

1. TIPOS E FORMAS DE MANIFESTARSE E PRODUCIR ELECTRICIDADE

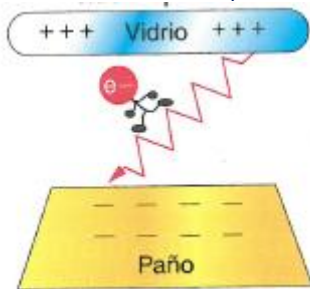
A electrostática é a ciencia que se ocupa das cargas eléctricas en repouso sobre unha superficie. Os fenómenos electrostáticos son de moi difícil observación debido á pequena cantidade de cargas que producen as reaccións mutuas entre cargas en repouso. Hoxe en día, na industria de fabricación de compoñentes electrónicos, aparecen problemas creados pola carga electrostática, debido á gran sensibilidade dos semicondutores e dos circuitos integrados á electricidade electrostática.

1.1. Métodos de electrización dos corpos

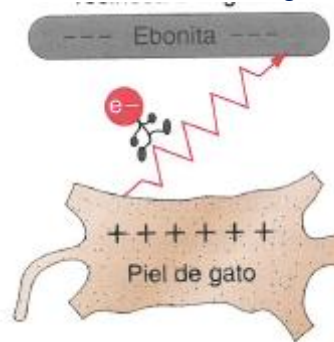
Os corpos pódense electrizar conectándoos a unha fonte de enerxía eléctrica (electrodinámica), ou mediante os seguintes métodos electrostáticos:

- Por **fricción**, como no caso do ámbar; ou por indución no que non hai contacto entre os corpos e si unha aproximación.
- Por **contacto, condensación ou acumulación** de carga eléctrica.

Electricidade vítrea ou positiva



Electricidade resinosa ou negativa



1.2. O fenómeno electrostático, manifestación e aplicacións

O **fenómeno electrostático** é a transferencia de electróns da superficie dun corpo á superficie de outro corpo, sen produción de carga.

Os fenómenos electrostáticos preséntase con frecuencia na nosa vida cotiá ao frotar un peite co pelo, tocar unha pantalla do televisor, abrir a porta do coche, etc. Estes fenómenos maniféstanse sen que aparentemente fagamos nada para producilos

Na actualidade, para evitar os seus efectos prexudiciais, constrúense moquetas antiestáticas, protéxense os postos de traballo e efectúase o apantallamento electrostático de embalaxes e aparatos eléctricos e informáticos (filtro da pantalla do ordenador conectado a terra).

Exemplos das aplicacións da electrostática, é dicir, a atracción entre cargas de signo contrario e a repulsión entre cargas de igual signo, poden ser:

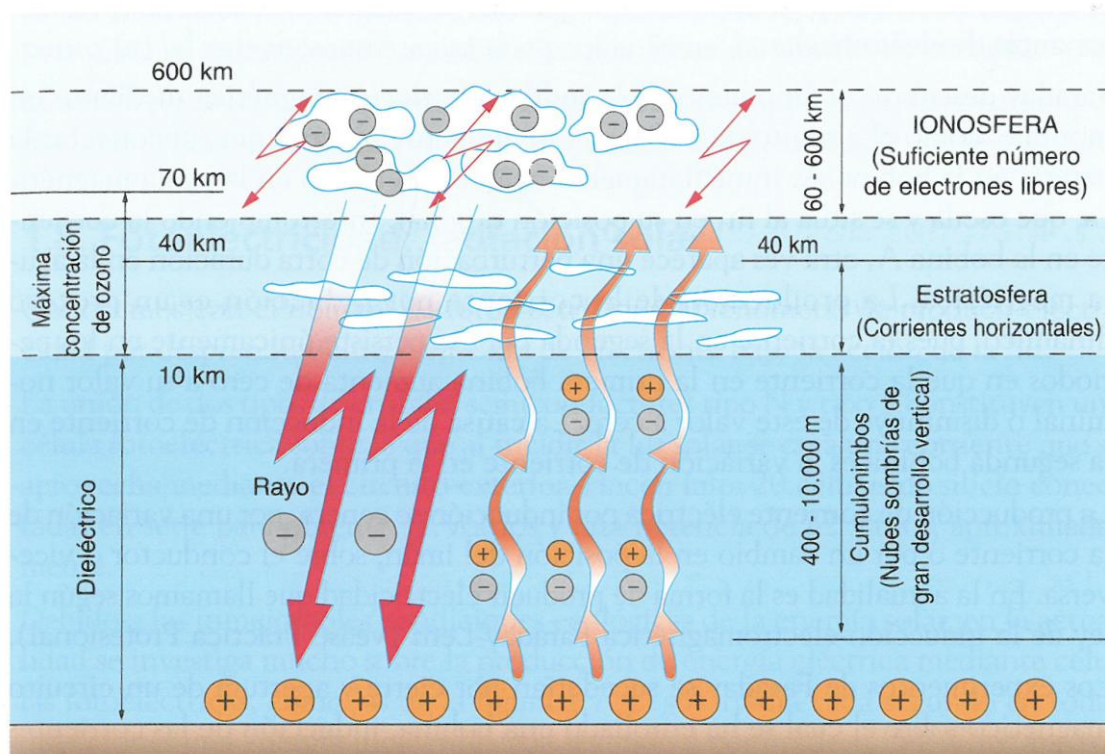
- A fabricación de lixa ou papel abrasivo.
- A construción de precipitadores electrostáticos para a recollida de po.

- A técnica das fotocopiadoras.
- A pintura por asperxido.

Nas anteriores aplicacións o que se produce é a separación de cargas de signo contrario.

1.3. Electricidade atmosférica: campo eléctrico natural

Prodúcese o fenómeno tormentoso polo desenvolvemento, a alturas entre 400 e 10.000 m, de potentes nubes de desenvolvemento vertical que van cargadas estaticamente, ata que o efecto de cizalladura, produce a descarga do campo eléctrico, que se dirixe cara abaixo a través do raio.



As cargas eléctricas que existen na ionosfera xeran un campo eléctrico natural ao que estamos permanentemente sometidos. A magnitude coa que se mide é a intensidade de **campo eléctrico** e a súa unidade é o voltio/metro, **V/m**.

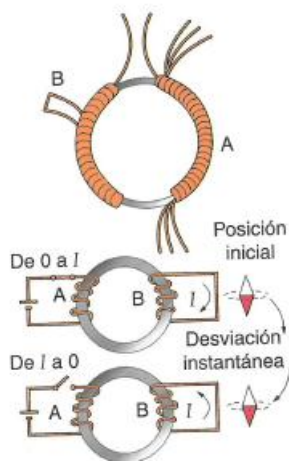
Os valores de campo eléctrico creado no intre do raio varían moi rapidamente e liberan grande cantidade de enerxía que poden producir grandes catástrofes e ningunha aplicación útil.

1.4. Electricidade dinámica: por reacción química e por indución electromagnética

O paso seguinte ao estudo das accións mutuas das cargas eléctricas en repouso foi a produción de carga eléctrica e que facer que esa carga circulase a través dun circuíto. Deste xeito naceu a **electrodinámica** que é a ciencia que estuda os fenómenos e aplicacións da electricidade en movemento

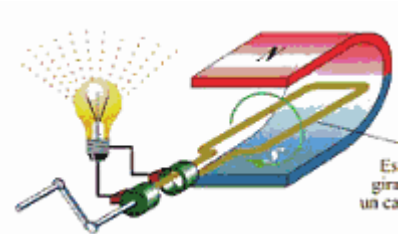
A electrocinética é unha rama da electrodinámica que se ocupa dos efectos caloríficos das correntes conducidas e da distribución das correntes nunha rede, a principal aplicación é a produción de luz e de calor.

Os pioneiros no estudio da electrodinámica foron Luigi **Galvani** e Alejandro **Volta** (século XVII), que observaron o efecto da electricidade en animais. Volta descubriu que a electricidade produciase no par galvánico que formaba a unión dos dous diferentes metais (xerador) cos que tocaba a anca de ra (receptor). Nace así a pila eléctrica como aparello que transforma directamente en enerxía eléctrica a enerxía desenvolvida nunha reacción química de oxidación-redución (perda - ganancia de electróns).



Faraday descubriu o fenómeno de **indución electromagnética** mediante unha montaxe como o que se pode ver na figura, no que observou que, ao conectar a batería na bobina A, aparece un efecto na agulla magnética, que oscila e se sitúa ao final na posición orixinal. Tamén, cando se interrompe a corrente na bobina A, aparece outra vez unha perturbación na agulla magnética. A produción da corrente por indución é un fenómeno dinámico xa que a corrente pola segunda bobina, B, persiste unicamente nos períodos nos que a corrente pola primeira bobina aumenta de cero a outro valor ou diminúe desde un valor ata cero. A **causa** da indución de corrente na segunda bobina é a **variación** da corrente na primeira.

Na actualidade, a produción de corrente eléctrica baseada nestas experiencias é o que se coñece como a produción segundo a **lei de indución de Faraday Lenz**. Cando se move un condutor eléctrico (fío metálico) no seo dun campo magnético (imán ou electroimán) aparece unha corrente eléctrica polo devandito condutor. O mesmo acontece se se move o imán e se deixa fixo o condutor. Nun xerador eléctrico fanse mover bobinas en sentido xiratorio nas proximidades de campos magnéticos producidos por imáns ou electroimáns.



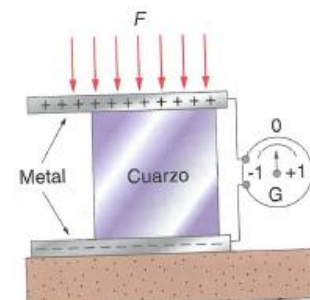
A **enerxía química** liberada pola combustión de fósiles é a fonte principal de enerxía primaria utilizada na actualidade.

Ademais das formas de producir **electricidade estática** (fricción ou indución) e **dinámica** (reacción química ou por indución electromagnética) pódese producir electricidade mediante outras formas que se indican a continuación.

1.5. **Piezoelectricidade: transdutor electromecánico.**

Coñécese por **piezoelectricidade** aos fenómenos eléctricos producidos por tensións mecánicas que determinan a aliñación dos cristais dos minerais. Esta propiedade só aparece en determinados minerais como o seixo, a turmalina, a blenda, etc.

Ao efectuar unha presión sobre as placas metálicas, as cargas do

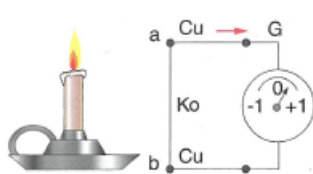


material presionado, o cuarzo, aparecen nas placas metálicas, fenómeno que pode observarse na desviación do galvanómetro, G. Na actualidade, a aplicación da piezoelectricidade está moi estendida no uso de chisqueiros de gas, micrófonos e auriculares de teléfonos móbiles.

