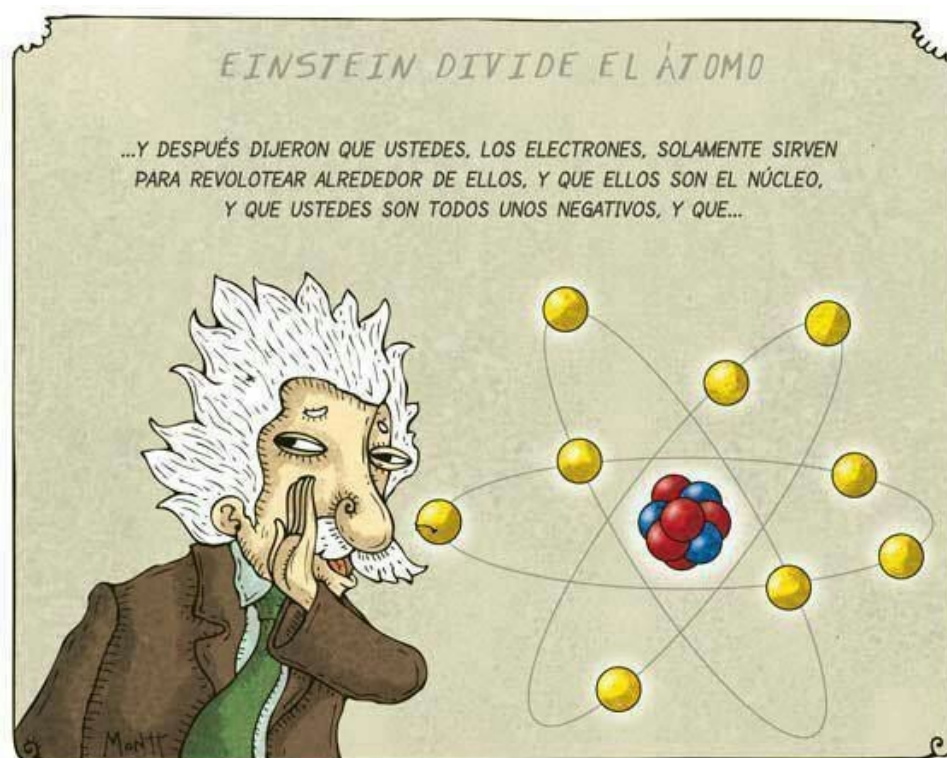


TEMA 1: A ELECTRICIDADE. MAGNITUDES FUNDAMENTAIS. RESISTORES.

CONTIDO

1.1. CONCEPTOS PREVIOS.....	3
1.1.1. NOTACIÓN CIENTÍFICA.....	3
1.1.2. SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES.....	4
1.1.3. PREFIXOS DO SISTEMA INTERNACIONAL.....	5
1.1.4. MEDIDA DE ÁNGULOS.....	6
OS GRAOS SEXAGESIMAIS.....	6
OS RADIÁNS.....	6
1.1.5. CONVERSIÓNS ENTRE UNIDADES DE ÁNGULOS.....	7
CONVERSIÓN DE GRAOS A RADIÁNS.....	7
CONVERSIÓN DE RADIÁNS A GRAOS.....	7
1.2. A ESTRUCTURA DA MATERIA.....	7
1.2.1. TIPOS DE MATERIAIS.....	9
CONDUTORES.....	9
ILLANTES.....	10
SEMICONDUCTORES.....	10
1.3. MAGNITUDES BÁSICAS.....	11
1.3.1. DIFERENZA DE POTENCIAL E FEM.....	11
1.3.2. CORRENTE ELÉCTRICA. INTENSIDADE DE CORRENTE.....	13
CONSIDERACIÓNS SOBRE A SEGURIDADE.....	14
1.3.3. ENERXÍA E TRABALLO.....	15
1.3.4. POTENCIA.....	15
1.4. XERACIÓN DE ELECTRICIDADE.....	16
1.4.1. REACCIÓNS QUÍMICAS.....	16
1.4.2. PRESIÓN.....	18
1.4.3. LUZ.....	19
1.4.4. CALOR.....	19
1.4.5. INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA.....	20

1.5. RESISTENCIA ELÉCTRICA. CONDUTANCIA.....	21
1.5.1. RESISTENCIA DE PEZAS DE MATERIAL CONDUTOR.....	21
1.5.2. EFECTOS DA TEMPERATURA.....	23
CONDUTORES.....	24
SEMICONDUCTORES.....	24
ILLANTES.....	24
SUPERCONDUTIVIDADE.....	24
O COEFICIENTE DE TEMPERATURA NOS METAIS.....	25
1.6. RESISTORES.....	26
1.6.1. TECNOLOXÍAS SMT E <i>THROUGH HOLE</i>	26
1.6.2. TIPOS DE RESISTORES.....	27
RESISTORES FIXOS.....	27
RESISTORES VARIABLES.....	31
RESISTORES DEPENDENTES.....	33
1.6.3. MARCAXE DE RESISTORES FIXOS E VALORES ESTÁNDAR.....	36
VALORES NORMALIZADOS PARA RESISTORES FIXOS.....	36
CÓDIGO DE CORES PARA INDICAR OS VALORES DOS RESISTORES.....	36
MARCAXE DE RESISTORES SMD.....	38



1.1. CONCEPTOS PREVIOS

1.1.1. NOTACIÓN CIENTÍFICA

A notación científica é unha maneira rápida de representar un número empregando potencias de base dez. Esta notación empregase para poder expresar facilmente números moi grandes ou moi pequenos.

Os números escríbense coma un produto:

$$a \cdot 10^n$$

Onde:

a - Un número decimal cunha única cifra enteira (á esquerda da coma).

n - Un número enteiro, que recibe o nome de expoñente.

Por exemplo $5,6 \cdot 10^5 = 5,6 \cdot 100.000 = 5.600.000$, do mesmo xeito $1,3 \cdot 10^{-3} = 1,3 \cdot 0,001 = 0,0013$

A notación decimal á que estamos afeitos non resulta cómoda cando nos atopamos con números moi grandes ou moi pequenos, exemplos:

A distancia aos confíns observables do universo é $4,6 \times 10^{26} \text{m}$ e a masa do sol $1,9891 \times 10^{30} \text{ kg}$, esta última cantidade en notación decimal sería: $1,9891 \times 10^{30} \text{kg} = 1.989.100.000.000.000.000.000.000.000 \text{ kg}$

Nos non imos traballar con estas cantidades pero si con outras similares, por exemplo a frecuencia na que traballan as redes WiFi 802.11b/g é de $2,4 \cdot 10^9 \text{ Hz}$

Nas cantidades extremadamente pequenas sucede algo similar, a masa do protón é $1,67 \times 10^{-27} \text{kg}$

Nota sobre as calculadoras Casio sen *Natural display* (por exemplo fx-82):

Cando na pantalla aparece  significa $8,97 \cdot 10^{-1}$.

Cando quero introducir na calculadora a cantidade $2,34 \cdot 10^8$ a secuencia de teclas a empregar é 2 . 3 4 EXP 8; xa que a tecla EXP leva implícito o $\cdot 10^x$.

1.1.2. SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES

O **Sistema Internacional de unidades**, abreviado como **SI** ou **SIU**, é o nome adoptado pola XI Conferencia Xeral de Pesas e Medidas (celebrada en París en 1960) para un sistema de unidades de medida **universal**, unificado e **coherente**.

Que o sistema internacional é **coherente** quere dicir que se empregamos nunha fórmula unidades do sistema internacional o resultado obtido terá tamén unidades do sistema internacional.

Salvo unhas poucas excepcións coma os kW·h durante este curso empregaremos sempre unidades do sistema internacional, as máis importantes que empregaremos son:

Magnitude	Nome da unidade	Símbolo
Tensión	Voltio	V
Intensidade de corrente	Amperio	A
Enerxía	Joule	J
Potencia	Vatio	W
Tempo	Segundo	S
Resistencia	Ohmio	Ω
Capacidade	Faradio	F
Coeficiente de autoindución	Henrio	H
Frecuencia	Hertz	Hz
Lonxitude	Metro	m
Superficie	Metro cadrado	m ²
Volume	Metro cúbico	m ³

1.1.3. PREFIXOS DO SISTEMA INTERNACIONAL

En realidade traballar sempre con potencias de 10 tampouco resulta práctico, por este motivo se empregan os prefixos:

10^n	Prefixo	Símbolo	Escala curta	Escala longa	Equivalente decimal
10^{15}	peta	P	Cuadrillón	Millar de billón	1 000 000 000 000 000
10^{12}	tera	T	Trillón	Billón	1 000 000 000 000
10^9	xiga	G	Billón	Millar de millón	1 000 000 000
10^6	mega	M	Millón	Millón	1 000 000
10^3	quilo	k	Millar	Millar	1 000
10^2	hecto	h	Centena	Centena	100
10^1	deca	da	Decena	Decena	10
10^0	ningún	ningún	Unidade	Unidade	1
10^{-1}	deci	d	Décimo	Décimo	0,1
10^{-2}	centi	c	Centésimo	Centésimo	0,01
10^{-3}	mili	m	Milésimo	Milésimo	0,001
10^{-6}	micro	μ (u) (*)	Millonésimo	Millonésimo	0,000 001
10^{-9}	nano	n	Billonésimo	Milésimo de millonésimo	0,000 000 001
10^{-12}	pico	p	Trillonésimo	Billonésimo	0,000 000 000 001
10^{-15}	femto	f	Cuadrillonésimo	Milésimo de billonésimo	0,000 000 000 000 001

* Pode ser escrito como 'u' se o 'μ' non estiver dispoñíbel, como en '10uF'

Deste xeito poden expresarse as cantidades dun xeito máis conveniente para nos, por exemplo:

15 MΩ (megaohmios) son $15 \cdot 10^6 \Omega$ e, polo tanto, 15.000.000 Ohmios.

2,4 GHz (xigahercios) son $2,4 \cdot 10^9$ Hz e, polo tanto, 2.400.000.000 Hercios.

