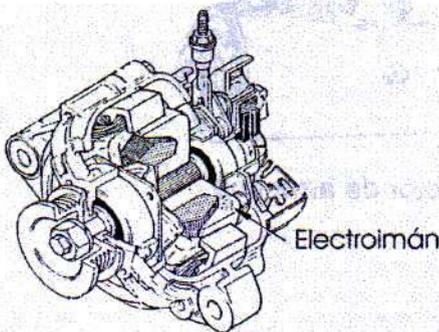
En el esquema de un timbre eléctrico de la figura 78 podemos observar el funcionamiento de un electroimán.



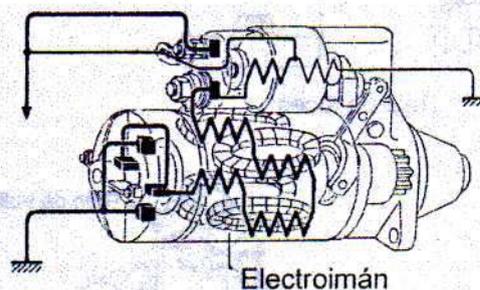
Con el circuito abierto no pasa corriente, y el electroimán no actúa. Al cerrar el circuito, apretando el pulsador, el electroimán se convierte en un imán y atrae la varilla metálica que golpea la campanilla. En ese momento se abre el circuito, y cesa la atracción, la varilla metálica vuelve a su posición inicial y cierra nuevamente el circuito. El proceso se repite mientras se mantiene pulsado el interruptor.

APLICACIÓN DEL ELECTROMAGNETISMO

El electromagnetismo tiene una gran aplicación en los aparatos fundamentales de una instalación eléctrica de automóvil. Desde el generador, ya sea alternador o dinamo, hasta el motor de arranque, pasando por todos los tipos de motores como el del limpiaparabrisas, la calefacción, el ventilador de la refrigeración, los elevabunche, bombas de combustible eléctricas, etcétera, etcétera, y sin olvidar la excelente función que ejercen en la mayoría de los circuitos de instalación eléctrica: los electroimanes o relés, encontramos constantemente la aplicación y uso de las leyes que rigen el electromagnetismo, lo que puede darnos una idea de la importancia que este capítulo teórico presenta.



Alternador



Motor de arranque

INDUCCION ELECTROMAGNETICA

INTRODUCCION

Hemos visto ya que es la electricidad, las magnitudes que la definen y sus respectivas unidades, así como la ley básica que relaciona entre si a estas magnitudes y regula la circulación de la corriente eléctrica.

También hemos visto lo que es el campo magnético y las magnitudes básicas que lo determinan y definen.

Y finalmente, hemos visto que existe una relación íntima entre la electricidad y el magnetismo, pues ya conocemos que mediante la corriente eléctrica se pueden crear campos magnéticos, constantes o variables, de intensidad adecuada a las necesidades prácticas.

Pero no termina ahí es relación íntima entre la electricidad y el magnetismo, pues también produce el proceso inverso, es decir que bajo determinadas condiciones un campo magnético puede originar, crear, una corriente eléctrica.

Este fenómeno, por el que un campo magnético puede crear una corriente eléctrica, es el que vamos a ver a continuación y es de gran importancia, pues es la base de los sistemas industriales de producción de energía eléctrica a partir de la energía mecánica, así como de numerosos aparatos eléctricos.

TENSION INDUCIDA EN UN CONDUCTOR

Otra propiedad fundamental del electromagnetismo es la siguiente:

Cuando un conductor eléctrico se mueve transversalmente por un campo magnético, entre los extremos del conductor se induce, crea una fuerza electromotriz o tensión eléctrica.

Esto es un fenómeno natural que ocurre espontánea y realmente y que recibe el nombre de inducción magnética. Se dice que el conductor se ha inducido, generado, una fuerza electromotriz o tensión y dicha tensión recibe el nombre de tensión inducida. Al imán o electroimán que produce el campo magnético se les da el nombre general de inductor ya al conductor, espira, o conjunto de espiras en que se crea la tensión inducida, se les conoce con el nombre de inducido.

La figura 28 muestra un sencillo experimento que manifiesta este fenómeno y nos permite estudiarlo. Un conductor de longitud L , que cierra el circuito a través de un voltímetro muy sensible y con una escala de cero central, puede balancearse libremente entre los polos de un electroimán. El campo magnético creado entre los polos del electroimán es prácticamente homogéneo y la líneas de fuerza se dirigen, como sabemos, del N al S, de arriba a bajo en dicha figura.

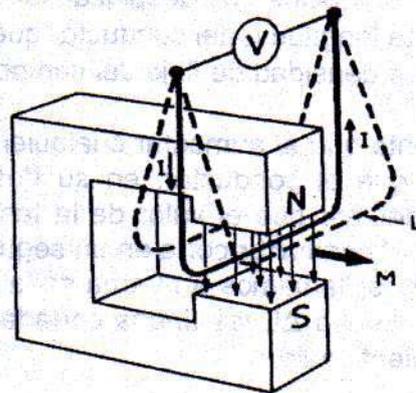


Figura 28. Al desplazarse el conductor se induce en el una tensión que señala el voltímetro

El experimento nos permite observar que:

- Al desplazar el conductor, hacia la derecha por ejemplo, la aguja del voltímetro se desplaza levemente.

- El desplazamiento de la aguja se mantiene mientras sigue moviéndose el conductor.
- Tan pronto cesa ese movimiento, la aguja vuelve a su posición cero.
- Si luego desplazamos el conductor hacia el otro lado, la aguja del voltímetro se desplaza en sentido contrario al anterior.
- Si desplazamos el conductor hacia delante (hacia fuera del papel) hacia atrás, hacia arriba o hacia abajo, no se produce desviación de la aguja.