Un **transdutor** é un dispositivo que pode ser estimulado por unha onda dun sistema de transmisión e subministrar as ondas correspondentes nun sistema de transmisión distinto. O termo onda aquí é utilizado no sentido máis amplo posible, e inclúe conceptos tales coma enerxía, sinal, corrente, tensión, presión, movemento... e tanto se os sinais de entrada e saída don do mesmo tipo ou diferente.

1.6. Termoelectricidade: acción do calor.

Coñécese como **termoelectricidade** ao efecto de producir electricidade mediante a acción do calor, **Melloni** en 1830, construíu a primeira pila térmica: unha serie de barras de dous metais diferentes producen corrente cando un dos extremos se quenta.



Na figura pode verse un par termoelectrico (termopar) formado pola soldadura dun conductor de constantán (Ko) cun fío de cobre (Cu). Quentando o punto a, o galvanómetro acusa unha pequenísima desviación de corrente.

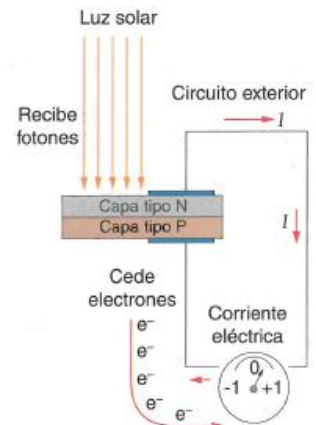
A termoelectricidade só ten aplicacións importantes para os equipos de medida, onde se precisan medir determinadas temperaturas.

1.7. Fotoelectricidade: radiación solar.

Coñécese co nome de **fotoelectricidade** ao fenómeno de producir electricidade por desprendemento ou emisión de electróns baixo a acción da luz.

A unión de dous tipos de cristais semicondutores tipo N e tipo P constitúen unha célula fotoeléctrica sobre a que ao incidir a luz solar créase unha corrente que se aproveita mediante o circuíto exterior.

Na actualidade invéstigase moito sobre a produción de enerxía eléctrica mediante células fotoeléctricas como a representada na figura. O sol irradia cada segundo en todas direccións unha enerxía incidente por m^2 de $1,35 \text{ kW/m}^2$ aproximadamente. Este valor chámase constante solar e para os cálculos utilízase normalmente 1 kW/m^2 como valor real de radiación que incide sobre unha superficie.



1.8. Piroelectricidade: cambio de temperatura.

Coñécese co nome de **piroelectricidade** á xeración de electricidade nun corpo calquera por cambios na súa temperatura.

O fenómeno piroeléctrico prodúcese en determinados cristais hemiédricos (perden o seu centro de simetría como é o caso da blenda, a boracita, o topacio) que teñen a propiedade de crear cargas eléctricas na súa superficie cos cambios da súa temperatura. Cando se lles somete

a unha variación de temperatura, unha das extremidades do eixo principal cárgase positivamente e o outro negativamente.

Practicamente non ten aplicación.

2. XERACIÓN E CONSUMO DE ELECTRICIDADE

2.1. Previsións enerxéticas

No mundo moderno, as comunicacións, o transporte, o abastecemento de alimentos, e a maior parte do ocio e os servizos aos fogares, oficinas e fábricas dependen dunha **subministración fiable** de enerxía eléctrica.

A importancia da electricidade estriba en que practicamente non hai actividade do ser humano, hoxe en día, na que non sexa utilizable para a fabricación dos obxectos que cubran as nosas necesidades.

Para satisfacer o crecemento eléctrico anual previsto do 2% (en proxección media ata o ano 2030) precísase un aumento espectacular da produción de electricidade. A produción mundial pasou desde 0 en 1900 a 400.000 millóns de kWh en 1960 e duplicándose a produción cada seis anos. A comezos do século XXI o consumo mundial de electricidade cífrase nuns 18.000 TWh ($1\text{ TW} = 10^{12}\text{ W}$).

En España, en 1996, dispoñíanse para o consumo 163.827 GWh ($1\text{ GW} = 10^9\text{ W}$) e perdíanse en transporte e distribución 14.140 GWh. No 2007, xeráronse 300.000 GWh.

O sistema enerxético mundial prevese que siga dominado polos combustibles fósiles que representarán o 90 % da subministración total de enerxía no ano 2030. O petróleo e o carbón representarán o 35% e o 30% mentres que o gas natural a cuarta parte da subministración enerxética.

En 2030 máis da metade da produción procederá de tecnoloxías como as turbinas de ciclo combinado, as tecnoloxías avanzadas do carbón e as enerxía renovables	XERACIÓN	Térmica	Petróleo Carbón	Gas natural
			Nuclear	
		Renovable	Hidráulica Eólica Solar	Mareomotriz Biomasa

2.2. Clasificación das fontes de enerxía

As distintas fontes de enerxía pódense clasificar segundo varios criterios, vexamos algúns:

A. Pola súa dispoñibilidade:

- **Enerxías renovables.** Son aquelas que teñen un potencial inesgotable por provir da enerxía que chega ao noso planeta de xeito continuo, como consecuencia da radiación solar ou da atracción gravitatoria. Son fundamentalmente a enerxía hidráulica, solar, eólica, biomasa ou as oceánicas.

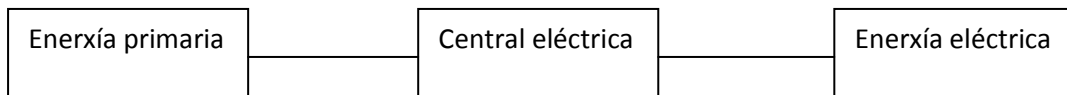
- **Enerxías non renovables.** Son aquelas que existen nunha cantidade limitada na Natureza. Non se renovan a curto prazo e por iso se esgotan cando se utilizan. A demanda mundial de enerxía da actualidade satisfáise fundamentalmente con este tipo de fontes. As máis comúns son o carbón, o petróleo, o gas natural e o uranio.

B. Polo xeito de utilización

- **Enerxías primarias.** Son as que non foron sometidas a un proceso de conversión e, polo tanto, obtéñense directamente da natureza, como o carbón, o petróleo, o gas natural, a hidráulica, a eólica a biomasa, a solar e o uranio natural.
- **Enerxías secundarias.** Tamén chamadas finais, obtéñense a partir das primarias mediante procesos de transformación enerxética (centrais hidroeléctricas, refinerías, etc.) é o caso da electricidade e dos carburantes.
- **Enerxías útiles.** Son as que realmente adquire o consumidor despois da última conversión realizada polos seus equipos como son as enerxías química, mecánica, calorífica, etc.

2.3. Sistema de xeración de enerxía

As **centrais eléctricas** son como fábricas de producir enerxía eléctrica. A súa función é transformar calquera tipo de enerxía primaria en enerxía eléctrica



As centrais eléctricas poden clasificarse en función da enerxía primaria que utilizemos

Nome da central	Enerxía primaria
Central hidroeléctrica	Auga
Central térmica clásica	Calor producido ao queimar carbón, gas natural, petróleo....
Central térmica nuclear	Calor producido por nunha reacción nuclear de fisión ou de fusión
Central eólica	vento
Central termosolar	Calor producido polo sol
Central solar fotovoltaica	luz
Central maremotriz	Mareas
Central xeotérmica	Calor da terra
Centrais de biomasa ou RSU	RSU biomasa

O funcionamento básico da maior parte destas centrais consiste en conseguir mover un xerador eléctrico. Este movemento conséguese con auga ou vapor a presión que fai mover unhas penlas ou paletas dunha turbina. A enorme produción de enerxía eléctrica só é posible grazas aos potentes xeradores electromagnéticos ou alternadores que producen baixo o principio da indución magnética.

http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/

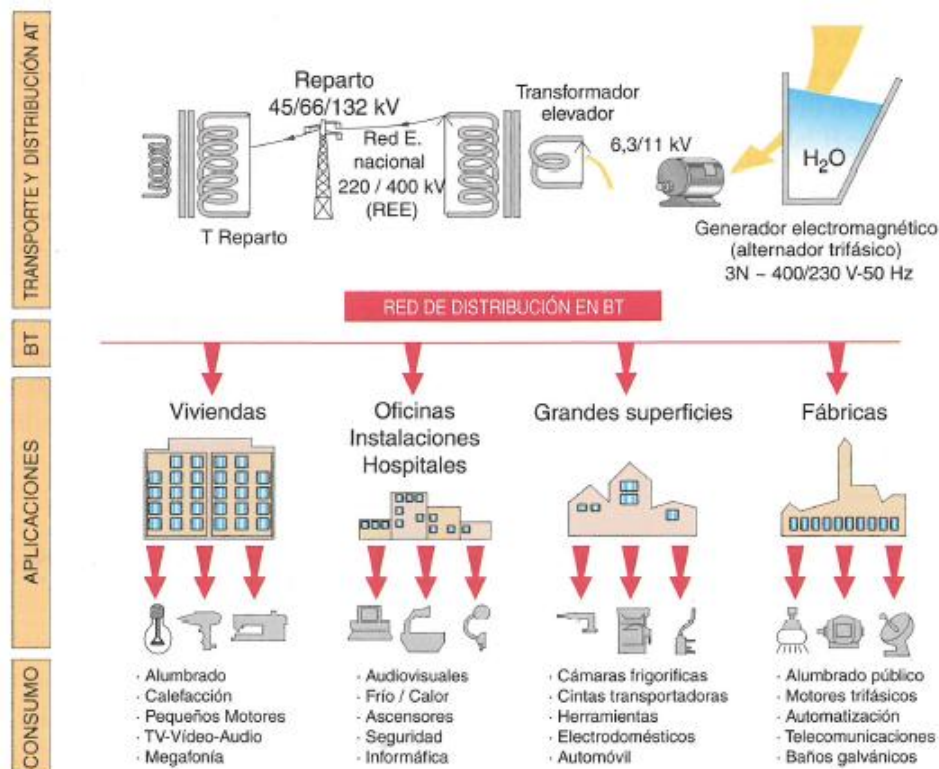
2.4. Sistema enerxético de transporte e distribución

Os alternadores das centrais proporcionan a enerxía eléctrica a unha tensión de 10.000 a 20.000 voltios (V). Unha vez producida esta hai que transportala ata as cidades, industrias e todo tipo de centros de consumo que case sempre se atopan a moita distancia. O transporte realízase a través de liñas eléctricas. Como estas non son perfectas, porque posúen resistencia eléctrica, prodúcese grandes perdas de enerxía en forma de calor. Para reducir estas perdas utilízanse liñas de alta tensión (220.000 V ou 380.000V). Deste xeito diminúese a intensidade de corrente eléctrica e redúcense as perdas.