2 μA (microAmperios) son $2 \cdot 10^{-6}$ A e, polo tanto, 0,000002 Amperios.

1,5 pF (picoFaradios) son $1,5 \cdot 10^{-12}$ F e, polo tanto, 0,0000000000015 Faradios.

1.1.4. MEDIDA DE ÁNGULOS.

As dúas unidades fundamentais para a medida de ángulos son os graos sexagesimais e os radiáns. Inda que os radiáns son a unidade máis natural para a medida de ángulos empréganse máis frecuentemente os graos sexagesimais.

Os graos sexagesimais

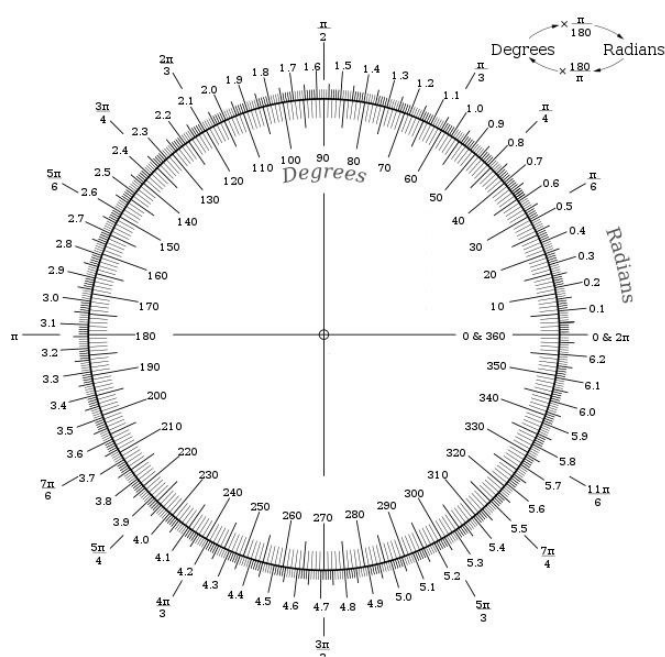
O grao sexagesimal esta definido partindo de que un ángulo recto ten 90° (90 grao sexagesimais), e as súas divisións o minuto sexagesimal, e o segundo sexagesimal, están definidos do seguinte modo:

- ✓ 1 grao sexagesimal = $60'$ (minutos sexagesimais).
- ✓ 1 minuto sexagesimal = $60''$ (segundos sexagesimais).

É unha práctica habitual expresar os ángulos empregando un número decimal de graos en lugar de empregar minutos e segundos.

Os radiáns

O **radián** é a unidade de ángulo do Sistema Internacional de Unidades. Sabemos que a lonxitude dunha circunferencia completa é de $2 \cdot \pi \cdot R$, nunha circunferencia de radio 1 a lonxitude será $2 \cdot \pi$. O valor dun ángulo en radiáns é a lonxitude do arco que delimita o ángulo nunha circunferencia de radio 1 coa orixe na vertixe do ángulo. O seu símbolo é **rad**.



1.1.5. CONVERSIONS ENTRE UNIDADES DE ÁNGULOS

Conversión de graos a radiáns.

Neste caso bastará con empregar un factor de conversión xa que sabemos que 180° equivalen exactamente a π rad. Así simplemente bastará con multiplicar a cantidade en graos polo factor $\frac{\pi \text{ rad.}}{180^\circ}$.

Así, por exemplo, $230,45^\circ$ serán $230,45^\circ \cdot \frac{\pi \text{ rad.}}{180^\circ} = 1,28 \cdot \pi \text{ rad.} = 4,02 \text{ rad.}$

Conversión de radiáns a graos.

Ao igual que no caso anterior bastará con empregar un factor de conversión, neste caso o inverso ao do apartado anterior. Así simplemente bastará con multiplicar a cantidade en graos polo factor $\frac{180^\circ}{\pi \text{ rad.}}$.

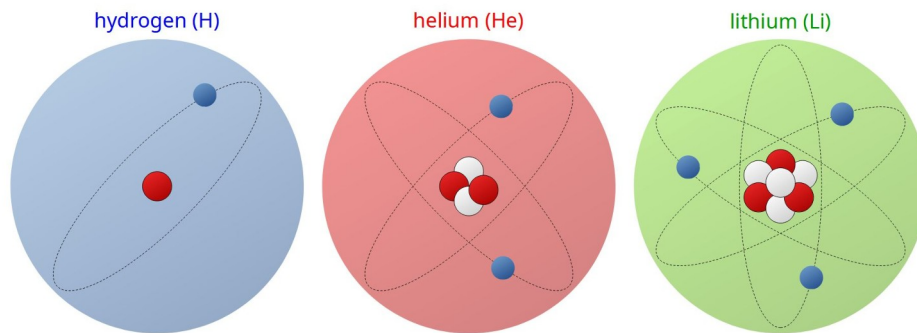
Así, por exemplo, $5,35 \text{ rad.}$ serán $5,35 \text{ rad.} \cdot \frac{180^\circ}{\pi \text{ rad.}} = 306,53^\circ$.

1.2. A ESTRUCTURA DA MATERIA

O coñecemento dos conceptos fundamentais da electrónica require certo grao de familiaridade co átomo e a súa estrutura. A materia esta composta de partículas fundamentais denominadas átomos. O átomo máis simple é o de hidróxeno que está formado por dúas partículas básicas, o protón e o electrón. O núcleo do átomo de hidróxeno é un protón, unha partícula cargada positivamente. O electrón que vira ao redor posúe unha carga negativa de magnitude igual á do protón.

En todos os demais elementos químicos o núcleo contén tamén neutróns, os cales son lixeiramente máis pesados que os protóns e non contan con carga eléctrica. O átomo de helio, por exemplo, conta con dous neutróns ademais dos dous electróns e os dous protóns. En todos os átomos o número de electróns é igual ao número de protóns.

Na figura a continuación representase os átomos de hidróxeno, helio e litio.



Distintos átomos terán diferente número de electróns dentro das capas concéntricas ao redor do núcleo. A primeira capa, a cal é a máis próxima ao núcleo, pode conter só dous electróns. Se un átomo chegase a ter tres electróns, o terceiro electrón deberá ir á seguinte capa. A segunda capa pode conter un máximo de 8 electróns, a terceira 18 e en xeral $2 \cdot n^2$ onde n é o número de capa.

Mediante experimentación determinouse que cargas distintas atraense e cargas iguais repélense. A forza de atracción ou de repulsión entre os corpos cargados Q_1 e Q_2 pode determinarse mediante a Lei de Coulomb:

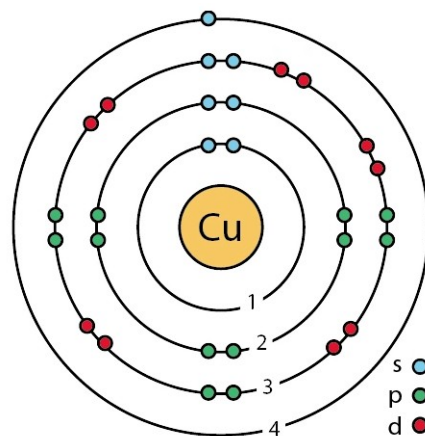
$$F = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

Onde F representa a forza en Newtons, k é unha constante de valor $9,0 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$, Q_1 e Q_2 son as cargas en Culombios e r é a distancia en metros entre as dúas cargas. Obsérvase como o termo r^2 no denominador ocasiona unha rápida diminución da forza (F) ante o aumento da distancia (r).

Por tanto, no átomo os electróns repeleranse entre si e, pola súa banda, protóns e electróns atraeranse entre si. Dado que o núcleo está composto de moitas cargas positivas (protóns), existirá unha forza de atracción grande para os electróns nas órbitas próximas ao núcleo (efecto dunha carga grande Q e unha distancia pequena r na ecuación). A medida que a distancia entre o núcleo e os electróns situados nas órbitas increméntase, a forza de atracción diminúe. Grazas á diminución das forzas de atracción, requirirase gastar menos enerxía para extraer un electrón dunha capa exterior que dunha interior. Tamén, polo xeral, os electróns que están en capas incompletas, con poucos electróns, están máis debilmente ligados ao átomo e son máis fáciles de

extraer. Estas propiedades do átomo que permiten a mobilización de electróns baixo certas condicións son esenciais para crear movemento de cargas. Este movemento das cargas a través dun material dá lugar á electricidade.