Todo esto nos demuestra que:

- Cuando un conductor se desplaza perpendicularmente a las líneas de un campo magnético, "cortándolas", se induce en él una fuerza electromotriz, una tensión, entre los extremos del conductor.
- Si el conductor se desplaza en sentido paralelo a las líneas de fuerza, sin cortarlas, no se induce tensión en él.
- Solo se induce tensión mientras el conductor mantiene su movimiento.
- El sentido de la tensión inducida varía cuando varía el del movimiento del conductor.

Prosiguiendo el experimento, si se invierte la polaridad del campo magnético inductor (invirtiendo el sentido de la corriente por la bobina del electroimán), se observa que al mover el conductor en un determinado sentido, la aguja se desplaza en sentido contrario al que lo hacía anteriormente, lo que muestra que, también:

- El sentido de la tensión inducida varía cuando varía el sentido de las líneas de fuerza.

También podemos observar que la desviación de la aguja y, por tanto, el valor de la tensión inducida, aumenta cuando aumentamos:

- La velocidad de desplazamiento del conductor
- La longitud L del conductor que queda dentro del campo magnético.
- La densidad de flujo del campo magnético.

Y es evidente que al aumentar cualquiera de esos factores, aumenta el número de líneas de fuerza que el conductor, en su desplazamiento, corta en un segundo, por lo que podemos deducir que el valor de la tensión inducida depende del número de líneas de fuerza que el conductor corta en un segundo.

Por lo tanto, si llamamos A al área de la superficie "barrida" por el conductor de longitud L durante el tiempo Δt , las líneas cortadas, o sea, el flujo cortado por el conductor en su desplazamiento vale:

$$\Delta\Phi = B \cdot A$$

Donde:

B = densidad de flujo, en T

A = superficie "barrida", en m^2

$\Delta\Phi$ = flujo cortado, en Wb

Y el valor de la tensión inducida, será:

$$U = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Donde:

U = tensión inducida, en V

$\Delta\Phi$ = flujo cortado, en Wb

Δt = duración del movimiento, en s

En las formulas anteriores aparece un nuevo símbolo, es la letra griega mayúscula delta (Δ), que se emplea para indicar la variación o incremento de una magnitud. Así, se lee:

$\Delta\Phi$ = variación de flujo, Δt = variación de tiempo

Téngase en cuenta que la expresión Δt , por ejemplo, no significa el producto de Δ por t , sino la diferencia de tiempo que hay entre dos momentos determinados.

Por ejemplo, si $t_1 = 5$ s es el valor del tiempo en el momento 1 y $t_2 = 16$ s el tiempo en el momento 2, será:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 16\text{s} - 5\text{s} = 11\text{s}$$

A efectos de cálculo en las fórmulas, esta expresión Δt es un solo símbolo, un solo valor.

TENSION INDUCIDA EN UNA ESPIRA

En la práctica, al conductor que se desplaza por el interior del campo magnético se le da forma de espira (Fig.29) y se le dota de un movimiento de giro continuo.

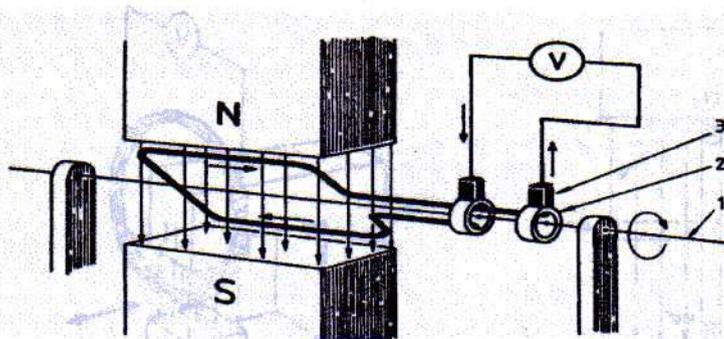


Figura 29. Al girar la espira varía el flujo que la atraviesa y se induce una tensión. 1, eje de giro. 2, anillos rozantes. 3, escobillas

Para que la espira pueda transmitir la tensión y la corriente inducida a un circuito exterior fijo, los extremos de la espira se unen a unos anillos rozantes, aislados entre si y apoyados en el eje de giro de la espira. Sobre esos anillos rozan dos escobillas, instaladas en posición fija, a través de las cuales pasa la tensión al circuito exterior.

En ese movimiento de giro, los dos lados de la espira cortan las líneas de fuerza del campo y se genera en cada una de ellos una tensión. El movimiento de cada lado es de sentido inverso, uno va hacia adentro cuando el otro va hacia afuera, por lo que en cada lado se induce una tensión de sentido inverso a la inducida en el otro; pero véase como ambas tensiones dan lugar al mismo sentido de circulación por la espira, con lo que la

tensión final que aparece entre los extremos de la espira es la suma de las tensiones inducidas en cada lado. Son dos fuentes de tensión conectadas en serie.

Al girar la espira, varía la cantidad de líneas de fuerza que atraviesa la espira.

Esta variación corresponde a las líneas de fuerza que los lados de la espira van cortando en su giro.

Por ello, en las espiras, para referirse al flujo cortado por el conductor, se habla ya de la variación de flujo que atraviesa y la propiedad fundamental que definimos antes para el conductor que se mueve en un campo magnético, queda expresada de la forma siguiente:

Al variar el flujo magnético que atraviesa una espira conductora, se induce en ésta una tensión eléctrica.