Hai que contar cun potente sistema para transportar e distribuír en alta tensión (AT) media tensión (MT) e baixa tensión (BT), ata chegar a enerxía eléctrica ao usuario en cantidades e magnitudes asumibles. En Europa a tensión da rede de usuario é de 400 V en trifásica e 230 V en monofásica a unha frecuencia de 50 Hz. Adóitase distribuír en MT (20 kV), repártese en MT (44-66-132 kV) e transpórtase en AT (220-400 kV).

2.5. Consumo

No punto de **consumo** de enerxía eléctrica esta transfórmase noutro tipo de enerxía como pode ser a enerxía **calorífica** en aparatos de calefacción, **luminosa** en todo tipo de lámpadas eléctricas, **mecánica** de forza motriz en todo tipo de motores eléctricos e en **ondas electromagnéticas** para todo tipo de aparatos de telecomunicacións.



2.6. Outras aplicacións da electricidade

Ademais do mundo electrificado que nos rodea de produción de luz, calor, as telecomunicacións e a informática, a electricidade ten outras aplicacións importantes nos campos de: a electromedicina, o tratamento de novos materiais, a produción e conservación de alimentos, a automática, a loxística, a sinalización viaria, o ocio, etc.

3. SISTEMAS ELÉCTRICOS

Un sistema eléctrico é un conxunto de elementos activos (proporcionan enerxía) e pasivos (disipan enerxía) que funcionan conxuntamente e realizan unha aplicación eléctrica. Estes sistemas represéntanse mediante esquemas que utilizan simboloxía normalizada e clasifícanse en cinco grandes grupos:

- **Sistemas de comunicación.** Xeran, transmiten e distribúen información. As principais aplicacións en electrónica de comunicacións son: TV, vídeo, satélites, telescopios, radar e telefonía.
- **Sistemas de control.** Utilizan os sinais eléctricos para regular todo tipo de procesos automáticos. As principais aplicacións están na regulación de procesos onde interveñen magnitudes de tempo, lonxitude, presión, temperatura, caudal, humidade, luz, etc. En automática utilízanse os sistemas de control para robotizar procesos de fabricación.
- **Sistemas de potencia.** Xeran, distribúen e consomen a maior parte da enerxía eléctrica utilizada polo home. Aplicación para os xeradores, transformadores, motores, etc.
- **Sistemas de computación.** Utilizan sinais eléctricas para procesar a información. Exemplos de aplicación poden ser o procesamento da voz ou a computación matemática.
- **Sistemas de procesamento de sinais.** Sistemas que non teñen como función principal a comunicación, o cálculo, o control ou a potencia. Teñen aplicación na electromedicina. Aproveítanse os impulsos eléctricos de milivolts do interior do corpo humano e que viaxan a gran velocidade polos nervios. Usos en técnicas de diagnose (electrocardiogramas, resonancia magnética, etc) e rehabilitación (electrochoque, desfibrilación, etc).

4. MAGNITUDES E UNIDADES ELÉCTRICAS (SI)

O electrón é a partícula elemental que leva a menor carga eléctrica negativa que se pode illar, é a unidade de carga que vai ser a base para describir os fenómenos eléctricos, que se caracterizan polos principios seguintes:

- Os efectos eléctricos descríbense en termos de cargas positivas e negativas, é dicir, a carga é bipolar.
- A carga eléctrica existe en cantidades discretas múltiplos da carga do electrón ($1\text{ e}^- = 1,602 \cdot 10^{-19}\text{ C}$. A masa do electrón é $9,1091 \cdot 10^{-31}$).
- Os efectos eléctricos atribúense tanto á separación das cargas (tensión) como ás cargas en movemento (corrente).

As magnitudes e unidades eléctricas segundo o Sistema Internacional (SI) fórmanse a partir das unidades básicas. Entre estas unidades básicas atópanse o **ampere**, o **segundo** ou a **candea**. As principais magnitudes e unidades eléctricas son:

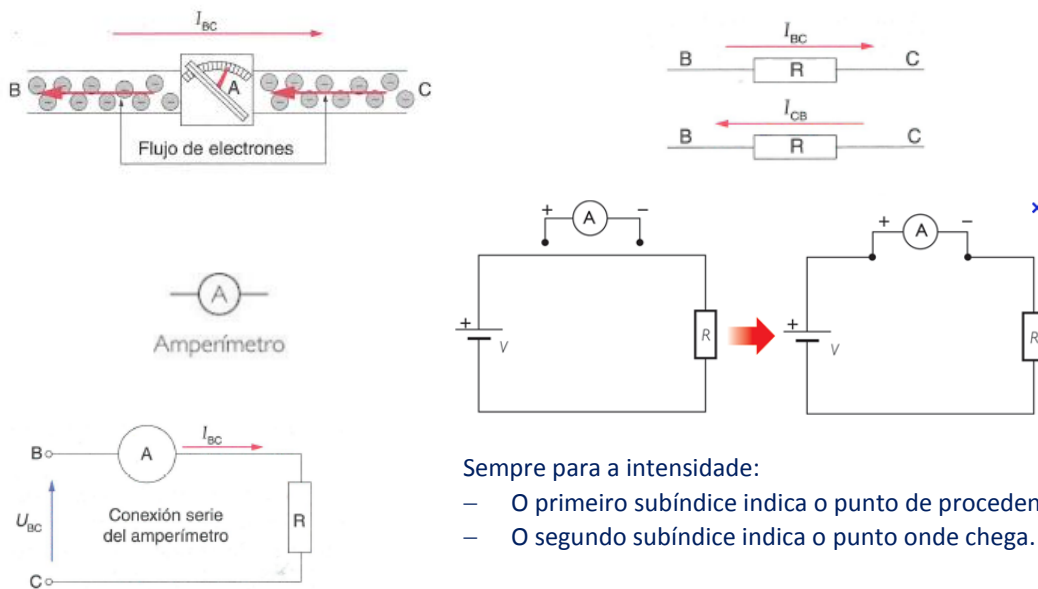
- **Cantidade de electricidade (Q).** É o número total de electróns que pasan por unha sección transversal dun condutor nun tempo determinado. A súa unidade é o **culombio [C]**, que contén $6,25 \cdot 10^{18}$ electróns.

- **Intensidade de corrente eléctrica (I).** É o movemento de cargas que se produce nun condutor ante a presenza dun campo eléctrico. Cuantifícase pola cantidade de electróns que pasan por unha sección transversal dun condutor nunha dirección e na unidade de tempo. A súa unidade é o **ampere [A]** e mídese co **amperímetro** que se conecta en **serie** coa carga. A súa expresión é:

$$I = \frac{Q}{t}$$

Onde:

- I é a intensidade en amperes (A).
- Q é a cantidade de electricidade en coulombios (C).
- t é o tempo en segundos (s).



Medición de intensidad e convenio de signos

Densidade de corrente eléctrica (J). É a intensidade de corrente por unidade de superficie transversal do condutor polo que circula. A súa unidade é o **A/m²**. Ten por ecuación:

$$J = \frac{I}{S}$$

Onde:

- J é a densidade de corrente en A/m².
- I é a intensidade en amperes (A).
- S é sección transversal do condutor en m².

Na práctica a unidade da densidade de corrente no sistema internacional é moi pequena, polo que se utiliza o múltiplo A /mm². É a unidade utilizada en todas as táboas do **Regulamento Electrotécnico de Baixa Tensión (REBT)** e nas táboas facilitadas polos fabricantes respecto ás intensidades máximas admisibles para os cables condutores.

EXERCICIOS

1. Determinar a intensidade de corrente que se estableceu por un condutor eléctrico se por el fluíu unha carga de 4 culombios nun tempo de 2 segundos.
2. Se por un aparato de medida flúe unha corrente de 2 A durante 1 minuto, cantos culombios pasan polo aparato?
3. Por un condutor de 10 mm² de sección circulan 20 A. Calcular a cantidade de carga transportada nun segundo, nunha hora en un día. Que densidade de corrente soporta?

4.1. Sistema internacional de unidades (SI)

As unidades de medida clasifícanse segundo o SI en tres grupos principais: básicas, suplementarias e derivadas. A continuación recóllense nunha táboa algunhas desas unidades.

Designación magnitud	Símbolo literal	Designación unidad de medida	Símbolo	Designación magnitud	Símbolo literal	Designación unidad de medida	Símbolo
aceleración angular	α	radián por segundo cuadrado	rad/s ²	masa	m	kilogramo	kg
aceleración en caída libre	g	metro por segundo cuadrado	m/s ²	momento de un par	T o C	newton metro	N.m
aceleración lineal	a	metro por segundo cuadrado	m/s ²	momento de una fuerza	M	newton metro	N.m
ángulo plano	α, β, γ	radián	rad	momento de inercia	J o I	kilogramo metro cuadrado	kg.m ²
		grado (de ángulo)	...°				
		minuto (de ángulo)	...'	peso	P	newton	N
		segundo (de ángulo)	..."	presión	p	pascal	Pa
capacidad	C	faradio	F	profundidad	h	metro	m
campo magnético	H	amperio por metro	A/m	potencia activa	P	vatio	W
constante de tiempo	—	segundo	s	potencia aparente	S	voltamperio	VA
				potencia reactiva	Q	voltamperio reactivo	VAR
diámetro	d	metro	m	cantidad de calor	Q	julio	J
diferencia de potencial	U	voltio	V	cantidad de electricidad eléctrica)	Q	culombio o amperio hora	C o (carga A.h)
duración de un período T		segundo	s				
recalentamiento	$\Delta\theta$	kelvin o grado Celsius	K o °C	radio	r	metro	m
energía	W	julio	J	reactancia	X	ohmio	Ω
espesor	d	metro	m	reluctancia	R	amperio por Weber	A/W
flujo magnético	ϕ	weber	Wb	rendimiento	η	%	
fuerza	F	newton	N	resistencia	R	ohmio	Ω
fuerza electromotriz	E	voltio	V	resistividad	ρ	ohmio metro/metro cuadrado	$\Omega.m/m^2$
frecuencia	f	hercio	Hz				
velocidad de rotación n		vueltas por segundo	vueltas/s	superficie (aire)	A o S	metro cuadrado	m ²
				temperatura Celsius	θ	grado Celsius	°C
deslizamiento	g	%		temperatura termodinámica	T	kelvin	K
altura	h	metro	m	tiempo	t	segundo (de tiempo)	s
						minuto (de tiempo)	min
impedancia	Z	ohmio	Ω			hora	h
inductancia propia	L	henry	H	tensión	U	día	d
inductancia mutua	M	henry	H	trabajo	W	voltio	V
inducción magnética	B	tesla	T			julio	J
intensidad de corriente eléctrica	I	amperio	A				
anchura	b	metro	m	velocidad angular	ω	radián por segundo	rad/s
longitud	l	metro	m	velocidad lineal	v	metro por segundo	m/s
				volumen	V	metro cúbico	m ³
Submúltiplos de las unidades				Múltiplos de las unidades			
Prefijo	Símbolo anterior a la unidad	Factor de multiplicación		Prefijo	Símbolo anterior a la unidad	Factor de multiplicación	
deci	d	10 ⁻¹		deca	da	10 ¹	
centi	c	10 ⁻²		hecto	h	10 ²	
mili	m	10 ⁻³		kilo	k	10 ³	
micro	μ	10 ⁻⁶		mega	M	10 ⁶	
nano	n	10 ⁻⁹		giga	G	10 ⁹	
pico	p	10 ⁻¹²		tera	T	10 ¹²	