O cobre é o material utilizado con maior frecuencia na industria eléctrica/electrónica. A análise da súa estrutura atómica axudará a identificar a causa das súas amplas aplicacións. O átomo do cobre conta cun electrón máis dos electróns necesarios para completar as tres primeiras capas como se pode apreciar na figura á dereita.



Esta capa exterior incompleta, que conta cun só electrón, e a distancia entre este electrón e o núcleo fan que este electrón sexa atraído moi debilmente polo núcleo do átomo de cobre. Se este vixésimo noveno electrón adquire suficiente enerxía da contorna como para abandonar o seu átomo pai, denomínaselle electrón libre. Nun centímetro cúbico de cobre a temperatura ambiente, existen aproximadamente $8,54 \cdot 10^{22}$ electróns libres. Outros metais que presentan as mesmas propiedades do cobre, pero en distinto grao, son a prata, o ouro, o aluminio e o tungsteno.

1.2.1. TIPOS DE MATERIAIS

Os diferentes materiais poden clasificarse, segundo a súa facilidade para conducir un fluxo de electróns en **condutores**, **illantes** e **semicondutores**.

Condutores

Os condutores son aqueles materiais que permiten un fluxo xeneroso de corrente eléctrica con pouca forza externa, tensión eléctrica ou voltaxe, aplicada. Xeralmente, como xa se apuntou no apartado anterior, trátase de materiais coa capa electrónica máis lonxana ao núcleo pouco poboada.

Na táboa da dereita poden verse algúns materiais e a súa condutividade relativa á do cobre.

Metal	Conductividad relativa (%)
Plata	105
Cobre	100
Oro	70.5
Aluminio	61
Tungsteno	31.2
Níquel	22.1
Hierro	14
Constantan	3.52
Nicromo	1.73
Calorita	1.44

Illantes

Os illantes son aqueles materiais que necesitan da aplicación dunha gran forza externa, tensión ou voltaxe, para establecer unha corrente que se poda medir.

Unha aplicación común do material illante é o recubrimento do arame que transporta corrente, o cal, se se deixase sen illar, podería ocasionar perigosos efectos secundarios. As persoas que reparan as liñas de alimentación eléctrica utilizan luvas de caucho e permanecen de pé sobre tapetes de hule como medidas de seguridade cando traballan con liñas de transmisión de alta voltaxe.

Con todo, debe sinalarse que mesmo o mellor illante terá unha tensión de ruptura permitindo que a carga flúa ao aplicarse un potencial grande dabondo. Pensemos nas descargas atmosféricas, raios, a través do aire que se producen con tensións en torno aos cen millóns de voltios. Na táboa da dereita preséntanse os esforzos de ruptura dalgúns illantes.

Material	Esfuerzos promedio de ruptura (kV/cm)
Aire	30
Porcelana	70
Aceites	140
Baquelita	150
Caucho	270
Papel (recubierto de parafina)	500
Teflón	600
Vidrio	900
Mica	2000

Semicondutores

Os semicondutores son un grupo específico de elementos que presentan características situadas a metade de camiño entre as dos illantes e as dos condutores.

Os átomos dun cristal de material semiconductor únense mediante enlaces covalentes de xeito que aparecen novos “orbitais compartidos”. Como todos os electróns das últimas capas están en estes orbitais compartidos estes materiais teñen, en principio, unha resistencia elevada. Sen embargo, con un aporte de enerxía externo (luz, calor...) os electróns destes orbitais libéranse converténdose en electróns libres e reducindo a resistencia ao paso da corrente eléctrica.

Toda a industria electrónica depende desta clase de materiais debido a que moitos compoñentes electrónicos e os circuítos integrados (CI) constrúense de materiais semicondutores. O silicio (Si) é o material máis utilizado, sen embargo outros materiais como o xermanio (Ge), o arseniuro de galio (GaAs), o fosfuro de indio (InP) e outros moitos empréganse tamén de xeito habitual. Estudaranse en certo detalle en un tema posterior.

1.3. MAGNITUDES BÁSICAS

1.3.1. DIFERENZA DE POTENCIAL E FEM

O potencial eléctrico representa a enerxía que posúe unha unidade de carga por atoparse nun punto. Así, as cargas móvense espontaneamente de uns potenciais a outros de xeito que a súa enerxía diminúa.

Un exemplo é pensar na gravidade na terra, o potencial da gravidade esta relacionado coa altura, así os obxectos con masa caemos espontaneamente dende os puntos máis altos a os máis baixos xa que nos máis baixos temos menos enerxía potencial gravitacional. Do mesmo xeito as cargas eléctricas positivas vense empurradas a moverse dende potenciais altos a potenciais baixos. O problema de esta analoxía é que existen dous tipos de cargas, positivas e negativas, que dan lugar a potenciais opostos mentres que no caso da masa só existe un tipo.

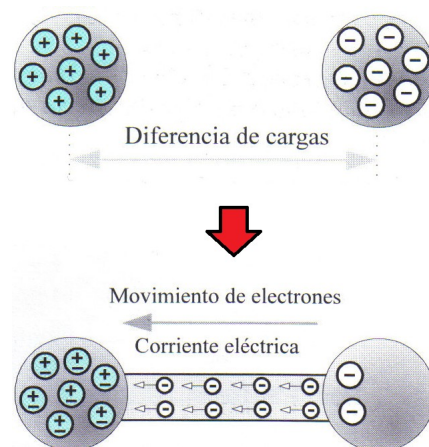
O potencial eléctrico depende fundamentalmente da distribución da carga eléctrica no espazo de xeito que se nun punto hai unha acumulación de carga positiva en este punto existirá un potencial eléctrico positivo elevado, provocando que sexa un foco de atracción para as cargas negativas e un foco de repulsión para as cargas positivas.

A tensión eléctrica, voltaxe ou diferenza de potencial (ddp) é a diferenza de potencial eléctrico entre dous puntos. Representase pola letra V ou pola abreviatura *ddp*. A súa unidade de medida no S.I. é o Voltio (V), en honor a Alessandro Volta científico italiano e inventor do xerador electroquímico (pila).

⚠ - As tensións eléctricas son sempre medidas relativas, é dicir, sempre falaremos de que un punto esta a 10 V respecto de outro do mesmo xeito

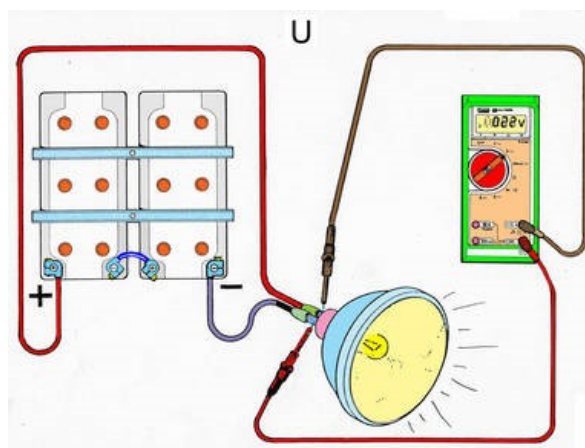
que cando falamos da altura dunha cidade dámola con respecto ao mar ou respecto a outra cidade.

Supoñamos agora dúas esferas cargadas, unha con cargas positivas e outra con cargas negativas como mostra a figura, é obvio segundo o visto ate agora que entre elas existira unha diferenza de potencial. Ao poñelas en contacto mediante un material condutor as cargas móbiles comezaran a fluír compensando esa diferenza de potencial. O fluxo de carga (corrente) manterase mentres exista diferenza de carga entre as esferas e, polo tanto, diferenza de potencial ou tensión.



Con todo nós estamos afeitos a ver correntes eléctricas que manteñen un valor constante ao longo do tempo, para isto é indispensable a existencia dun xerador eléctrico. O xerador eléctrico é o elemento capaz de crear e manter unha diferenza de potencial ou tensión, e por tanto unha diferenza de cargas, que manteña a circulación de corrente eléctrica constantemente. Para isto o xerador deberá arrancar electróns do polo positivo e depositalos no polo negativo. Ao traballo por unidade de carga necesario para levar a cabo este traslado chamáremoslle forza electromotriz ou (*fem*). A *fem* dun xerador mídese tamén en Voltios. O fluxo de corrente dentro dun xerador (*fem*) vai do polo negativo ao positivo, ao contrario do fluxo espontáneo debido a unha ddp.

Para medir a tensión eléctrica teremos entón que conectar un aparello **entre os dous puntos** entre os que queremos determinar a tensión como ilustra a figura a continuación. Este aparello é o voltímetro/polímetro ou no caso de que desexemos ver como varia a tensión co tempo de xeito gráfico o osciloscopio. A *fem* dun xerador eléctrico medirase entre os seus extremos en baleiro, é dicir, sen ningunha carga conectada.