La cantidad de flujo que atraviesa a la espira depende de la posición de ésta, es decir, del ángulo que forma con las líneas de fuerza; por lo que, al girar la espira, varía la cantidad de flujo que la atraviesa. En la figura 30 se puede ver como esa cantidad es nula a los 0° y 180° (son paralelos) y máximo a los 90° y 270° (son perpendiculares). Cuanto más rápido gira la espira, más rápida es la variación de flujo y por tanto, mayor será la tensión inducida.

O sea, el valor de la tensión inducida aumenta al aumentar la velocidad de giro de la espira y, como es lógico, también aumenta si aumenta la densidad del campo magnético inductor o la longitud de los lados de la espira.

Sin embargo, con una sola espira solo se pueden alcanzar valores de tensión muy bajos, por lo que, para alcanzar valores de tensión adecuados a cada necesidad, se ha de recurrir al artificio de conectar en serie varias espiras (Fig. 31), formando una bobina, con lo que la tensión que aparece entre los extremos de la bobina es igual a la suma de las tensiones inducidas en cada espira.

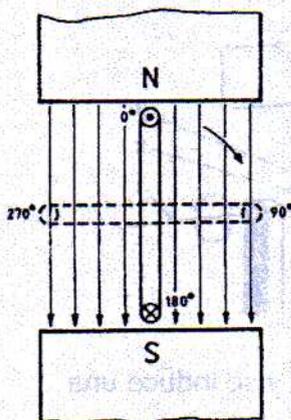


Figura 30. Al girar la espira, el flujo que la atraviesa es nulo a los 0° y 180° , y máximo a los 90° y 270°

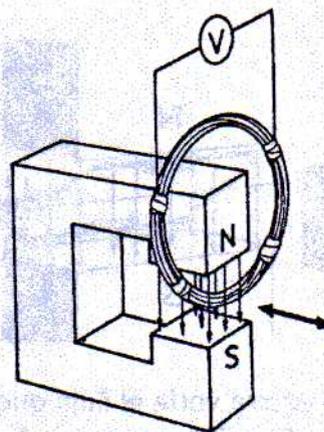


Figura 31. La tensión inducida en la bobina es igual a la suma de las tensiones inducidas en las cargas

Hasta ahora hemos visto lo que pasa cuando el imán, y por tanto su campo magnético, permanece fijo y que es el conductor el que se desplaza; pero si mantenemos fijo al conductor y desplazamos al imán, sus líneas de fuerza también "cortan" al conductor, por lo que en éste se produce también una tensión inducida.

Lo que cuenta es que las líneas de fuerza y el conductor se corten, o en el caso de la espira que varíe el flujo que la atraviesa, no importando si es el conductor o el campo magnético el que se desplaza (Fig. 32).

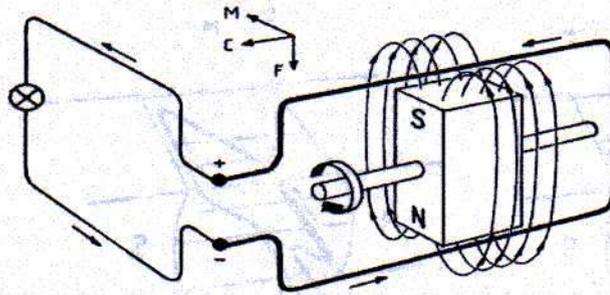


Figura 32. Si el campo magnético gira se induce tensión en la espira fija

También es posible que los dos estén en movimiento y también habrá inducción a condición de que no se muevan los dos a la misma velocidad y sentido. Se puede decir, por tanto, que se inducirá una tensión siempre que exista un movimiento relativo entre el conductor y el campo.

Conclusiones: Ya podemos obtener unas conclusiones de lo visto hasta ahora.

Siempre que un conductor recto o en forma de espira, corte las líneas de fuerza de un campo magnético, se induce en él una tensión, y una corriente si el circuito externo está cerrado. No importa que el movimiento lo tenga sólo el conductor, solo el campo magnético o bien ambos a la vez pero con diferente velocidad o sentido.

El valor de la tensión inducida depende y será mayor cuanto mayor sea:

- La densidad de flujo del campo magnético inductor
- La velocidad relativa del conductor con respecto al campo magnético
- El número de espiras en serie que cortan las líneas de fuerza.

SENTIDO DE LA TENSION INDUCIDA

La tensión producida por inducción no se diferencia, en principio, con la producida por otro tipo de generador, por ejemplo una batería. En un extremo del conductor, de la espira, o de la bobina, aparece una tensión (+) y en el otro extremo una tensión (-). Si se unen ambos extremos a través de un circuito exterior y del (-) al (+) por el interior del cable o bobina generadora.

Sin embargo, entre estos generadores por inducción y la batería hay una diferencia importante. La polaridad de la batería se mantiene constante, mientras que la polaridad de la corriente inducida en la espira no es constante, pues varía cuando varía el sentido de movimiento de los lados de la espira con respecto a las líneas de fuerza.

Cuando la espira gira en el sentido de las agujas del reloj, por ejemplo, el lado izquierdo de la espira va cortando líneas de fuerza desde abajo hacia arriba (Fig. 33a), hasta que la espira ha completado su medio giro y llega a su posición vertical, perpendicular totalmente a las líneas de fuerza.

A partir de ese momento, ese mismo lado de la espira hará el semigiro por la parte derecha, y cortará a las líneas de fuerza desde arriba hacia abajo (Fig. 33b).