EXERCICIOS

4. Realiza os seguintes cambios de unidades:
- 0.006 Amperes (A) en miliamperes (mA)
 - 2 amperes (A) en miliamperes (mA)
 - 400 microamperes (μA) a miliamperes (mA)
 - 1000 amperes (A) a quilo amperes (kA)
 - 18 quilo amperes (kA) a miliamperes (mA)
 - 82 microamperes (μA) a quilo amperes (kA)

4.2. Tensión eléctrica (U), Voltaxe (V) ou diferenza de potencial (ddp)

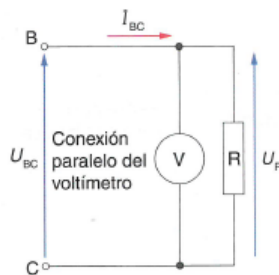
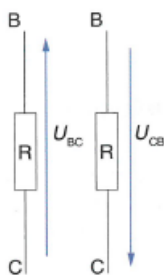
A **tensión eléctrica** entre dous puntos dun circuíto eléctrico é o traballo realizado pola unidade de carga creada na separación. É a causa impulsora do desprazamento dos electróns. A súa unidade é o **voltio [V]**. A súa expresión é:

$$U = \frac{W}{Q}$$

Onde:

- U é a tensión voltaxe ou potencial en voltios (V).
- W é o traballo ou enerxía en Joules (J).
- Q é a cantidade de carga en culombios (C).

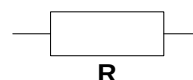
Para medir a tensión ou ddp entre dous puntos dun circuíto utilízase o **voltímetro**, conectado entre os dous puntos dos que se desexa coñecer a tensión. Esta forma de conectar o Voltímetro denomínase conexión en **paralelo** ou derivación.



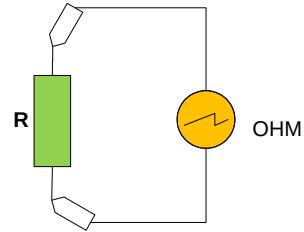
Medición de tensión e convenio de signos

4.3. Resistencia eléctrica (R)

É a maior ou menor oposición que ofrece un condutor ao paso de corrente eléctrica. Os portadores de carga ou electróns libres, ao moverse ao través dos átomos do condutor, atopan maior ou menor resistencia segundo se trate dunha substancia de natureza illante ou condutora, respectivamente. Os símbolos máis utilizados para a resistencia son os seguintes:



A unidade de resistencia é o **Ohmio [Ω]**. A medición de resistencia realízase co **ohmímetro** ou **óhmetro**, basta con conectar os extremos desta ás puntas do óhmetro, desconectado o elemento a medir do resto do circuito. O máis habitual é utilizar o que incorpora o polímetro.



No caso dun condutor metálico homoxéneo de sección transversal uniforme, S , a súa resistencia depende da natureza do mesmo (resistividade ρ) e é directamente proporcional á súa lonxitude (L) e inversamente proporcional a súa sección (S), o que se verifica experimentalmente mediante a ecuación:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

Onde:

- R é a resistencia en ohmios (Ω)
- ρ é a resistividade ($\Omega \cdot \text{m}/\text{mm}^2$).
- L a lonxitude do condutor en metros (m).
- S é a sección transversal do condutor (mm^2).

4.4. A lei de ohm

Unha vez estudadas as tres magnitudes eléctricas: tensión, intensidade e resistencia, as veces preséntase o problema de que coñecidas dúas delas haxa que obter a terceira. O físico Ohm, baseándose nun experimento enunciou unha lei leva o seu nome e que relaciona estas tres magnitudes:

A intensidade da corrente que percorre un circuío eléctrico é directamente proporcional á tensión aplicada (a máis tensión, máis intensidade) e inversamente proporcional á resistencia eléctrica (a máis resistencia, menos intensidade).

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

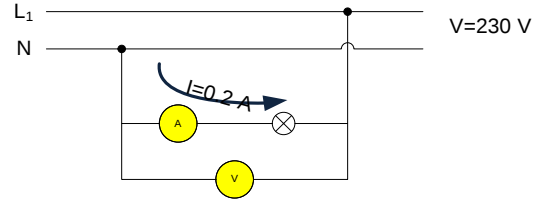
Onde:

- I é a intensidade en amperes (A).
- U é a tensión voltaxe ou potencial en voltios (V).
- R é a resistencia en ohmios (Ω).

EXERCICIOS

5. Calcular a intensidade que circula polo filamento dunha lámpada incandescente de $10\ \Omega$ de resistencia cando está sometida a unha tensión de 12 V .

6. Quérese determinar a resistencia eléctrica do filamento dunha lámpada incandescente. Para elo sométese a lámpada a unha tensión de 230 V , e mediante un amperímetro intercalado en serie, mídese o paso dunha intensidade de corrente de $0,2\text{ A}$. Que resistencia ofrece o filamento?



7. Resolve os exercicios formulados na seguinte táboa:

Exercicio	I	V	R
1º	5 A	500 mV	?
2º	20 A	?	5 Ω
3º	30 mA	?	2.500 Ω
4º	8 A	200 V	?
5º	?	10 kV	15 k Ω
6º		30 mV	600 m Ω

5. CONDUTORES ILLANTES E SEMICONDUCTORES

5.1. Condutores e illantes

Para un bo funcionamento dun circuíto eléctrico existen dous elementos básicos, os condutores e os illantes; mentres os primeiros permiten o paso de corrente os segundos bloquéana. Pódense apreciar ambos elementos por exemplo nun cable eléctrico.



Os corpos **illantes** son dieléctricos, ou sexa, caracterízanse por impedir o paso da corrente eléctrica ao seu través. Isto débese a que os electróns atópanse fortemente ligados aos seus átomos e para arríncalos é preciso aplicar moita enerxía.

Son bos illantes: O exafluoruro de xofre (SF_6), as cámaras de baleiro, a porcelana, aceite mineral, caucho, verniz, vidro, algodón, seda, papel, plástico, aire seco...

- Os plásticos son os grandes protagonistas dos illantes tanto en baixa como en alta tensión: PVC, polietileno, polipropileno...
- exafluoruro de xofre é un gas que posúe unha alta capacidade de illamento o que permite aproximar as partes activas da instalación sen que haxa perigo.
- As cámaras de baleiro son un bo illante nos interruptores de media tensión.
- A porcelana non é tan bo illante, pero ao soportar grandes temperaturas é ideal para algunhas aplicacións por exemplo os portalámpadas.

Os **condutores** son materiais que permiten con facilidade o movemento de electróns na súa estrutura molecular. Practicamente todos os metais son bos condutores. Na seguinte lista aparecen algúns deles ordenados de mellores a peores condutores:

Platino, prata, **cobre**, ouro, **aluminio**, cinc, estaño, ferro, chumbo, mercurio, nitróxeno, carbón...

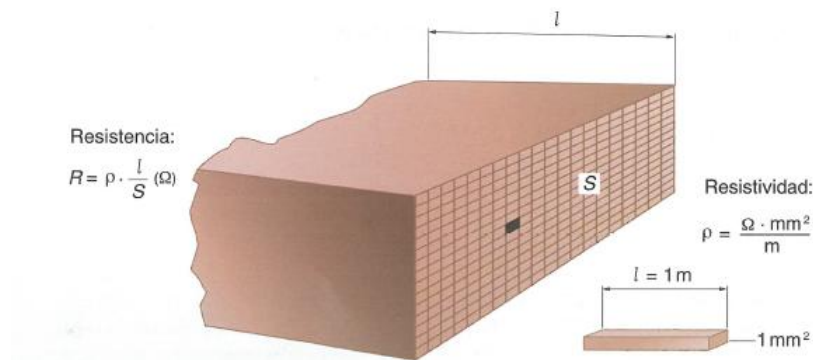
- A prata, debido o seu alto custe, emprégase soamente cando as súas propiedades sexan particularmente interesantes, por exemplo nalgúns contactos de apertura ou peche de circuítos.
- O cobre é o material máis empregado xa que conduce case tan ben como a prata pero o custe é inferior.
- O aluminio emprégase sobre todo nas liñas de transporte, xa que pesa menos que o cobre.
- Tamén se fabrican condutores a base de aliaxes como o nicron (níquel -cromo), o constantán (cobre-níquel), o ferroníquel (ferro-níquel), o maillechort (cobre-cinc-níquel) que son peores condutores que o cobre pero son útiles como materiais resistivos para a fabricación de resistencias (reóstatos, elementos calefactores, etc.)
- O carbón é bastante mal condutor, o que o fai ideal para a fabricación de pequenas resistencias para circuítos electrónicos.

5.2. Resistividade (ρ)

A resistividade é a resistencia que ofrece ao paso de corrente eléctrica un condutor por unidade de lonxitude e sección. A súa unidade é o ohmio·metro [$\Omega \cdot m$]. Ten por expresión:

$$\rho = R \frac{S}{l} \quad \left[\Omega \cdot \frac{m^2}{m} = \Omega \cdot m \right]$$

Na práctica, a resistencia que presentan os condutores por unidade de lonxitude e por metro cadrado de sección é moi pequena e ademais os condutores comercialízanse en mm^2 , polo que a resistividade dáse á temperatura ambiente de $20^\circ C$ e en ohmios por milímetro cadrado/metro [$\Omega \cdot mm^2/m$].



Na seguinte táboa móstranse os valores de resistividade de algúns condutores e illantes.