1.3.2. CORRENTE ELÉCTRICA. INTENSIDADE DE CORRENTE

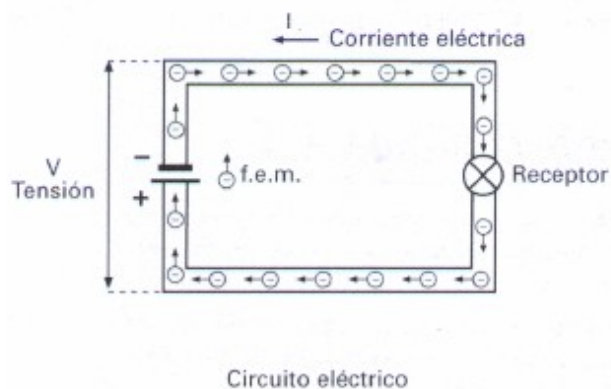
A **corrente eléctrica** é o fluxo de calquera carga eléctrica. Para nós na electrónica a corrente é o fluxo de cargas a través dun condutor eléctrico ou un compoñente electrónico.

Supoñamos un fío de material condutor a temperatura ambiente e sen forzas externas aplicadas, existirá no seu interior un movemento aleatorio de electróns libres creado pola enerxía térmica. Cando os átomos perden os seus electróns libres, adquiren unha carga neta positiva e denomínaselles ións positivos. Os electróns libres poden moverse entre estes ións positivos e abandonar a área do átomo pai, mentres que os ións positivos unicamente oscilan ao redor dunha posición fixa media. Por esta razón, **o electrón é o portador de carga en calquera condutor sólido de electricidade** (A excepción dos semicondutores).

Agora, conectemos ese arame condutor entre as dúas terminais dunha batería xunto cun foco. A batería colocará unha carga neta positiva (defecto de electróns) nun terminal e unha carga neta negativa (exceso de electróns) no outro terminal. No instante en que a conexión final se realice, os electróns libres desprazaranse cara ao polo positivo, mentres os ións positivos que permanecen oscilando en torno a unha posición fixa. O polo negativo é unha "fonte" de electróns que serán extraídos deste cando os electróns do arame de cobre vaian cara o polo positivo.

Sen embargo estamos afeitos a representar as correntes eléctricas circulando do polo positivo do xerador cara o negativo. A este convenio denomínaselle fluxo convencional da corrente eléctrica.

Nos traballaremos sempre con este fluxo convencional xa que é o empregado tanto na educación como na industria, ademais de ser o empregado no deseño dos símbolos dos dispositivos electrónicos e nos paquetes de software de computadora. Esta incongruencia é resultado dun suposto que se fixo, cando se descubriu a

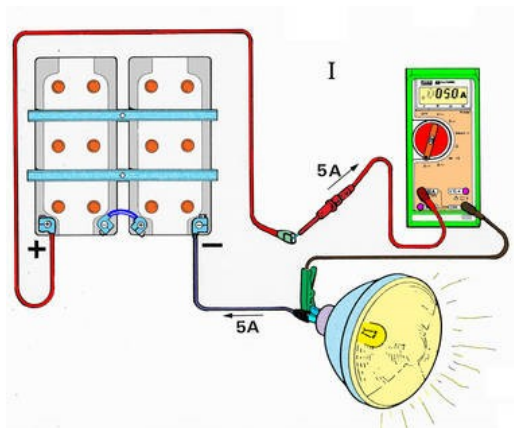


electricidade, con respecto a que era a carga positiva a partícula que se movía nos condutores metálicos e, en realidade, non supón ningún problema.

Defínese a intensidade de **corrente**, representada pola letra I , como a cantidade de carga que atravesa unha sección recta do devandito condutor por unidade de tempo. A unidade de medida de intensidade de corrente no S.I. é o Amperio (A) en homenaxe a André Marie Ampère, físico francés que realizou importantes descubrimentos sobre a relación entre as correntes e os campos magnéticos e inventor do galvanómetro.

$$1\text{A} = 1\text{ C/s.}$$

Para medir a corrente eléctrica teremos que conectar un aparello **intercalado no punto no que queremos** determinar a intensidade de corrente. Este aparello é o amperímetro/polímetro.



Consideracións sobre a seguridade

É importante observar que mesmo niveis baixos de corrente que pasen a través do corpo humano poden causar serios e perigosos efectos secundarios. Resultados experimentais mostran que o corpo humano comeza a reaccionar ante correntes de só uns cuantos miliamperes. A pesar de que a maioría dos individuos poden soportar correntes de até 10 mA por moi curtos períodos sen efectos secundarios, calquera corrente superior aos 10 mA debe ser considerada perigosa. De feito, correntes de 50 mA poden causar graves consecuencias e correntes por enriba dos 100 mA chegan a ser fatais. Na maioría dos casos a resistencia da pel humana seca é o suficientemente alta como para limitar a corrente a través do corpo a niveis relativamente seguros para os niveis de voltaxe que tipicamente se atopan no fogar. Con todo, hai que ter presente que cando a pel estea húmida ou cando hai unha ferida, a súa resistencia baixa drasticamente e os niveis de corrente poden elevarse a niveis perigosos coas mesmas voltaxes. Afortunadamente, existen dispositivos de seguridade como os interruptores diferenciais e as tomas de terra pero aínda así os accidentes suceden. A electricidade debe manexarse, non con medo, pero si con prudencia.

1.3.3. ENERXÍA E TRABALLO

A enerxía (E) é unha propiedade asociada aos obxectos e substancias que se manifesta nas transformacións que ocorren na natureza (**Lei de conservación da enerxía**). A enerxía é a capacidade dos corpos ou substancias para efectuar un **traballo (transformación)**.

O traballo (W) e a variación de enerxía producida por unha determinada causa. En mecánica o traballo e o produto da forza aplicada polo desprazamento que esta forza produce, en electricidade/electrónica a enerxía que se pon en xogo nun circuíto é o produto da carga eléctrica pola diferenza de potencial entre os puntos entre os que se despraza.

Así, recordando que definiamos a intensidade de corrente coma o fluxo de carga eléctrica por unidade de tempo o traballo eléctrico podemos definilo segundo a ecuación:

$$W = V \cdot I \cdot t$$

A unidade de medida de enerxía e traballo no S.I. é o Joule, de símbolo J, en homenaxe a James Prescott Joule, físico británico que fixo importantes estudos sobre a enerxía e o magnetismo entre outros temas. Outras unidade de enerxía importantes en electricidade/electrónica son a caloría (cal), a frigoría(fg) e o kilovatio hora(kW·h).

$$1 \text{ cal.} = 4,18 \text{ J.} \quad 1 \text{ fg.} = 4.180 \text{ J.} = 4,18 \text{ kJ.} \quad 1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3.600.000 \text{ J.} = 3,6 \text{ MJ.}$$

1.3.4. POTENCIA

A **potencia** é a cantidade de traballo efectuado por unidade de tempo. Isto é equivalente á velocidade de cambio de enerxía nun sistema ou á rapidez en realizar un traballo.

A definición máis xeral da potencia é:

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

Se aplicamos esta definición ao caso do traballo en electricidade/electrónica obtemos a definición xeral de potencia que, como veremos máis adiante, pode aplicarse a todos os casos que estudaremos.

$$P=V \cdot I$$

A unidade de medida potencia no S.I. é o Vatio, de símbolo W en homenaxe a James Watt, enxeñeiro escocés e inventor da máquina de vapor.

Outra unidade de potencia importante aínda que en este curso non a empregaremos apenas é o cabalo de vapor (CV).

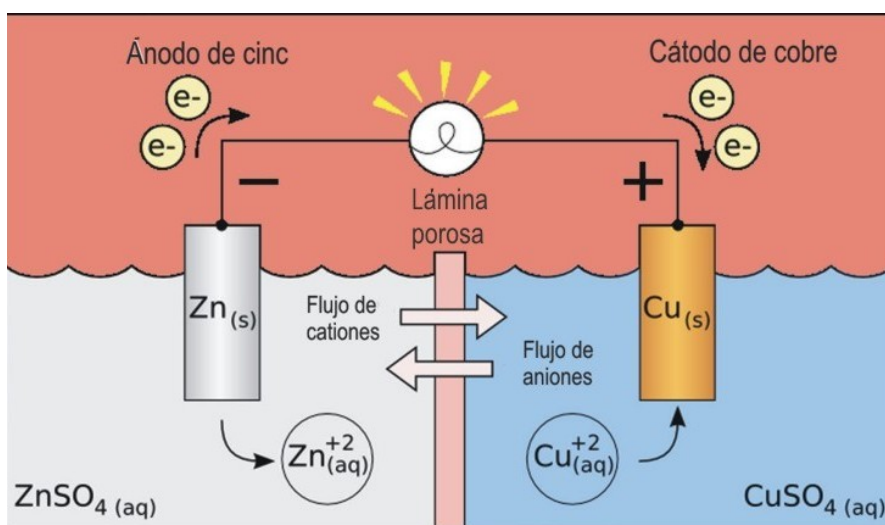
$$1 \text{ CV} = 735,5 \text{ W.}$$

1.4. XERACIÓN DE ELECTRICIDADE

Para crear unha diferenza de potencial hai que transformar algún outro tipo de enerxía en enerxía eléctrica. Durante este apartado veremos algúns dos tipos de enerxía que se poden transformar en enerxía eléctrica tratando de explicar como se consegue esta transformación e cal é a súa utilidade en cada caso.