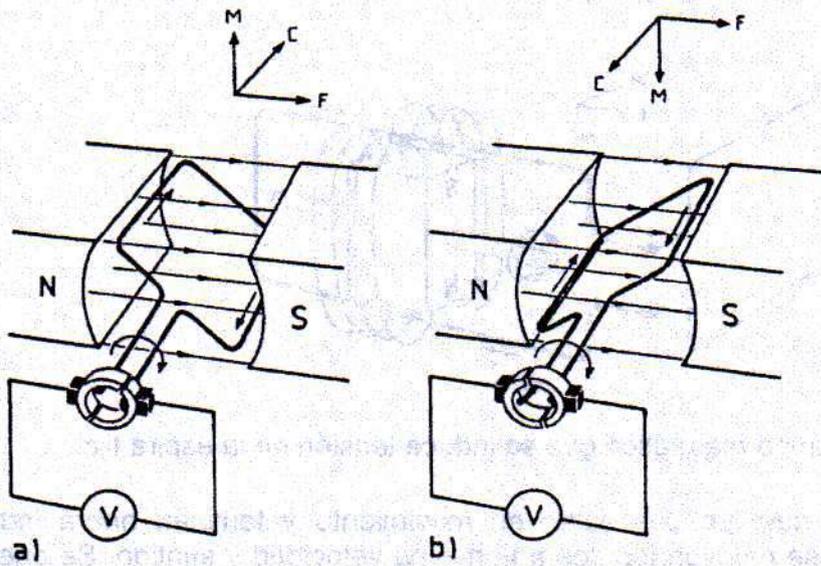


Figura 33. Cada media vuelta se invierte el sentido del movimiento de los lados de la espira, con lo que se invierte también el sentido de la corriente inducida en cada lado

Vemos como ese lado de la espira cambia el sentido de su movimiento en cada semivuelta de giro. Y en consecuencia, también cambiará cada semivuelta la polaridad de la tensión inducida y el sentido de la corriente.

Como hemos visto, el sentido de la corriente inducida, depende del sentido de las líneas de fuerza del campo magnético y del sentido del movimiento relativo del conductor.

Para determinarlo, se emplea la regla de los tres dedos de la mano derecha (Fig. 34):

Se extienden los dedos pulgar, índice y corazón de la mano derecha de forma que los tres dedos formen ángulos rectos. Si ponemos la mano de forma que el pulgar señale el sentido del movimiento (M) del conductor y el índice el sentido de las líneas de fuerza (F), el dedo corazón señalará el sentido de la corriente (C).

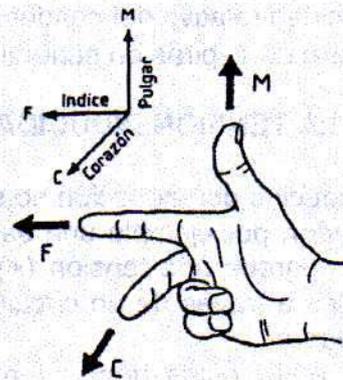


Figura 34

Para mejor recordar esta regla podemos utilizar el truco de acordarnos de que las letras M, F y C corresponden a los dedos con su nombre en orden alfabético inverso. En la figura 35 se presentan cuatro diferentes posibilidades de movimiento relativa entre espira y líneas magnéticas en las que la posición de los dedos determina el sentido de la corriente inducida.

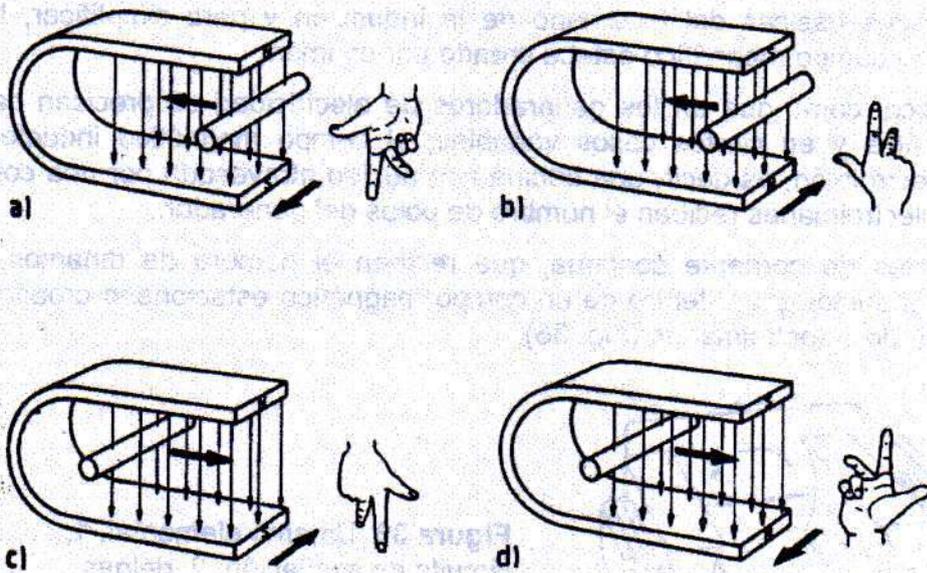


Figura 35. Diversos ejemplos de la regla de los tres dedos de la mano derecha para determinar el sentido de la corriente inducida

Ley de Lenz

La dirección de la corriente inducida depende de la variación del flujo magnético que la produce. Esta relación queda determinada por la llamada de Ley de inducción de Lenz, que dice:

La tensión inducida hace circular una corriente por un circuito cerrado en una dirección tal que su efecto magnético se opone a la causa que la produce.

O sea, si por ejemplo, la causa de la tensión inducida ha sido una disminución del campo magnético inductor, la dirección de la corriente inducida será tal que el campo magnético que a su vez crea, será de igual sentido que el campo magnético inductor, así, ese segundo campo se suma al primero tratando de oponerse a que esté disminuya.

Por el contrario, si el campo inductor aumenta, la corriente inducida tendrá una dirección tal que creará un campo magnético cuyo sentido será inverso al campo inductor, para restarse a él y oponerse a su aumento.