Material	ρ $\left[\Omega \cdot \frac{mm^2}{m} \right]$	Material	ρ $\left[\Omega \cdot \frac{mm^2}{m} \right]$
Prata	0.016	Resistina	0,50
Cobre	0,01786	Kruppina	0,85
Bronce	0,018	Mercurio	0.96
Ouro	0,023	Cromoníquel	1,10
Aluminio	0,02857	Bismuto	1,20
Magnesio	0.045	Lousa (pizarra)	10^{12}
Grafito	0.046	Celuloide	10^{14}
Tungsteno/Volframio	0.055	Tea endurecida	10^{14}
Zinc	0.063	Esteatita	10^{18}
Latón	0,07~0,09	Ámbar	10^{20}
Níquel	0,08~0,011	Baquelita	10^{20}
Ferro	0,10~0,15	Caucho	10^{20}
Estaño	0,11	Gutapercha	10^{20}
Platino	0,11~0,14	Mica	10^{20}
Chumbo	0,21	Policarbonato	10^{20}
Maillechort	0,30	PVC	10^{20}
Ourocromo	0,33	Vidro	10^{20}
Niquelina	0,43	Metacrilato	10^{21}
Manganina	0,43	Poliestireno	10^{21}
Novoconstantán	0,45	Polipropileno	10^{21}
Reotán	0,47	Parafina pura	10^{22}
Isabelín	0,5	Seixo	$4 \cdot 10^{23}$
Constantán	0,5		

5.3. Condutancia (G) e condutividade (σ)

A condutancia representa a facilidade que ofrecen os condutores ao paso da corrente eléctrica. É o inverso da resistencia. A súa unidade é o siemens [S].

$$G = \frac{1}{R}$$

Onde:

- G é a condutancia en siemens (s).
- R é a resistencia en ohmios (Ω)

A **condutividade (σ ou as veces γ)** é a facilidade que ofrecen os condutores por unidade de lonxitude e sección ao paso de corrente eléctrica. É inverso da resistividade. A súa unidade no SI é o siemens/metro pero adoita usarse o metro/ohmio·milímetro cadrado [$m/\Omega \cdot mm^2$].

Por exemplo a condutividade do cobre será: $\sigma_{cobre} = \frac{1}{\rho_{cobre}} = \frac{1}{0,01786} = 56 \text{ m/mm}^2\Omega$

EXERCICIOS

8. Que resistencia terá un condutor de cobre de 20 m de lonxitude e 1 mm^2 de sección? E un condutor de aluminio das mesmas dimensións?-
9. Por un condutor de 10 m de lonxitude e $2,5 \text{ mm}^2$ de sección circula unha intensidade de 16 A. calcular a caída de tensión que se produce se é de prata, cobre, aluminio ou aceiro.
10. Que sección posuira un condutor de constantán de 12 m de lonxitude, se se mediu unha resistencia entre os seus terminais de 6Ω ?
11. Calcula a condutividade do aluminio.
12. Resolve os exercicios formulados na seguinte táboa:

Exercicio	R (Ω)	I (A)	S (mm^2)	Material
1º	?	50	4	Cinc
2º	5	?	0,5	Maillechort
3º	2	5	?	Aluminio
4º	?	?	?	?
5º	10	2	0,1	?

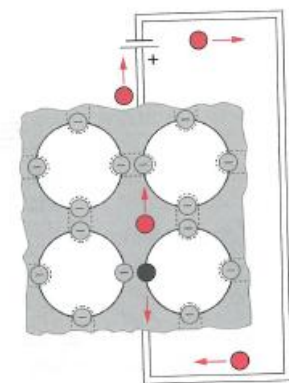
5.4. Semicondutores

Os semicondutores son elementos sólidos que teñen unha condutividade eléctrica inferior á dun condutor metálico pero superior á de un bo illante. O semiconductor máis utilizado é o silicio, por ser moi abundante na natureza, pero tamén se utilizan o xermanio e o selenio.

Comportamento eléctrico dun semiconductor

Os átomos de silicio ten no seu orbital externo catro electróns de valencia. Estes átomos forman unha rede cristalina na que cada átomo comparte os seus catro electróns de valencia con outros catro átomos veciños formando enlaces covalentes. Á temperatura ambiente algúns electróns absorben a suficiente enerxía calorífica suficiente para librarse do enlace covalente e moverse a través da rede cristalina, converténdose en electróns libres.

Cando o electrón libre abandona o átomo dun cristal de silicio, deixa na rede cristalina un oco, que con respecto aos electróns circundantes ten efectos semellantes aos que produciría unha carga positiva, é dicir como **ocos con carga positiva**.



- Enlace covalente
- Electrón de valencia
- Electrón libre
- Hueco

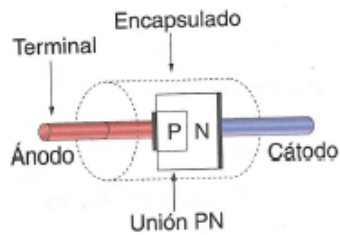
O comportamento eléctrico dun semiconductor caracterízase por:

- Os electróns libres son portadores de carga negativa e diríxense cara ao polo positivo da pila.
- Os ocos son portadores de carga positiva e diríxense cara ao polo negativo da pila. Nos ocos non hai desprazamento material de carga, senón o sentido do movemento no que se crean os ocos.
- Ao conectar unha pila circula unha corrente eléctrica no circuíto, sendo constante en todo momento o número de electróns dentro do cristal de silicio.
- Os ocos só existen no seo do semiconductor. Polo condutor exterior só circulan os electróns que dan lugar á corrente eléctrica.

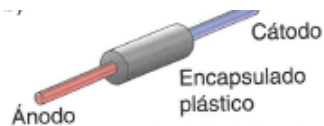
Os dispositivos semicondutores máis utilizados son o díodo e o transistor:

- Díodo:** Consta dunha unión PN protexida cunha envolvente de plástico ou metal da que saen dous fíos conectados ás rexións P e N respectivamente.

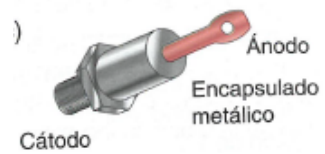
a)



c)



c)



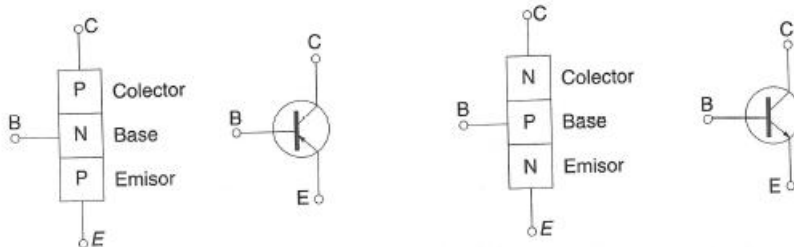
b)



Díodos:

- a) Estructura
- b) Símbolo
- c) Encapsulados

- **Transistor bipolar:** consiste nun semiconductor cunha rexión do mesmo dopada con impurezas tipo N e situada entre dúas rexións dopadas con impurezas tipo P, transistor PNP, co que se conseguen dúas unións PN. De xeito análogo constrúese un transistor NPN.



6. TRABAJO E POTENCIA

6.1. Traballo

É a cantidade de enerxía que se inverte ao desprazar unha carga eléctrica, Q desde un punto a outro dun campo eléctrico entre os que existe unha diferenza de potencial U . A súa unidade é o **Joule [J]** e ten por expresión:

$$W = Q \cdot U$$

Onde:

- W é o traballo ou enerxía en Joules (J)
- Q é a carga eléctrica en culombios (C)
- U é a tensión en voltios (V)

Tendo en conta que $I = Q/t$, a expresión queda como sigue:

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

Onde:

- W é o traballo ou enerxía en Joules (J).
- U é a tensión en voltios (V).
- I é a intensidade en amperes (A)
- t é o tempo en segundos (s)

Tendo en conta esa expresión, o joule ben dado por $1 J = 1 V \cdot 1 A \cdot 1 s$

O Joule, unidade de traballo ou enerxía no SI, resulta ser moi pequeno e na práctica a enerxía eléctrica consumida mídese en **kW·h**, múltiplo 3.600.000 veces maior que o Joule.

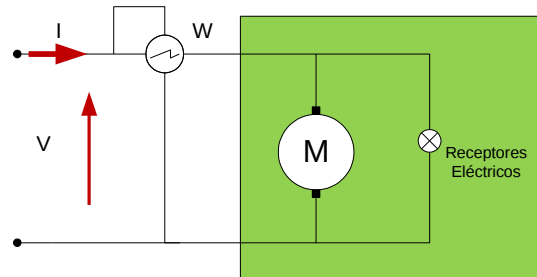
6.2. Potencia (P) e frecuencia (f)

É o traballo realizado na unidade de tempo. A unidade de potencia é o **vatio [W]**. Ten por expresión:

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

Onde P é a potencia en vatios (W).

A medida de potencia faise co **vatímetro**. Consta de dous circuítos para a medida de intensidade e tensión, ten catro puntos de conexión e conéctase como un amperímetro e un voltímetro nun mesmo aparato.



Chámase **frecuencia, f**, dunha magnitude periódica ao número de veces que a magnitude pasa por un determinado punto nun mesmo sentido na unidade de tempo. A súa unidade é o **hercio [Hz]** e mídese co **frecuencímetro** que se conecta en paralelo. A frecuencia industrial é 50 Hz en Europa e 60 Hz en Estados Unidos.

Chámase **período, T**, dunha magnitude periódica ao tempo que tarda en completarse un ciclo. A súa unidade é o segundo [s].

Resume das magnitudes e unidades segundo a lei de Ohm

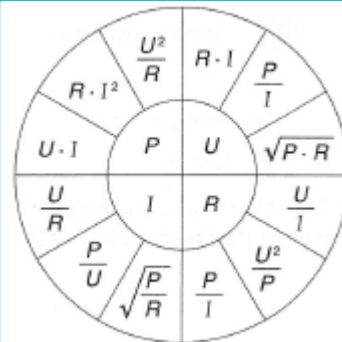
Por definición:

$$U = I \cdot R; P = U \cdot I$$

Despexando e substituíndo quedan cada unha das catro magnitudes básicas en función de dúas.

Por definición:

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



EXERCICIOS

13. Calcular a potencia e enerxía eléctrica que se transforma no condutor de cobre do exercicio 9 (10 m de lonxitude, 2,5 mm² e 16 A) se as cargas están circulando durante catro horas.
14. Por que non están intercomunicadas as redes eléctricas europeas coas americanas?
15. Nunha habitación existe unha base de enchufe de 16 A. Quérese determinar a potencia máxima do aparato eléctrico que se pode conectar ao enchufe, tendo en conta que a tensión é de 230 V.
16. Calcular a potencia que consome un forno eléctrico se se conecta a unha tensión de 230 V e a súa resistencia é de 50 Ω.
17. A potencia dunha cociña eléctrica é de 3,5 kW. Quérese saber se será suficiente cunha base de enchufe de 25 A para conectala a unha rede de 230 V.