1.4.1. REACCIÓNS QUÍMICAS

É un dos casos máis importantes, nunha reacción química de oxidación redución intercámbianse electróns entre os reactivos participantes. Se separaramos as partes da reacción química de xeito que este intercambio de electróns se produza a través dun circuío externo teremos un xerador electroquímico que será capaz de subministrar unha certa *fem* mentres non se esgoten os reactivos. Na seguinte figura mostrase un dos primeiros modelos experimentais de xerador electroquímico, a pila de Daniell.



Todas as celas electroquímicas ou pilas poden dividirse en dous tipos primario ou secundario. As do tipo secundario son recargables, mentres que as do primario non. É dicir, a reacción química da cela secundaria pode ser invertida para restaurar a súa capacidade.

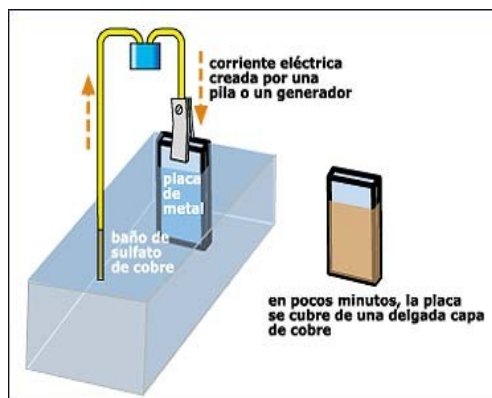
Entre as celas electroquímicas primarias as máis habituais son as de Zinc Carbono, as súas versións melloradas como as de cloruro de Zinc e tamén as pilas alcalinas de Zinc dióxido de manganeso. Tamén existen numerosos modelos con Litio, mercurio ou outras substancias que se usan habitualmente para alimentar equipos de pequeno tamaño ou elevado consumo.

Entre as celas electroquímicas secundarias destacan as de chumbo ácido que son as que se empregan nas baterías dos coches. Tamén son importantes as de níquel cadmio, as de hidruro metálico de níquel e as de níquel Zinc que se presentan como alternativa as celas primarias convencionais nos equipos de consumo. Por último están as celas de litio ión que se empregan usualmente en ordenadores portátiles, teléfonos celulares e, en xeral, equipos con elevados requirimentos de enerxía.

A capacidade de unha cela secundaria expresase xeralmente en mA·h ou en A·h. Como a intensidade é unha medida da cantidade de carga que circula por unidade de tempo os mA·h e os A·h son unha unidade de carga eléctrica.

Tamén ten aplicacións prácticas o uso de estas reaccións químicas no senso contrario, aportando corrente eléctrica para acadar a descomposición química de determinados compostos nun proceso chamado electrólise. Este proceso empregase en procesos industriais para obter metais como cobre, aluminio, litio, sodio, potasio e magnesio.

A electrólise empregase tamén para recubrir pezas cunha película de outro material (galvanizado electrolítico), é habitual recubrir pezas con cromo, zinc, ouro ou prata. En algúns casos faise por motivos estéticos, en outros para mellorar características coma a resistencia á corrosión ou a condutividade.



1.4.2. PRESIÓN

Existen certos materiais, como os cristais de cuarzo, que responden á deformación cunha tensión eléctrica, polo tanto aparece unha diferenza de potencial entre as súas caras ao sometelos a unha presión mecánica, esta propiedade recibe o nome de piezoelectricidade. Este efecto non ten aplicación para a construción de xeradores pero é de utilidade en outros dispositivos.

Unha aplicación típica é o mecanismo de acendido de algúns acendedores electrónicos, cociñas de gas e caldeiras. Consiste en un cristal piezoeléctrico que é golpeado de forma brusca por un mecanismo que se acciona manualmente. A presión provoca unha elevada diferenza de potencia, capaz de crear un arco voltaico ou faísca que permite o acendido do dispositivo.

Outra das aplicacións dun cristal piezoeléctrico é como sensor ou xerador de vibracións. As variacións de presión producidas pola vibración provocan un sinal proporcional á deformación que as provoca. Traballan de maneira axeitada para detectar ou producir ondas sónicas ou ultrasónicas. Como sensores empréganse, por exemplo, en pastillas piezoeléctricas para guitarras eléctricas. Como emisores empréganse por exemplo en altosfalantes de agudos de baixo custo nos zumbadores empregados nos espertadores ou reloxos.

Outra aplicación importante son os inxectores de combustible nos motores. Ao aplicarse unha diferenza de potencial a un material piezoeléctrico, conséguese que este reaccione deformándose e abrindo o inxector, permitindo ao combustible a moi alta presión entrar no cilindro. O uso de inxectores piezoeléctricos permite controlar con precisión os tempos de inxección e a cantidade de combustible que entra no motor, o que redonda en melloras no consumo, prestacións e rendemento. Dun xeito similar empréganse inxectores piezoeléctricos en moitas impresoras de inxección de tinta.

Outra aplicación moi importante é a fabricación de cristais resoantes para empregar en osciladores. As dimensións do cristal determinan a frecuencia de resonancia mecánica do cristal. Polo efecto piezoeléctrico esta resonancia mecánica produce unha resonancia eléctrica nesa mesma frecuencia. Fábranse para frecuencias dende unhas poucas decenas de kilohertz ata centos de megahertz, empréganse en reloxos e equipos de radiofrecuencia.

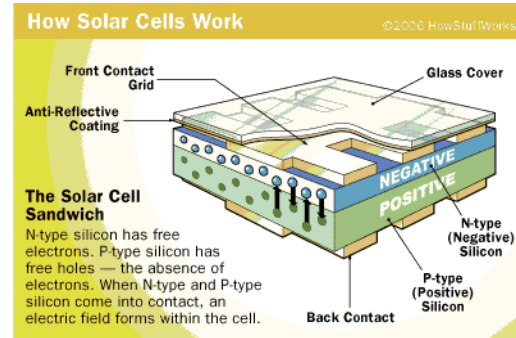
1.4.3. Luz

Unha cela fotovoltaica é un dispositivo electrónico que permite transformar a enerxía luminosa en enerxía eléctrica. Están compostas de materiais que presenta efecto fotoeléctrico, é dicir que absorbe fotóns de luz producíndose

cargas libres no seu interior. Mediante o uso de capas de materiais semicondutores con características diferentes conséguese que estas cargas se separen fisicamente dando lugar a unha diferenza de potencial que pode ser empregada para facer circular unha corrente eléctrica por un circuíto.

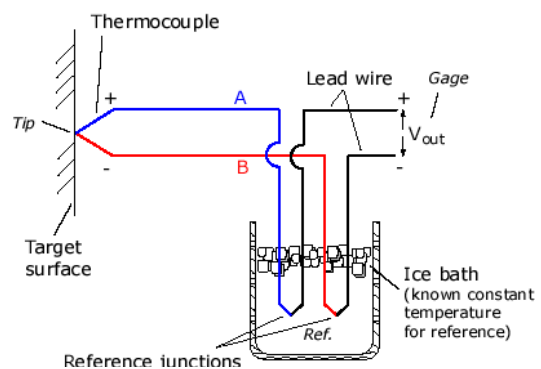
A eficiencia de conversión media obtida polas células dispoñibles comercialmente vai dende o 5% ate o 22% aproximadamente. Agardase que con celas multicapa poidan acadarse eficiencias próximas ao 50% no futuro.

Unha cela solar proporciona en torno a 0,5 ou 0,6V, os paneis fotovoltaicos consisten nunha rede de celas solares conectadas para aumentar a tensión de saída até o valor desexado, usualmente 12V ou 24V.



1.4.4. CALOR

Un termopar é unha unión de dous metais distintos que produce unha voltaxe, que é función da diferenza de temperatura entre un dos extremos denominado unión quente ou de medida e o outro denominado unión fría ou de referencia. Na figura da dereita

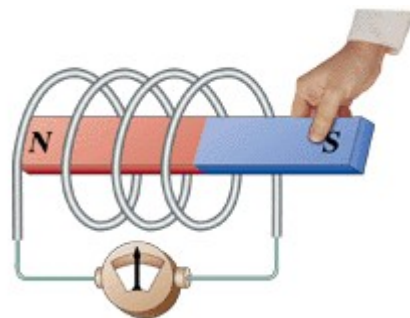


representase a unión de referencia nun baño de xeo, polo tanto a 0°C, na maioría de instrumentos de medida a temperatura de referencia obtense mediante un sensor de temperatura no interior do instrumento.

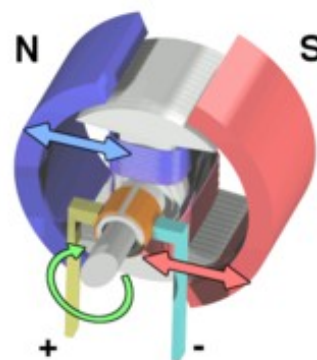
Na industria os termopares son amplamente usados como sensores de temperatura. Son económicos, intercambiáveis, rápidos, teñen conectores estándar e son capaces de medir un amplo rango de temperaturas. O grupo de termopares conectados en serie recibe o nome de termopila.