Métodos para inducir corrientes

La inducción electromagnética se puede aprovechar de tres maneras:

- Para generar corriente.
- En inducción mutua.
- En auto-inducción.

Veamos cada uno de estos sistemas.

Generación de corriente

En las explicaciones básicas del fenómeno de la inducción y para simplificar, hemos considerado que el campo magnético estaba creado por un imán

Pero en la práctica, como que en los generadores de electricidad se precisan campos magnéticos potentes y en ciertos casos variables, el campo magnético inductor está creado por un electroimán, es decir, una bobina con núcleo atravesada por una corriente eléctrica. Estos electroimanes reciben el nombre de polos del generador.

En los generadores de corriente continua, que reciben el nombre de dinamos, unas espiras de hilo conductor giran dentro de un campo magnético estacionario creado entre los polos N y S de dos electroimanes (Fig. 36).

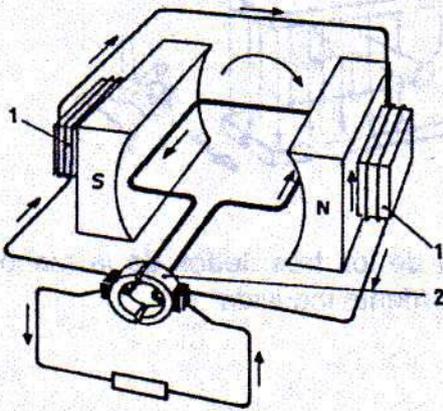


Figura 36. Dinamo elemental. 1, circuito de excitación. 2, delgas del colector.

Aplicando la regla de los tres dedos de la mano derecha a cada uno de los lados de la espira, se comprueba como la tensión y corriente inducida tienen la dirección que indican las flechas de la figura. La corriente, a través de las delgas del colector y de las escobillas, pasa al circuito exterior con la polaridad indicada en la figura.

En los generadores de corriente alterna, llamados *alternadores*, es el campo magnético creado por un electroimán el que gira dentro de unas espiras de hilo conductor fijas (Fig. 37).

Aplicando la regla de los tres dedos de la mano derecha sobre el lado superior de la espira, por ejemplo, comprueba el sentido de la corriente inducida. El sentido de las líneas de fuerza es hacia arriba, pues salen por el N. El sentido del movimiento es el relativo del conductor con respecto al campo, por eso es el contrario al de giro del campo.

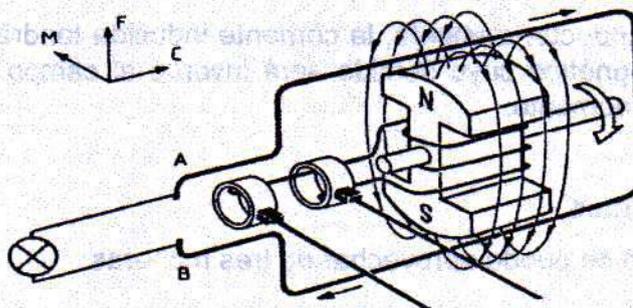


Figura 37. Alternador elemental. La espira está fija y el campo magnético creado por un electroimán giratorio

Inducción mutua

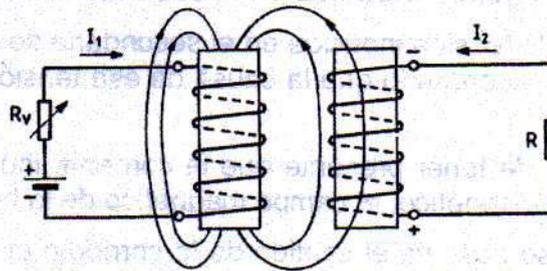
Hemos visto que cuando varía el flujo magnético que atraviesa a una espira, o lo que es análogo, a una bobina, se genera en ésta una tensión inducida.

Hasta ahora hemos supuesto que esa variación se produce por giro de la espira o del campo magnético. Sin embargo si ambos permanecen fijos pero varía la densidad de flujo del campo magnético inductor, también variará el flujo total que a viesa la bobina por lo que también se genera en ésta una tensión inducida.

La variación de la densidad de flujo inductor se puede conseguir alejando o acercando el imán, o variando la intensidad de corriente que circula por la bobina de un electroimán fijo.

Por tanto, cuando varía la intensidad de la corriente que circula por una primera bobina, llamada bobina primaria o circuito primario, varía el flujo magnético creado por esa bobina si ese flujo variable corta las espiras de una segunda bobina, llamada bobina secundaria o circuito secundario, se induce en ésta una tensión y corriente (Fig. 38).

Figura 38. Inducción mutua entre dos bobinas. La corriente primaria aumenta



La inducción de una tensión entre dos bobinas que pertenecen a circuitos distintos recibe el nombre de inducción mutua. Este fenómeno es de gran importancia técnica, pues es la base de los transformadores y de las bobinas de encendido de los motores de explosión, entre otras aplicaciones.

En la figura anterior, las dos bobinas están arrolladas sobre núcleos distintos. Pero también pueden estar arrolladas las dos sobre un mismo núcleo, aunque sigan perteneciendo a dos circuitos eléctricos separados, tal como ocurre en la bobina de encendido de los motores de explosión. En ella (Figs. 39 y 40) sobre un núcleo de hierro va arrollada una bobina de hilo fino, la bobina secundaria, que cierra circuito a través de una resistencia y sobre ella va arrollada otra bobina de hilo grueso la bobina primaria, que está alimentada por una batería.