18. A placa de características dun ferro de pasar eléctrico indica que a súa potencia é de 500 W e a súa corrente nominal de 4 A: calcular o valor da resistencia de caldeo.
19. Resolve os exercicios formulados na seguinte táboa.

Exercicio	I	V	R	P
1º	5 A	500 mV	?	?
2º	20 A	?	5 Ω	?
3º	30 mA	?	?	5 W
4º	?	200 V	?	100 mW
5º	?	10 kV	15 k Ω	?
6º	?	?	600 m Ω	1 kW

20. Calcular a enerxía, en kWh e Julios, consumidos por un calefactor de 500 W en 8 horas de funcionamento.
21. Quérese determinar o gasto bimensual dun calefactor de 500 W, que funciona, por termo medio, 4 horas ao día. Prezo do kWh: 0,09 €.
22. Canto tempo poderemos ter conectado un televisor de 100 W se desexamos gastar 1 € en concepto de enerxía eléctrica, sendo o prezo do kWh de 0,1 €?

7. CORRENTE CONTINUA E CORRENTE ALTERNA

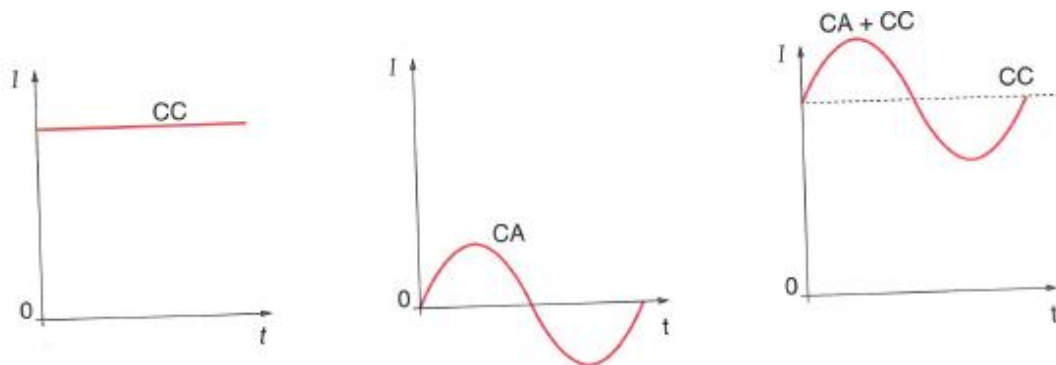
Hai dous tipos de corrente eléctrica: a continua e a alterna. A natureza de ambas as dúas é a mesma o movemento de electróns a través dun condutor.

7.1. Corrente continua

Cando o campo eléctrico aplicado a un condutor ten o mesmo sentido, aínda que varíe en intensidade, a corrente resultante denomínase continua. Ten a propiedade de circular sempre no mesmo sentido e a súa frecuencia é cero. É o tipo de corrente que da lugar ao circuíto eléctrico de corrente continua, CC (as veces désígnanse DC, do inglés *direct current*).

7.2. Corrente alterna

Caracterízase por ser un fluxo de cargas eléctricas que inverte periodicamente o seu sentido e toma valores distintos que se repiten no tempo, polo tanto a súa frecuencia será distinta de cero. A frecuencia de sistemas de potencia é de 50 Hz. Os circuítos aos que da lugar son de corrente alterna, CA (as veces désígnanse AC, do inglés *alternating current*).



8. EFECTOS DA CORRENTE ELÉCTRICA

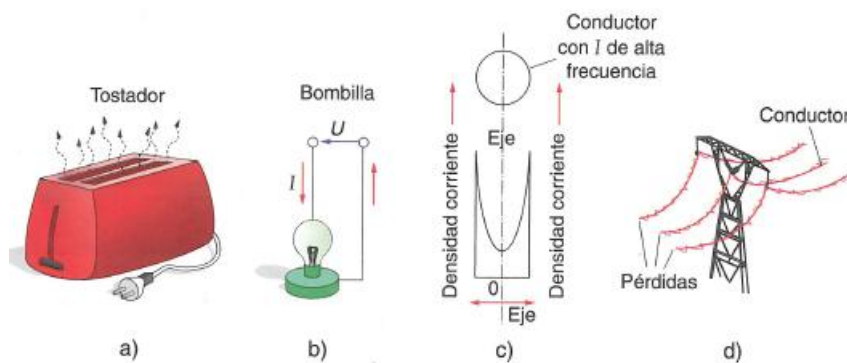
A corrente eléctrica produce cinco tipos de efectos que, á súa vez, dan lugar a multitude de receptores, aparatos de protección e de aplicación como se recolleu no punto 2 desta unidade.

8.1. Efectos caloríficos

Toda corrente que circula por un condutor produce un efecto térmico debido aos choques dos electróns contra os átomos. Se o condutor chega a estar incandescente, sen entrar en combustión, o efecto térmico convértese nunha aplicación luminosa como ocorre nas lámpadas incandescentes.

O efecto térmico máis importante que produce a corrente eléctrica ao circular por un condutor denomínase **efecto Joule**. Resulta **útil** cando se aplica para transformar enerxía eléctrica en térmica e trátase dunha **perda** cando se produce nas liñas e condutores de transporte e nos puntos de conexión. O dimensionado de cables hai que facelo tendo en conta este efecto e tentando minimizar as perdas nos condutores.

En corrente alterna, CA, prodúcese perdas debidas ao efecto pelicular (ou *skin*), máis importante canto maior sexa a frecuencia da corrente. Tamén, nas liñas de alta tensión se producen perdas debidas ao efecto coroa. Trataranse estes efectos e a súa repercusión sobre a resistencia dos condutores na unidade de cálculo de condutores en circuítos de BT.



Efectos da corrente a) térmico; b) térmico e luminoso; c) skin ou pelicular; d) coroa.

8.2. Efectos luminosos

Pódese producir luz mediante a excitación eléctrica ben por **incandescencia** ou ben por **luminescencia**. No primeiro caso, é a circulación dos electróns a través dun condutor sólido o que o pon incandescente, e no segundo caso, aproveitando a propiedade dalgunhas substancias de producir luz ao absorber as radiacións ultravioleta dun gas, como sucede nas lámpadas de descarga (fluorescentes, de haloxenuros ou de vapor de sodio).

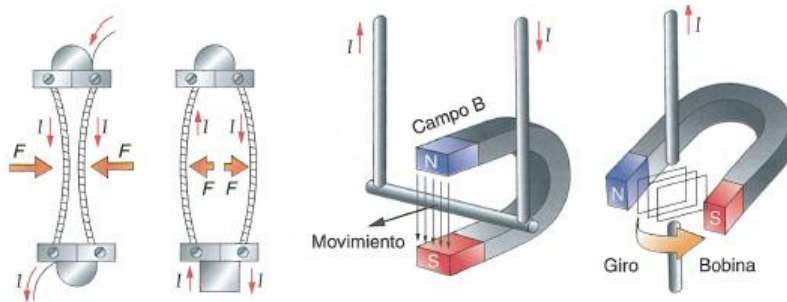
8.3. Efectos químicos

A diferenza dos condutores sólidos que non se ven alterados co paso dunha corrente ao seu través, os condutores líquidos descompóñense ao ser percorridos por unha corrente eléctrica. Este efecto da lugar á **electrólise**. O proceso electrolítico é reversible, e dicir, á descomposición promovida pola corrente circulando nun sentido (electrólise) pódelle seguir o proceso inverso mediante unha corrente en sentido contrario, co que o elemento polarizado funciona como xerador de enerxía eléctrica (pilas e acumuladores), a costa da enerxía química previamente almacenada.

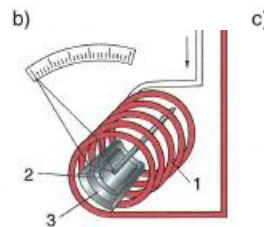
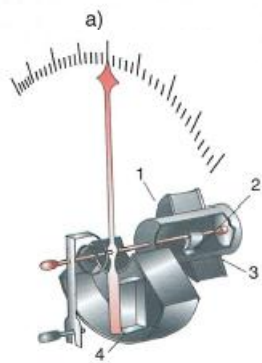
As principais aplicacións da electroquímica son as pilas e acumuladores como xeradores portátiles de CC, e os baños galvánicos como parte do proceso de fabricación dalgúns industrias para reproducir obxectos, así como para tratar os materiais contra a oxidación e a corrosión.

8.4. Efectos electromagnéticos.

As forzas electrodinámicas e electromagnéticas desenvolvidas pola corrente eléctrica poden producir un movemento mecánico que se aproveita para a medición de magnitudes eléctricas.

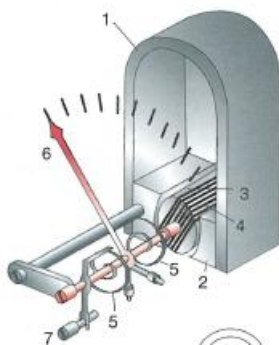


Efectos da corrente
a) electrodinámicos;
b) e c) electromagnéticos.



Aparato de medida
electromagnético de ferro móbil

1. Bobina
2. Hierro móbil
3. Chapa fija
4. Amortiguador de aire



1. Imán permanente
2. Zapata polar
3. Núcleo do polo
4. Bobina móbil.
5. Resortes en espiral e, simultaneamente, alimentación de corrente.
6. Agulla indicadora.
7. Axustador de cero.

Aparato de medida
electromagnético de Bobina
móbil

Nestes efectos baséanse moitos aparatos de medida e moitas máquinas

8.5. Efectos fisiolóxicos

Ao circular unha corrente eléctrica polo corpo humano e polo dos animais prodúcese queimaduras e se paralizan os músculos, que poden facer que un accidentado sexa incapaz de desconectarse do punto de contacto.

Os efectos físicos e fisiolóxicos da corrente eléctrica sobre o corpo humano dependen do tipo e valor da corrente, do tempo e da traxectoria. Para frecuencias baixas (de 50 a 100 Hz), a

corrente alterna é mais perigosa que a corrente continua. Para altas frecuencias (máis de 10.000 Hz) a CA compórtase como se fose CC.