1.4.5. INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

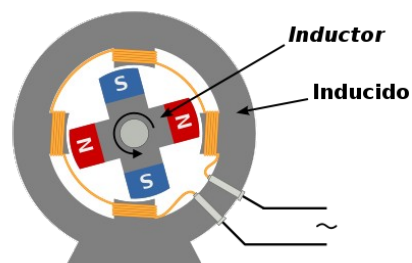
Nun condutor sometido a un campo magnético variable indúcese unha fem proporcional á velocidade de variación deste campo magnético. Este mecanismo é a través do cal se xera a maior parte da enerxía eléctrica que empregamos. Dende a dínamo de unha bicicleta ata os grandes alternadores das centrais hidroeléctricas.



Chámase dínamos aos xeradores deste tipo que proporcionan na súa saída corrente continua. Nas dínamos adoita empregarse un imán permanente dentro do campo do cal xiran unha serie de bobinados unidos solidariamente a unha peza que, á súa vez, vai unida ao eixo que sae ao exterior. Durante o xiro das bobinas indúcese no seu interior correntes alternas que, no caso das dínamos, son transformadas en continuas mediante un inxenioso deseño dos contactos eléctricos entre os bobinados do inducido e o circuíto externo, o colector de delgas. O colector de delgas consiste en un anel dividido en tantos pares de pezas illadas entre si coma bobinados teña o inducido. A conexión co circuíto externo faise mediante escobillas, xeralmente de grafito, que rozan as delgas de xeito que ao xirar o colector modifícase a conexión entre os bobinados e o circuíto externo. Así, cando se inverte o signo da diferenza de potencial en un bobinado invertese a conexión entre o bobinado e o circuíto externo, polo que o signo da diferenza de potencial no circuíto externo permanece igual.



Nos grandes alternadores adoitan empregarse electroimáns que se fan xirar no interior de unha carcasa na que se fixan as espiras que forman o circuíto do inducido.



O principio físico polo que funcionan estas máquinas é reversible polo que máquinas con deseños similares poden empregarse como motores de continua ou de alterna. Tamén os motores eléctricos, dende os dos xoguete ata os grandes motores eléctricos de indución funcionan segundo este principio.

1.5. RESISTENCIA ELÉCTRICA. CONDUTANCIA.

O fluxo de carga a través de calquera material atopa unha forza oposta que é similar en moitos aspectos á fricción mecánica. A esta oposición, debida xeralmente ás colisións entre electróns e entre electróns e outros átomos no material, que converte a enerxía eléctrica en calor, chámasele resistencia do material. En realidade tamén existen achegas á resistencia que non dan conta da transformación de enerxía eléctrica en calor como por exemplo a resistencia de radiación nas antenas que da conta da transformación de enerxía eléctrica en radiación electromagnética. Sen embargo a conversión de enerxía eléctrica en calor é, con moito, o máis habitual.

A unidade de medición para a resistencia é o ohmio para o cal se emprega o símbolo Ω . A resistencia adoita representarse mediante a letra R .

A condutancia(G) é o inverso da resistencia, se ben é moito menos empregada que a resistencia resulta útil empregala á hora de resolver algúns circuítos. A unidade de medición para a condutancia é o Siemens para o cal se emprega o símbolo S . A relación entre resistencia e condutancia é:

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

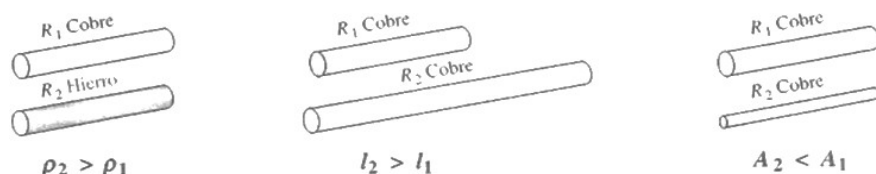
1.5.1. RESISTENCIA DE PEZAS DE MATERIAL CONDUTOR

A resistencia de calquera peza de material cunha área transversal esta determinada polo seguintes catro factores: material, lonxitude, área transversal e temperatura.

O material escollido, coa súa estrutura molecular única, reaccionará de diferente modo ás tensións aplicadas. Os condutores que permiten un fluxo de carga abundante con pouca presión externa terán baixos niveis de resistencia, mentres que os illantes terán altas características de resistencia. O parámetro que dá conta desta diferenza entre os materiais é a resistividade de símbolo ρ (rho). A resistividade ten dimensións de resistencia por distancia e é común vela expresada en $\Omega \cdot m$ ou en $\Omega \cdot mm^2/m$.

Como podería esperarse, canto maior é a traxectoria que a carga debe percorrer, maior é o nivel de resistencia, mentres que a maior área (e por tanto, espazo dispoñible), menor será a resistencia. A resistencia é entón directamente proporcional á lonxitude e inversamente proporcional á área.

Na seguinte figura vense unha serie de casos nos que so varia un dos parámetros vistos e sempre se cumpre que $R_2 > R_1$.



A unha temperatura dada, a dependencia da resistencia coa temperatura discutirase no seguinte apartado, a resistencia está relacionada co tres factores indicados pola expresión:

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

Onde ρ é a resistividade, L é a lonxitude da mostra, e S é a área transversal ou sección da mostra.

A seguinte táboa recolle as resistividades de algúns dos condutores máis habituais:

Material	Resistividade ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$) (20 °C-25 °C)	Resistividade ($\Omega \cdot \text{m}$) (20 °C-25 °C)
Prata	0,0155	$1,55 \cdot 10^{-8}$
Cobre	0,0171	$1,71 \cdot 10^{-8}$
Ouro	0,0235	$2,35 \cdot 10^{-8}$
Aluminio	0,0282	$2,82 \cdot 10^{-8}$
Volframio	0,0565	$5,65 \cdot 10^{-8}$
Níquel	0,064	$6,40 \cdot 10^{-8}$
Ferro	0,0971	$9,71 \cdot 10^{-8}$
Platino	0,106	$10,60 \cdot 10^{-8}$
Estaño	0,115	$11,50 \cdot 10^{-8}$
Constatán	0,49	$4,9 \cdot 10^{-7}$
Aceiro	0,72	$72,00 \cdot 10^{-8}$
Grafito	0,6	$60,00 \cdot 10^{-8}$
Carbón amorfo	650	$6,5 \cdot 10^{-4}$

Veremos que canto menor é a resistencia dun condutor, menores son as perdas na condución da fonte á carga. A resistividade é un factor importante ao determinar a resistencia dunha peza de material condutor, canto menor sexa a resistividade menor será a resistencia da peza. A prata, o cobre, o ouro e o aluminio son os mellores condutores. Con todo, hai outros factores como a maleabilidade (facilidade dun material para ser convertido en láminas), a ductilidade (facilidade dun material para ser estirado en arames longos e delgados), comportamento coa temperatura, tenacidade (capacidade para resistir forzas bruscas sen romper) ou custo, que deben ser considerados ao escoller un condutor para unha aplicación en particular.

En xeral, o cobre é o material máis amplamente utilizado por ser moi maleable, dúctil e accesible; ten boas características térmicas e é menos caro que o ouro ou a prata. Con todo, certamente non é barato. Nalgún tempo o aluminio foi introducido para o cabreado en xeral por ser máis barato que o cobre, pero as súas características térmicas xeraron algunhas dificultades. Atopouse que o quecemento debido ao fluxo da corrente e o arrefriado que ocorría cando se apagaba o circuío resultaban en expansións e contraccións do arame de aluminio até o punto en que as conexións podían chegar a afrouxarse e presentar defectos perigosos. Con todo, o aluminio aínda se utiliza en áreas como a manufactura de circuítos integrados e en situacións onde as conexións poden efectuarse con seguridade, tamén nas liñas de transporte de enerxía pola súa lixeireza. A prata e o ouro son, por suposto, moito máis caros que o cobre ou o aluminio, pero hai casos en que o custo se xustifica. A prata e o ouro teñen excelentes características para preparacións de superficies dada a súa resistencia á corrosión, e o ouro utilízase tamén en circuítos integrados pola súa maleabilidade e a súa excelente condución do calor. O tungsteno ten tres veces a resistividade do cobre, pero hai ocasións en que as súas particulares características físicas (durabilidade, resistencia á tracción, elevado punto de fusión) son esenciais.

1.5.2. EFECTOS DA TEMPERATURA

A temperatura ten unha influencia considerable sobre a resistencia dos materiais. Dividiremos os materiais entre os que teñen unha resistencia que aumenta ao aumentar a temperatura, materiais con **coeficiente térmico de**

resistencia positivo ou **PTC**, e aqueles cunha resistencia que diminúe co aumento da temperatura, **materiais con coeficiente térmico de resistencia negativo** ou **NTC**.