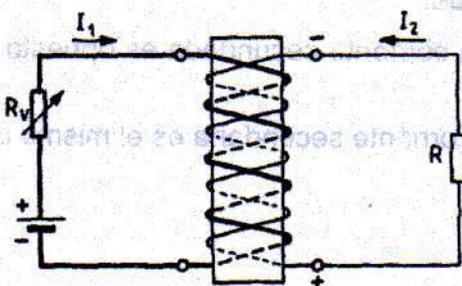


Figura 39. Inducción mutua entre la bobina primaria y la secundaria cuando la corriente primaria aumenta

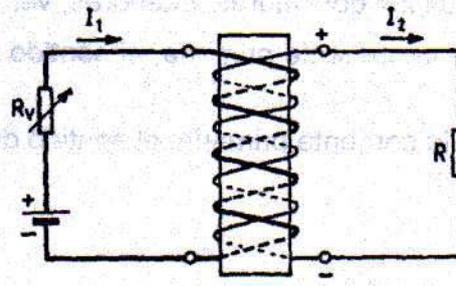


Figura 40. Inducción mutua entre el primario y el secundario cuando la corriente primaria disminuye

Cuando el interruptor cierra el circuito primario, empieza a pasar por la bobina primaria una corriente cuya intensidad aumenta rápidamente desde un valor inicial cero hasta el valor máximo que determina la ley de Ohm.

Esta intensidad primaria crea un campo magnético que aumenta con dicha intensidad de corriente. Como el flujo variable de ese campo atraviesa las espiras de la bobina secundaria, se induce en ella una tensión y una corriente que cierra a través del circuito secundario.

Análogamente, al abrir el interruptor del circuito primario, la disminución brusca de la corriente primaria y del campo magnético que creaba, induce una tensión en el secundario.

La bobina secundaria se convierte así en una fuente de tensión que hace pasar una corriente por su circuito externo.

Polaridad de la tensión inducida en el secundario de una bobina

La polaridad de la tensión inducida en el secundario se puede determinar con la ayuda de la ley de Lenz y recordando que la causa de esa tensión inducida es la variación del flujo primario.

También hemos de tener presente que la corriente inducida en el secundario crea, a su vez, otro campo magnético, el campo magnético de la bobina secundaria.

Para empezar, se observa el sentido de la corriente en el primario y por la primera regla de la mano derecha se determina el sentido del campo magnético primario. Cuando la corriente primaria y el campo primario aumentan, el campo de la bobina secundaria tendrá sentido opuesto al de la primaria, pues así trata de oponerse a ese aumento. Conocido el sentido del campo secundario, por la regla de la mano derecha se determina el sentido de la corriente secundaria (Fig. 39).

Cuando la corriente primaria y el campo primario disminuyen, el campo de la bobina secundaria tendrá el mismo sentido que el de la primaria, para sumarse a éste, como tratando de oponerse a su disminución. Conocido el sentido del campo secundario, se determina el sentido de la corriente secundaria inducida (Fig. 40).

La polaridad de la tensión inducida queda determinada por los puntos de salida (+) y de entrada (-) de la corriente.

En el caso de que las dos bobinas estén arrolladas sobre el núcleo en el mismo sentido, como ocurre en las dos figuras anteriores, vemos que:

- Al aumentar la corriente primaria, el sentido de la corriente secundada es opuesto al de la primaria.
- Al disminuir la corriente primaria, el sentido de la corriente secundaria es el mismo que el de la primaria.

Auto-Inducción

Sabemos que cuando en el seno de un campo magnético variable hay una bobina, en ella se induce una tensión, aunque dicha bobina esté fija.

Pero, ¿qué ocurre con la bobina que crea ese campo magnético variable? Como no hay duda de que está en el seno de ese campo variable, también en ella se inducirá una tensión.

Esta inducción que se genera en el propio circuito recibe el nombre de *auto-inducción*, para distinguirla de la inducción que se produce entre dos circuitos diferentes y que sabemos se llama inducción mutua.

Es preciso que este fenómeno se entienda bien pues es la base del funcionamiento de la bobina de encendido. Profundicemos un poco en él: Cuando circula una corriente (I) de intensidad variable por una bobina, dicha bobina, por su parte, tendrá aplicada entre sus bornes la tensión externa variable (U_0) y, por otra parte, se genera en ella otra tensión, la tensión autoinducida (U_{in}).

La polaridad de esta tensión autoinducida se puede determinar por la ley de Lenz.

Cuando la corriente aumenta, como quiera que este aumento es la causa de la inducción y la tensión inducida es el efecto, para que el efecto sea opuesto a la causa la tensión inducida U_i debe ser opuesta a la corriente, y por tanto opuesta a la tensión U_0 aplicada.

Cuando la corriente disminuye, la tensión inducida tendrá el mismo sentido que la corriente sumándose a la tensión inicial, oponiéndose así a la disminución de la corriente.

De esta forma vemos que la auto-inducción da lugar a una contra-tensión y como consecuencia, da lugar al siguiente fenómeno:

Como consecuencia de la autoinducción la corriente de la bobina aumenta más lentamente y disminuye también más lentamente de lo que lo haría sino existiera la auto-inducción.

Quede bien claro que en todo momento hemos hablado de variación de intensidad de corriente, pues sólo hay auto-inducción mientras subsiste esa variación. En el momento en que la intensidad se mantiene constante, sin ningún tipo de variación, la tensión auto-inducida desaparece.

Las bobinas con núcleo de hierro en las que se aprovecha el fenómeno de la auto-inducción para provocar una sobretensión variando la intensidad de la corriente, reciben el nombre de *inductancias*.

La inductancia

El valor de la tensión auto-inducida en una bobina depende de varios factores.

Por una parte depende del número de espiras de la bobina y del flujo. Este flujo, a su vez, depende de la permeabilidad del material del núcleo y de la longitud y diámetro de la bobina.

Todas estas características de la bobina, la permeabilidad del núcleo, el número de espiras, la longitud y el diámetro determinan una nueva magnitud llamada inductancia de la bobina o coeficiente de auto-inducción.