- **Físicos.** Son de efecto electrotérmico e maniféstanse como queimaduras internas, marcas da corrente no sitio de contacto, perda de líquidos por sobrequeamento e cegueira por arco voltaico.
- **Fisiolóxicos.** Pode haber lesións por electrocución producidas no cerebro, nos pulmóns e/ou no corazón, como contraccións, sacudidas nerviosas, aumento da presión sanguínea, paro respiratorio e fibrilación muscular.

Na actualidade estúdanse con moito rigor os impactos medioambientais e os efectos da electricidade sobre as persoas. Empréganse múltiples aplicacións de protección, como interruptores diferenciais, relés, detectores, etc., e tamén xeneralizan as aplicacións en electromedicina.

EXERCICIOS

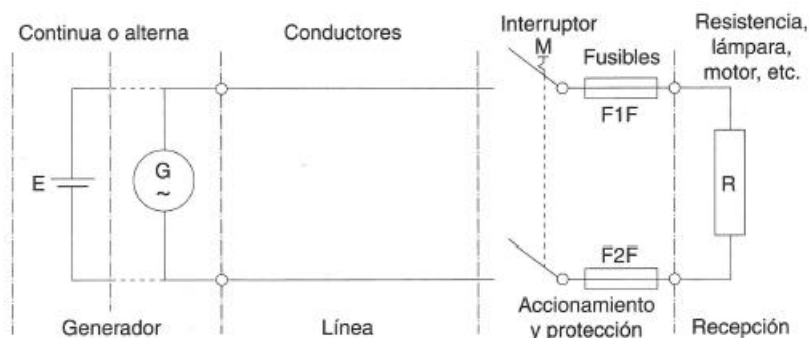
23. En condicións desfavorables, é dicir, coa pel húmida, a resistencia do corpo humano é da orde de 2.500 Ω . Que tensión será suficiente para provocar, nestas condicións, o paso dunha corrente perigosa, 30 mA, polo corpo humano?

Sábase que unha intensidade de corrente de 30 mA pode causar a morte por fibrilación cardíaca. A resistencia eléctrica do corpo humano acostuma ser, por termo medio e en condicións normais, da orde de 5.000 Ω . Se unha persoa por accidente se pon en contacto cunha rede de 230 V, cal será a corrente que atravesase o corpo? Existe algún perigo de morte?

9. CIRCUITO ELECTRICO

Un circuíto eléctrico é un sistema pechado de elementos (activos e pasivos) e condutores ideais, entre os que existe transferencia de enerxía.

As partes que constitúen o circuíto eléctrico son: xerador, liña, accionamento e protección e receptor.



Para representar os circuíto eléctricos utilízanse símbolos e esquemas. Un **símbolo gráfico** é unha representación por medio de figuras dos conceptos. Mentres que un **esquema** é unha representación que mostra como se conectan e relacionan entre si as diferentes partes dunha rede ou circuíto, dunha instalación ou dun aparato (ver anexo I ao final do tema).

9.1. Xerador

Un xerador é o elemento activo capaz de establecer unha ddp entre os puntos do circuíto onde está conectado. Os principais xeradores de electricidade son as **pilas e acumuladores** (reacción química) e as **dínamos e alternadores** (indución electromagnética). Estes últimos son os responsables de máis do 95 %da enerxía mundial, e teñen a capacidade de producir grandes cantidades de enerxía.

As pilas e acumuladores son xeradores de corrente continua autónomos e portátiles que non precisan estar conectados a ningún sistema de accionamento. As pilas ou pilas secas son xeradores primarios non reversibles e os acumuladores, xeradores reversibles.

9.2. Receptor

É un elemento pasivo que recibe a enerxía eléctrica e a transforma noutro tipo de enerxía, como a térmica (calor que producen as resistencias), a luminosa (luz que producen as lámpadas eléctricas), a mecánica (forza motriz que producen os motores). Os receptores son de natureza resistiva (resistencias), indutiva (bobinas de indución) ou capacitiva (condensadores).

Símbolo						
Tipo de receptor	 Radiador	 Lámpada incandescente	 Lámpada de descarga	 Condensador	 Reactancia	 Motor
Efecto	Calor	Luz	Luz	Atraso da tensión	Atraso da corrente	Forza motriz

9.3. Condutores

Son elementos pasivos que unen os xeradores cos receptores e a través dos cales se transportan as cargas eléctricas. Na análise de circuitos considéranse condutores ideais sen que ofrezan ningunha dificultade ao paso da corrente eléctrica (resistencia), e nos casos reais de transporte represéntase a súa resistencia concentrada nun punto. É o caso máis importante á hora de dimensionalos como se verá máis adiante.

9.4. Elementos de accionamento e protección

Todo circuíto eléctrico debe ter os axeitados aparatos de accionamento, manobra e protección que nos permitan gobernar a intensidade de corrente coa maior eficacia e seguridade para as persoas, animais e instalacións.

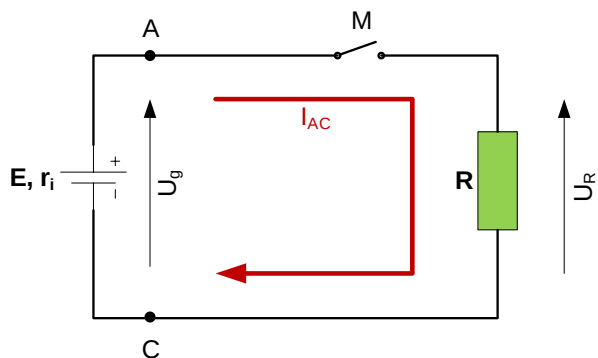


Accionamento manual				
	Interruptor manual	Interruptor de potencia	Cortacircuíto fusible	Interruptor automático magnetotérmico
Bloqueo pro muesca				

10. CIRCUITO ELECTRICO RESISTIVO DE CC

O circuito eléctrico máis sinxelos é o circuito resistivo de corrente continua, formado por un xerador e unha resistencia.

Tómase como sentido positivo para a intensidade aquel que vai do borne positivo (+) ao borne negativo (-) polo exterior do xerador e do borne negativo ao positivo polo interior do xerador. Deste xeito o signo positivo da tensión corresponde a U_{AB} (exceso de carga positiva en A con respecto a B). Tensión e intensidade positivas indícanse cunha frecha como se ve na figura.



Establecido o convenio de signos, defínese como **potencia dun xerador** ao produto da tensión U pola I que pasa por el no sentido positivo (do + ao - a través do circuíto). Se este produto sae **positivo**, interprétase que o xerador está **entregando potencia** ao circuíto. E se o produto anterior sae **negativo**, o xerador está **absorbendo potencia** do circuíto.

10.1. Forza electromotriz ($\mathcal{E}$, E) e diferenza de potencial (U)

A forza electromotriz, fem, dun xerador é a cantidade de enerxía non eléctrica, transformada en eléctrica, por unidade de carga. No caso de xeradores ideais (resistencia interna nula) a tensión U que proporcionan ao circuíto é igual a súa fem ($E(\mathcal{E}) = U$), cumpríndose que a fem, E , é igual á suma das caídas de tensión ou ddp, en distintos compoñentes do circuíto interno e externo.

10.2. Lei de Ohm xeneralizada en CC

A **lei de Ohm xeneralizada** di que a intensidade que circula por un circuíto eléctrico pechado formado por unha malla é igual á suma de todas as forzas electromotrices dividido pola suma de todas as resistencias que existan no circuíto.

Nesta suma terase en conta o sentido da fem en cada un dos xeradores, sendo a fem equivalente, $\mathcal{E}_T$, a suma alxébrica (con signo) das forzas electromotrices de cada un dos xeradores. No caso concreto da figura anterior pódese afirmar que:

$$I = \frac{E}{r_i + R_L + R}$$

Onde:

- I é a intensidade do circuíto en amperes (A).
- E é a fem que produce o xerador en voltios (V).
- r_i é a resistencia interna do xerador en ohmios (Ω).
- R_L é a resistencia da liña (ida e volta) en ohmios (Ω).
- R é a resistencia do receptor en ohmios (Ω).

Operando na expresión anterior e analizando todas as caídas de tensión:

$$\varepsilon = I \cdot r_i + I \cdot R_L + I \cdot R$$

Onde:

- $u_{ix} = I \cdot r_i$ é a **caída de tensión interna no xerador**, en voltios (V).
- $u = I \cdot R_L$ é a **caída de tensión na liña**, en voltios (V).
- $U = I \cdot R$ é a **tensión en bornes do receptor**, en voltios (V)

$$\varepsilon = u_{ix} + u + U$$

Multiplicando a expresión anterior pola intensidade, obtérase a **potencia do xerador** en vatios (W), así como as diversas potencias que interveñen no circuíto :

$$P_x = \varepsilon \cdot I = I^2(r_i + R_L + R)$$

Onde:

- $P_{ix} = u_{ix} \cdot I = I^2 \cdot r_i$ é a **potencia perdida no interior do xerador**, en vatios (W).
- $P_{pL} = I^2 \cdot R_L$ é a **potencia perdida na liña**, en vatios (W).
- $P = U \cdot I = I^2 \cdot R$ é a **potencia absorbida polo receptor**, en vatios (W).

O **rendemento** do circuíto é a relación entre a **potencia absorbida polo receptor**, e a **potencia xerada polo xerador**, e a expresión sería:

$$\eta = \frac{P}{P_x} \cdot 100 = \frac{U \cdot I}{\varepsilon \cdot I} \cdot 100 = \frac{R \cdot I^2}{(R + r_i + R_L)I^2} \cdot 100 = \frac{R}{R + r_i + R_L} \cdot 100$$

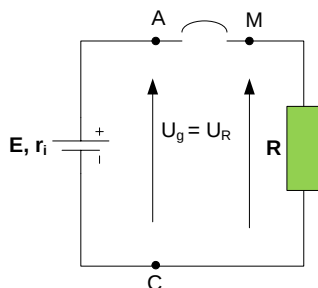
EXERCICIO

24. Un circuíto resistivo de CC está formado por unha batería de 24 V de fem e 1Ω de resistencia interna con un receptor de $24 \text{ V}-100 \Omega$ instalado a 50 m con condutores de cobre de $1,5 \text{ mm}^2$ de sección; calcula a potencia total perdida e o rendemento.