Condutores

Os condutores teñen unha gran cantidade de portadores de carga libres non seu interior, polo tanto ou aumento de enerxía debido á temperatura non provoca un aumento significativo da cantidade de estes. De feito, a enerxía térmica só aumentará a intensidade do movemento aleatorio das partículas dentro do material e fará máis difícil que se estableza un fluxo xeral de electróns en calquera dirección. O resultado é que para bos condutores un aumento na temperatura resultará nun aumento no nivel de resistencia, en consecuencia, os bos condutores presentan un coeficiente térmico de resistencia positivo.

Semicondutores

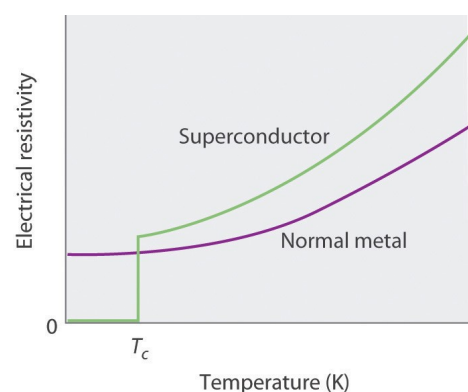
Nos semicondutores, un aumento de temperatura engadirá certa enerxía térmica ao sistema o que resultará nun aumento no número de portadores libres para condución no material. Por tanto para materiais semicondutores, un aumento de temperatura resultará nunha diminución no nivel de resistencia. Os semicondutores teñen coeficientes térmicos de resistencia negativos.

Illantes

Igual que nos semicondutores, un aumento de temperatura resultará, en xeral, nunha diminución na resistencia dun illante. O resultado é un coeficiente térmico de resistencia negativo.

Supercondutividade

Un superconductor é un material que non opón resistencia ao fluxo de corrente eléctrica por el. A supercondutividade é unha propiedade presente en moitos metais e algunhas cerámicas, que aparece a baixas temperaturas. Caracterízase pola perda de resistividade a partir de certa temperatura, denominada temperatura crítica, característica de cada material.

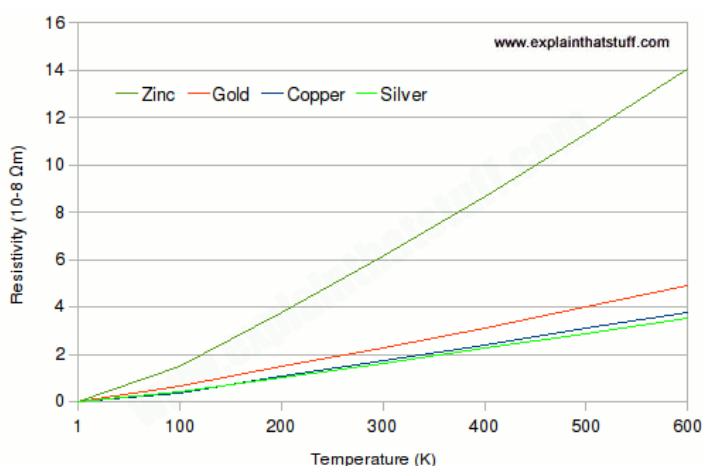


Lamentablemente esta temperatura crítica adoita ser moi baixa, ao redor de -125°C no mellor dos casos, o que limita enormemente os seus usos. Hai enormes esforzos hoxe día por atopar materiais que presenten supercondutividade a temperaturas máis altas.

Pola súa ausencia de resistencia, os supercondutores utilizáronse para fabricar electroimáns que xeran campos magnéticos intensos sen perdas de enerxía para o uso en estudos de materiais e na construción de aceleradores de partículas. O descubrimento de mellores compostos semicondutores, ou con temperaturas críticas máis elevadas, sería a chave para moitas máis aplicacións: ordenadores máis rápidos, trens de levitación magnética de alta velocidade e, tal vez o máis importante, unha xeración e transmisión máis eficiente da enerxía eléctrica.

O coeficiente de temperatura nos metais

Na maior parte dos condutores metálicos a resistencia aumenta case linearmente (segundo unha relación de liña recta) cun incremento da temperatura. Na figura pode verse a resistividade de algúns condutores respecto da temperatura para un amplo rango de temperaturas.



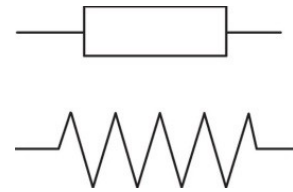
Como a temperatura pode ter un efecto pronunciado sobre a resistencia dun condutor, é importante dispor dalgún método para determinar a resistencia a calquera temperatura dentro de límites operativos. Unha ecuación que é bastante precisa no rango normal de temperaturas de operación é a seguinte:

$$R(T) = R(20^{\circ}\text{C}) \cdot [1 + \alpha_{20} \cdot (T - 20^{\circ}\text{C})]$$

Onde α_{20} é o coeficiente térmico de temperatura a 20°C, $R(T)$ é a resistencia a unha temperatura T e $R(20^{\circ}\text{C})$ é a resistencia a 20°C.

1.6. RESISTORES

O resistor é o compoñente electrónico deseñado para introducir unha resistencia eléctrica entre dous puntos dun circuío. Son coñecidos simplemente como resistencias. Os símbolos circuitais asociado aos resistores pode verse na figura da dereita.



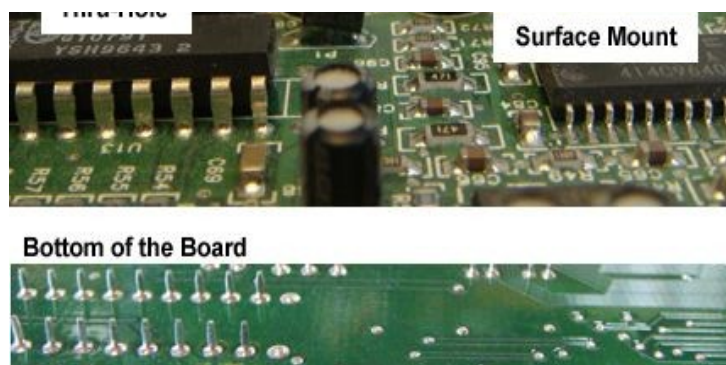
1.6.1. TECNOLOXÍAS SMT E THROUGH HOLE

Antes de comezar a falar dos resistores propiamente ditos é importante que coñezamos os dous tipos de dispositivos electrónicos segundo a tecnoloxía de fabricación de circuítos impresos. Trátase da tecnoloxía *through hole* e da de montaxe superficial *SMT*.

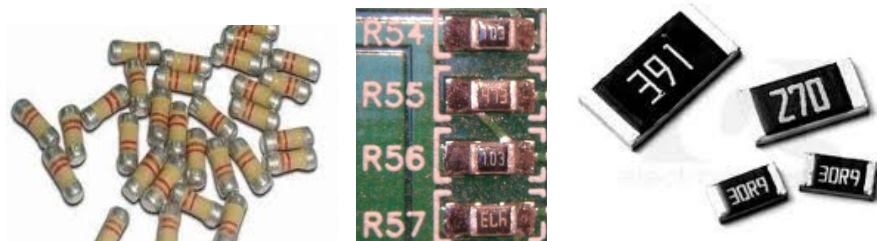
Na tecnoloxía *through hole* os compoñentes presentan uns contactos alargados que atravesan as placas de circuío impreso e sóldanse polo lado contrario.

A tecnoloxía de montaxe superficial, máis coñecida polas súas siglas en inglés *SMT* (*Surface Mount Technology*) é o método de construción de dispositivos electrónicos máis utilizado actualmente. Baséase na montaxe dos compoñentes (*SMC*, en inglés *Surface Mount Component*) **sobre a superficie** do circuío impreso. Un compoñente *SMT* é usualmente máis pequeno que o seu análogo de tecnoloxía *through hole*, onde os compoñentes **atravesan a placa** de circuío impreso. Os compoñentes *SMT* non a atravesan xa que non posúen pines ou, se os teñen, son máis curtos. Tamén hai compoñentes *SMT* con contactos planos, unha matriz de boliñas na parte inferior do compoñente, ou terminacións metálicas nos bordos.

Na figura a continuación poden verse exemplos de ambas tecnoloxías.



Na seguinte figura poden verse diferentes resistores de montaxe superficial.



Na seguinte figura poden verse diferentes resistores de montaxe *through hole*.



1.6.2. TIPOS DE RESISTORES

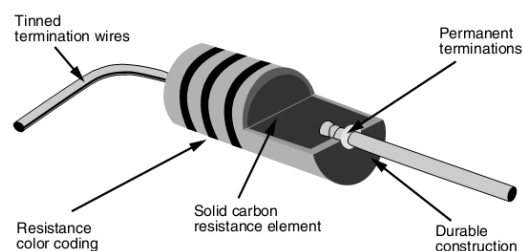
Os resistores fábrícanse en moitas presentacións, sen embargo nos clasificaremos unicamente en tres grupos: fixos, variables e dependentes.

Resistores fixos

Os resistores fixos son aqueles que se fabrican para presentar un valor de resistencia constante. Úsanse para limitar a intensidade por determinados compoñentes e para distribuír as correntes e tensións ao longo dos circuítos, é dicir, para polarizar outros compoñentes. Clasificáremos segundo a tecnoloxía de fabricación, ás máis habituais descríbense a continuación.