El símbolo de la inductancia es L y su unidad es el henrio cuyo símbolo es la letra H y se define del siguiente modo:

Una bobina tiene una inductancia de 1 henrio cuando una corriente que aumenta o disminuye 1 amperio en 1 segundo, induce en ella una tensión de 1 voltio.

Por otra parte, el valor de la tensión hemos visto ya que depende de la variación de la intensidad y de la rapidez con que esta variación se produce.

El valor de esta tensión auto-inducida, se puede determinar con la fórmula:

Donde:

$$U_{in} = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

U_{in} = Tensión inducida, en V

L = Inductancia, en H

ΔI = Variación de corriente, en A

Δt = variación de tiempo en segundos

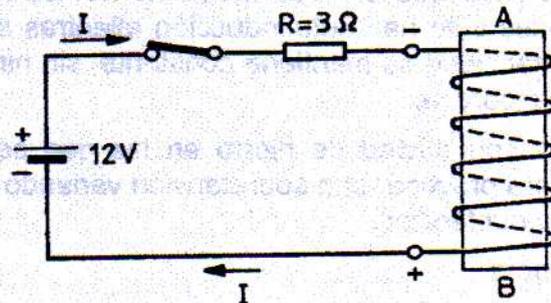
En esta fórmula aparece de nuevo la letra delta mayúscula (Δ), que ya sabemos indica la variación de la magnitud a la que precede y acompaña. Recordemos que Δt no indica un producto, solo indica una variación de tiempo, un tiempo en definitiva.

Aplicación a las bobinas de encendido

El funcionamiento de las bobinas de encendido de los motores de explosión está basado en los fenómenos electromagnéticos de la auto-inducción y de la inducción mutua, por lo que vamos a ver esta aplicación practica con un poco más de de talle.

Veamos primero el circuito que muestra la figura 41. En él, una batería de 12V alimenta a una bobina con núcleo de hierro. La resistencia real de esta bobina es de 3 ohmios, pero en el esquema se supone que la bobina no tiene resistencia y a cambio se añade una resistencia externa con ese valor de 3 ohmios, lo que, a efectos eléctricos, es equivalente.

Figura 41. Al aumentar la corriente que circula por una bobina la tensión autoinducida se opone a la tensión de la batería, tratando de evitar ese aumento

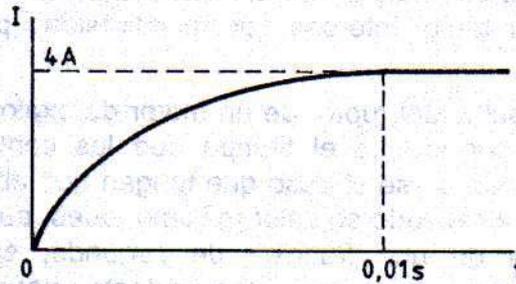


Al cerrar el interruptor, la corriente aumenta desde cero hasta su valor máximo, que según la ley de Ohm, será de 4 A. Mientras la corriente aumenta de intensidad, se genera una tensión auto-inducida que intenta evitar ese aumento de la corriente. La tensión auto-inducida tendrá su positivo en el extremo A de la bobina y su negativo en el extremo B.

La batería acaba venciendo a la auto-inducción e impone una corriente continua de 4 A, pero la auto-inducción ha retardado el momento en que dicho valor se ha alcanzado.

En la figura 42 muestra la variación del valor de la intensidad después del instante en que se cierra el interruptor. Vemos como los 4 A no se alcanzan instantáneamente, sino 0,01 segundos después. Es tiempo es muy pequeño, pero tiene su importancia.

Figura 42. Retardo con que se establece la intensidad nominal a causa de la tensión autoinducida



Por otra parte, al abrir el interruptor (Fig. 43) la corriente disminuye de 4 A a cero. También ahora la tensión auto-inducida trata de impedir esa disminución y tiene la polaridad indicada en la figura, con lo que la bobina intenta seguir entregando corriente en la misma dirección que tenía la que hacía circular la batería. Esta es la causa de que salte un arco eléctrico al abrir el interruptor y del retraso del momento en que la corriente se anula.

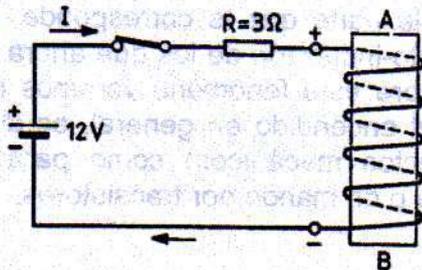


Figura 43. Al disminuir la corriente que circula por una bobina, la tensión autoinducida se suma a la tensión de la batería, tratando de evitar la disminución de la corriente

La bobina de encendido de los motores de explosión sabemos que contiene una bobina primaria y otra secundaria arrolladas sobre un mismo núcleo.

Cuando se cierran los contactos del ruptor situado en el circuito primario, se establece en éste una corriente y ésta produce un campo magnético. Cuando luego se abren los contactos, la corriente disminuye rápidamente a cero y también disminuye su campo magnético, con lo que, por inducción mutua, en la bobina secundaria se induce una tensión que hace saltar una chispa eléctrica entre los dos electrodos de la bujía.

Como toda chispa eléctrica supone un consumo de energía el secundario ha tenido que recibir esa energía desde el primario por inducción mutua. El primario, por su parte, la ha ido almacenando durante el corto periodo en que su corriente ha pasado de cero a su valor constante.