11. CAÍDA DE TENSIÓN E SECCIÓN DA LIÑA

Nun circuíto de CC como o da figura determínase o valor da sección dos condutores da liña en función da caída de tensión na liña $u = I \cdot R_L$. Tendo en conta que a resistencia dun condutor é $R_L = \rho \frac{L}{S}$ e que a lonxitude do condutor é dúas veces a lonxitude da liña (ida e volta), a caída



de tensión é: $\Delta u = I \cdot \rho \frac{2 \cdot L}{S}$. Sabendo que $P = U \cdot I$, a sección do condutor será:

$$S = \frac{2 \cdot \rho \cdot L \cdot I}{\Delta u} = \frac{2 \cdot \rho \cdot L \cdot P}{U \cdot \Delta u} \text{ ou ben}$$

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I}{\sigma \cdot \Delta u} = \frac{2 \cdot L \cdot P}{\sigma \cdot \Delta u \cdot U}$$

Onde:

- ρ é a resistividade ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$).
- σ é a condutividade ($\text{m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$)
- L é a lonxitude da liña (só ida) en metros (m).
- I é a intensidade da liña en amperes (A).
- Δu é a caída de tensión en voltios (V).
- U é a tensión en bornes do receptor en voltios (V).
- P é a potencia do receptor en (W).

EXERCICIO

25. Calcula a caída de tensión nos condutores do circuíto resistivo de CC do exercicio anterior (lonxitude da liña 50 m con condutores de cobre de $1,5 \text{ mm}^2$ de sección, tensión do circuíto 24 V).

12. EFECTO JOULE

O efecto Joule representa a aplicación do principio de conservación da enerxía á transformación de enerxía eléctrica en calor. A cantidade de calor producida nun condutor nun tempo t , polo paso de corrente eléctrica constante, é proporcional ao cadrado da intensidade de corrente pola resistencia do condutor. Ten por expresión:

$$Q = R \cdot I^2 \cdot t = U \cdot I \cdot t$$

Onde:

- Q é a cantidade de calor producida en Joules (J).
- R é a resistencia do condutor en ohmios (Ω).
- I é a intensidade que circula en amperes (A).
- t é o tempo transcorrido en segundos (s).
- U é a tensión entre os extremos do condutor en voltios (V).

As veces utilízase a caloría como unidade de calor, aínda que non pertenza as SI.

$$1J = 0,24 \text{ cal}; \quad 1 \text{ cal} = 4,18 J$$

A cantidade de calor aportada ou extraída dun corpo depende do produto de masa pola capacidade térmica específica (calor específico) e pola variación da temperatura que sofre o corpo.

$$Q = m \cdot c \cdot (\theta_2 - \theta_1)$$

Onde:

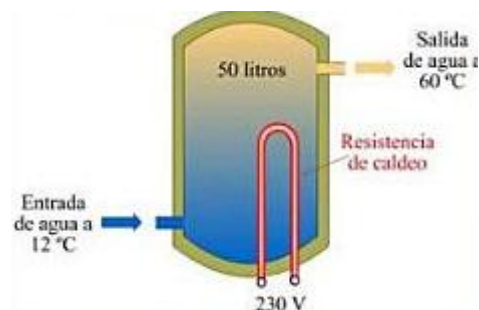
- Q é a cantidade de calor en calorías(cal).
- m é a masa do corpo en quilogramos masa (g).
- C é o calor específico (cal/g.°C).
- $\Theta_2 - \Theta_1$ é o salto térmico en °C, se é positivo o corpo cede calor.

Nesta expresión a cantidade de calor ven dada en calorías se a masa se da en gramos, o calor específico cal/g.°C e o salto térmico en °C. Na seguinte táboa indícase o calor específico dalgunhas substancias

Substancia	Calor específico, c [cal/g.ºC]	
Auga	1	Latón
Aceite	0,44	Mica
Alumino	0,22	Níquel
Bronce	0,09	Ouro
Cobre	0,09	Parafina
Constantán	0,09	Prata
Ebonita	0,34	Chumbo
Estaño	0,05	Porcelana
Grafito	0,20	Vidro
Ferro	0,11	Zinc

EXERCICIO

26. Calcular o calor desprendido por un forno eléctrico de 2000 W en 5 minutos de funcionamento.
27. Calcular o calor desprendido por un condutor de cobre de 100 m de lonxitude e 1,5 mm² de sección que alimenta a un grupo de lámpadas de 1500 W de potencia a unha tensión de 230 V durante un día.
28. Calcular a cantidade de calor que se produce, cada hora de funcionamento, no interior da batería, na liña e no interior do receptor do exercicio anterior (batería de 24 V de fem e 1 Ω de resistencia interna con un receptor de 24 V-100 Ω instalado a 50 m con condutores de cobre de 1,5 mm² de sección).
29. Determinar o calor preciso para elevar a temperatura de un litro de auga de 20 °C a 50 °C.
30. Determinar a potencia que deberá ter un termo eléctrico de auga para quentar un depósito de 50 l en 1 hora. O auga entra a 12 °C e deséxase quentala ata 60 °C. Calcular tamén o valor óhmico da resistencia de caldeo para unha tensión de 230 V. Cal será o custe se o prezo do kWh é de 0,088 €.



Bibliografía:

- Electrotecnia, *Germán Santamaría, Agustín Castejón*. Editex.

EXERCICIOS UNIDADE 1

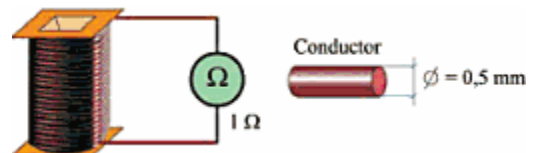
1. Por que se utilizan altas tensións para o transporte de enerxía eléctrica a grandes distancias?
2. Por que non están intercomunicadas as redes europeas coas americanas?
3. Que dispositivo é o que produce a enerxía eléctrica?
4. Realiza unha táboa de dobre entrada, na que figuren as resistencias que ofrece cada metro de lonxitude de condutor de 1,5; 2,5; 4; 6; 10 e 16 mm², nos casos de ser prata, cobre, aluminio e constantán. Marca aquelas seccións de cobre e de aluminio que ofrezan a mesma resistencia por unidade de lonxitude.

Resistencia de distintos condutores por metro de lonxitude

	1,5 mm ²	2,5 mm ²	4 mm ²	6 mm ²	10 mm ²	16 mm ²
Prata						
Cobre						
Aluminio						
Constantán						

5. Unha resistencia de 2.200 W-230 V conéctase cun cable de 2,5 mm² de sección a unha rede que dista 80 m. Calcula a caída de tensión, a tensión na orixe, a potencia perdida e o rendemento do sistema.
6. Calcula a sección a instalar, de condutores de cobre, para que unha resistencia de 1.100 W-230 V conectada a unha rede que dista 100 m produza unha caída de tensión máxima do 5 %.
7. Calcula a cantidade de calor, por unidade de tempo, producido como perdas na liña e como enerxía útil no receptor anterior coa sección comercial de cobre instalada.
8. Quérense ferver 4 litros de auga que inicialmente están a 20 °C. Calcula a potencia do receptor eléctrico para que o líquido entre en ebulición en 5 minutos (supón que o recipiente e o receptor están exentos de perdas).

9. Deséxase medir a lonxitude dunha bobina de cobre. Para non ter que desenrolar o condutor, mídese cun óhmetro conectado aos extremos bobina unha resistencia de 1 Ω e con un calibre médese o diámetro do condutor, que é 0,5 mm. Cantos metros de cobre ten a bobina?



10. Un ferro de pasar ten unha resistencia eléctrica de 40 Ω e absorbe unha intensidade de 5,5 A. calcula:
 - a) A cantidade de calor producida por hora.
 - b) A enerxía diaria que consume se se utiliza durante 4 horas.
 - c) O custe da enerxía consumida durante dous meses se se usa 20 días cada mes e o kWh custa 0,25 €.
11. Quérese tender unha liña de 30 m para alimentar un motor de CC que absorbe 10 kW cunha tensión nominal de 110 V.
 - a) Calcula a sección dos condutores de cobre para que a caída de tensión na liña non exceda o 2%.
 - b) Comproba que a densidade de corrente na liña non supera o límite de 5 a/mm² que pode soportar.
12. A resistencia de quentamento dun depósito de auga de 100 l é de 20 Ω e funciona con 440 V. Se se atopa a unha temperatura de 20°C e supoñendo que non hai perdas de calor, cal será a temperatura da auga cando a resistencia leve funcionando media hora
13. Dispónse dunha resistencia calefactora para un forno eléctrico da que so se coñece a súa potencia de traballo, 700 W, e o valor óhmico da mesma, 75,6 Ω. A que tensión se poderá conectar o forno para que funcione correctamente?

14. Cal será a perda de potencia que se producirá nos condutores liña eléctrica de cobre de 4 mm^2 de sección e de 100 m de lonxitude, que alimenta a un motor eléctrico de 1 kW a 230 V?
15. Cal será o aumento de temperatura que experimenta unha lámpada incandescente de 60 W/230 V con filamento de volframio, se ao medir a súa temperatura en frío obtivemos un resultado de 358 Ω ?
16. Responde ao seguinte test:
- símbolo da unidade de corrente eléctrica do SI é:
a) A b) C·s c) A·s
 - A unidade da magnitude de tensión eléctrica no SI é:
a) O voltio b) O hertz c) O vatio
 - O símbolo da magnitude tensión eléctrica no SI é:
a) A/W b) U c) V
 - Por canto hai que multiplicar os ohmios·metro para obter ohmios·centímetro:
a) 10^{-2} b) 10^2 c) 10^4
 - A velocidade coa que se realiza ou consome un traballo chámase:
a) Densidade de corrente.
b) Velocidade eléctrica.
c) Potencia.
 - A corrente eléctrica produce efectos como:
a) Térmicos e luminosos.
b) Químicos e electromagnéticos.
c) Ambas as dúas son certas.
 - En todo circuíto eléctrico se o produto $U \cdot I$ sae positivo (+), enténdese que:
a) xerador subministra enerxía
b) receptor absorbe enerxía
c) Ambas as dúas son certas.

ANEXO I: SIMBOLOXÍA

Natureza da corrente, condutores e conexións			
Significado	Símbolo segundo as normas IEC	Significado	Símbolo segundo as normas IEC
Corrente continua (C.C.)		Regletas de bornes de conexión	
Corrente alterna (C.A.)		CA trifásica a tres fíos	3 ~ 50 Hz 400 V
Conductor		CA trifásica con neutro	3N ~ 50 Hz 400 V
Unión condutora de cables		Pila ou acumulador	
Conexión fixa		Xerador de CC	
Conexión móbil		Xerador de CA	
Receptores e elementos xerais dun circuíto			
Significado	Símbolo segundo as normas IEC	Significado	Símbolo segundo as normas IEC
Resistencia con tomas fixas		Variabilidade extrínseca	
Debandados, bobinas (indutancias)		Variabilidade intrínseca	
Idem. con tomas fixas		Lámpada incandescente	
Condensador		Lámpada de descarga	
Condensador con tomas		Motor	
Terra		Bobina de reactancia con núcleo	