Y si tenemos en cuenta que el valor de la energía almacenada en una bobina se calcula por la fórmula:

$$E = \frac{L \cdot I^2}{2}$$

Donde:

- E = energía almacenada, en julios (J)
- L = inductancia, en H
- I = intensidad, en A

Vemos que, cuanto mayor sea la intensidad mucho mayor será la energía almacenada, y viceversa. Por tanto, interesa que la intensidad primaria alcance un valor lo más alto posible.

Pero los contactos del ruptor de un motor de explosión cierran y abren muchas veces en un segundo, por lo que el tiempo que los contactos permanecen cerrados es muy pequeño y puede darse el caso que tengan que abrir de nuevo antes de que la corriente primaria haya alcanzado su valor máximo, pues, aunque el retardo provocado por la auto-inducción sea de una fracción de segundo, éste puede ser demasiado largo en comparación con el tiempo que los contactos permanecen cerrados. En ese caso, en la bobina de encendido no se almacena toda la energía posible y la chispa será pobre, lo que puede provocar anomalías en el encendido y en la combustión de la mezcla del motor.

Vemos pues que el retardo introducido por la auto-inducción de la bobina al cerrarse los contactos del ruptor tiene mucha importancia. Por ello, cuando se realizan las operaciones de control y puesta a punto del sistema de encendido de un motor, se ha de comprobar siempre que el tiempo que los contactos permanecen cerrados no haya sufrido disminuciones.

El estudio pormenorizado del circuito de encendido no lo vamos a hacer en el presente fascículo sino en el dedicado al tema y también, en la parte que le corresponde. Allá haremos referencia a los principios teóricos sobre la auto-inducción de los que ahora nos ocupamos, pero los conocimientos adquiridos aquí sobre este fenómeno veremos más adelante que tienen una gran aplicación práctica en el encendido en general, es decir, tanto para el encendido de Delco y batería (contactos mecánicos) como para los encendidos electrónicos ya sean de descarga capacitiva o de mando por transistores.

Corrientes de Foucault

Ya sabemos que en todo hilo o cable conductor, sometido a variaciones de flujo magnético, se induce una fuerza electromotriz y, por consiguiente, una tensión y una corriente inducidas.

Pero lo que es válido para un hilo o cable conductor, también lo es para una masa conductora. Sabemos que los núcleos de los electroimanes, el sistema inductor de las máquinas eléctricas, etc. están constituidos por hierro, es decir, por una masa conductora, que quedará sometida, durante su funcionamiento, a las variaciones del flujo magnético que la atraviesa. Como consecuencia, se producirán corrientes inducidas que se cierran sobre la misma masa y que se denominan *corrientes parásitas* o, también, *corrientes de Foucault*.

Por lo general, estas corrientes parásitas resultan perjudiciales para el buen funcionamiento de las máquinas, pues, por una parte producen calentamientos inadmisibles en las masas conductoras, que, de acuerdo con la ley de Joule que veremos próximamente, son proporcionales al cuadrado del valor de estas corrientes.

Y, por otra parte, aparece una fuerza de oposición al giro de esas masas conductoras, oposición que será tanto más energética cuanto mayor sea el valor de esas corrientes parásitas y la velocidad de giro de dichas masas. Recordemos que cuando un conductor por el que circula una corriente eléctrica se encuentra situado dentro de un campo magnético, el conductor tiende a moverse.

Como veremos, los efectos de ambos fenómenos son proporcionales al valor de la corriente por lo que, para disminuir esos efectos, los núcleos de las máquinas eléctricas, electroimanes, transformadores, etc., no se construyen macizos, sino compuestos de chapas magnéticas delgadas, aisladas entre sí por ligeras capas de barniz aislante. La figura 44 permite ver como, mediante este artificio, la longitud de la masa conductora es menor y, en consecuencia, la intensidad de las corrientes parásitas inducidas es también mucho menor.

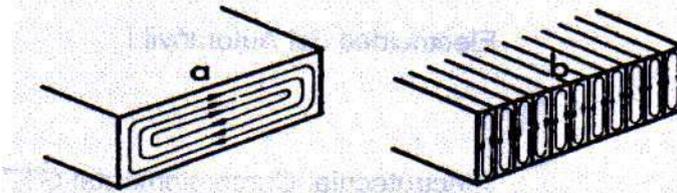


Figura 44. Corrientes parásitas en los núcleos magnéticos de las máquinas eléctricas. A) Núcleo magnético macizo, b) Núcleo magnético laminado.

En corriente continua, las corrientes parásitas sólo aparecen cuando hay órganos en movimiento. Por ello, los electroimanes para corriente continua pueden construirse con núcleos macizos; pero los generadores y motores de corriente continua se construyen con todas sus partes de hierro (núcleos inductores, núcleos del inducido, etc.) en forma de chapas superpuestas y aisladas.

En corriente alterna, como ésta tiene un valor que varía constantemente, hay variación continua de flujo, por lo que siempre aparecen corrientes parásitas y todas las máquinas y dispositivos eléctricos para corriente alterna que lleven partes de hierro, estos deben construirse en forma de chapas superpuestas y aisladas.

BIBLIOGRAFÍA

1. **TOYOTA MOTOR CORPORATION:**Manual de Entrenamiento "Fundamentos de Electricidad"- Volumen 14 – Etapa 2
2. **CEAC:** Electricidad del Automóvil I
3. **HEINRICH HUBSHER :** Electrotecnia, Curso elemental GTZ
JURGEN KLAUE
WERNER PFLUGER
SIEGFRIED APPELT
4. **MIGUEL DE CASTRO VICENTE :** Manual del Alternador, Batería y Motor de Arranque
5. **GERSCHLER, H.:** Tecnología del Automóvil, Tomo 1 GTZ.
 Traducción al Español de la 20va Edición Alemana, Editorial Reverté S. A., Barcelona, España, 1986.