Resistores aglomerados

Fábrícanse cunha masa homoxénea de carbón mesturado con material illante e unha resina aglutinante, todo iso prensado en forma de cilindro. A pasta



introdúcese nun tubo de baquelita ou cerámico, logo insírense os terminais na masa resistiva e, finalmente, aplícaselle un recubrimento. As súas vantaxes son un bo comportamento en altas frecuencias e unha boa capacidade para manexar altas potencias en relación ao tamaño do resistor. Como desvantaxes teñen unha tolerancia de fabricación elevada, entre o 5% e o 20%.

Resistores de película de carbón

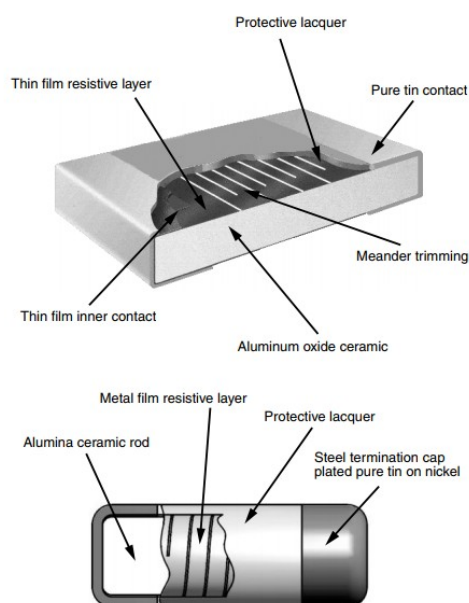
Os fabricantes Siemens e Dralowid a finais dos anos 20 do século XX en Alemaña, desenvolveron esta técnica de fabricación. Depositase, a elevada temperatura, unha capa de carbón ao redor dun núcleo cerámico, despois aplícaselles mediante presión unha cazoleta metálica en cada extremo. Seguidamente, córtase un surco ou raiado en espiral (espiralado) sobre a capa de carbón, conseguindo un circuíto resistivo máis longo como se pode apreciar na figura á dereita. Este procedemento produce valores resistivos elevados, con capas relativamente grosas, e un control moi preciso da resistencia. Os terminais de saída únense ás cazoletas mediante soldadura. Finalmente, protexese o conxunto con varias capas de pintura illante. Foron a tecnoloxía dominante e aínda se ven frecuentemente. Con todo, actualmente vense superadas polas de película metálica, tanto en volume de vendas coma en todas as características, salvo en voltaxes e temperaturas máximas de traballo.



Resistores de película metálica

Existen varios tipos: de película delgada (Thin-Film), de película grossa (Thick-Film), de óxidos metálicos e de Bulk-Metal.

Este tipo de resistores, de gran precisión e estabilidade, substitúe a capa de carbón por un metal ou aliaxe metálica de alta resistividade (metais: cromo, níquel, titanio, tántalo... e aliaxes como: níquel-cromo, ouro-platino...) ou por un óxido metálico (depósito de espesor de 0,01 a 0,5mm, dun óxido de estaño e antimonio). As de thin-film teñen mellores características pero as de thick-film son máis baratas de producir. Ambas superan as características das de película de carbón.



O soporte adoita ser de pirex, vidro, porcelana, alúmina ou cuarzo. Nos modelos até 5W utilízanse casquillos metálicos e para potencias superiores empréganse bridas. As resistencias elevadas requiren tamén dun proceso de espiralado (cilíndricas) ou riscado en meandros (planas). Hoxe en día son os resistores máis vendidos. Fábrícanse tamén modelos con excelentes características para traballar en alta frecuencia, ate varios GHz.

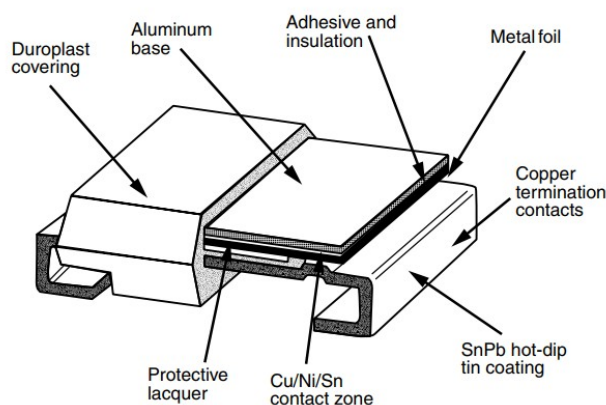
Resistores bobinados

Este tipo de resistores caracterízase polo seu elemento resistivo que é un fino fío ou cinta de metal de alta resistividade fabricado cunha aliaxe (xeralmente nicrom) de alta resistividade. O citado fío arróíase en espiral sobre un soporte illante de cerámica. En resistores de gran potencia empreganse coma contactos bridas nos extremos. Para as de pequena potencia pode empregarse un cilindro de fibra de vidro con cazoletas metálicas nos extremos. A lonxitude, sección e composición do fío define o valor óhmico do resistor. As súas mellores características son que poden disipar unha cantidade enorme de potencia e que poden fabricarse dunha enorme precisión. Por contra teñen o inconveniente de ser indutivas e non ser útiles en de alta frecuencia.



Resistores de lámina metálica

Os resistores de lámina metálica consisten en unha lámina dun material metálico montada sobre un material cunha boa condutividade térmica. Empréganse como resistores de gran precisión para aplicacións de medida. Destacan pola súa baixa tolerancia, baixo coeficiente de temperatura e elevada estabilidade.



Na seguinte táboa poden verse as características comparadas dos tipos de resistores comentados neste apartado.

RESISTORS	CARBON FILM	METAL FILM	THICK FILM	METAL FOIL	CARBON COMPOSITION	WIREWOUND
Resistance Value	10 Ω to 22 M Ω	0.22 Ω to 22 M Ω	1 Ω to 100 M Ω	2 m Ω to 1 M Ω	1 Ω to 20 M Ω	0.1 Ω to 300 k Ω
Tolerance [%]	± 2 to ± 10	± 0.1 to ± 2	± 1 to ± 5	± 0.005 to ± 5	± 5 to ± 20	± 0.1 to ± 10
Temperature Coefficient [ppm/K]	- 200 to - 1500	± 5 to ± 50	± 50 to ± 200	± 2 to ± 50	- 200 to - 1500	± 1 to ± 200
Maximum Operating Temperature [°C]	+ 155	+ 155	+ 155	+ 150	+ 150	+ 400
Rated Dissipation P_{70} [W]	0.25 to 2	0.063 to 1	0.063 to 0.25	0.25 to 10	0.25 to 1	0.25 to 100
Stability at P_{70} (1000 h) $\Delta R/R$ [%]	± 0.8 to ± 3	± 0.15 to ± 0.5	± 1 to ± 3	± 0.05	+ 4/- 6 (typical - 3)	± 1 to ± 10
Operating Voltage U_{max} [V]	200 to 1000	50 to 500	50 to 200	200 to 500	150 to 350	25 to 1000
Current Noise [μ V/V]	< 1	< 0.1	< 10	< 0.025	2 to 6	negligible
Non-linearity A_3 [dB]	> 100	> 110	> 50	negligible	~ 60	negligible

Quen queira saber máis sobre os tipos de resistores fixos e as súas características pode visitar o seguinte documento en inglés:

<http://www.vishay.com/docs/28771/basics.pdf>

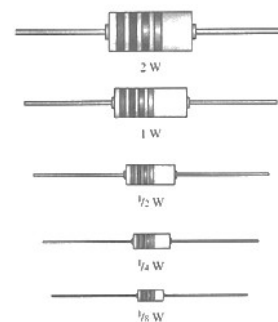
Características dos resistores fixos

Estas son as características que usualmente aparecen nas follas de características dos resistores fixos.

Resistencia nominal ou valor nominal: é o valor que debería ter o compoñente a 20°C se o proceso de fabricación fose perfecto.

Tolerancia: é a máxima variación superior ou inferior que pode ter o valor nominal. Exprésase en forma de porcentaxe sobre o valor nominal: $\pm 1\%$, $\pm 2\%$, $\pm 5\%$, $\pm 10\%$, $\pm 20\%$.

Potencia nominal: É a potencia (en vatios) que pode disipar o compoñente de forma continua a unha certa temperatura que adoita vir especificada na folla de características. Os tamaños dos resistores cambian coa potencia nominal. Para unha mesma tecnoloxía de fabricación canto maior é a potencia nominal maior é o tamaño para resistir as correntes elevadas e perdas por disipación.



Tensión máxima de funcionamento: é a tensión continua ou alterna de 50 Hz que non se debe superar en funcionamento continuo.

Temperatura máxima de funcionamento: é a máxima temperatura á que pode ser empregada a resistencia.

Coeficiente de temperatura en partes por millón por grado centígrado (ppm/°C): Nos resistores a especificación da variación da resistencia coa temperatura proporciónase normalmente en partes por millón por grao Celsius (PPM/°C) o que dá unha indicación inmediata do nivel de sensibilidade do resistor á temperatura. Unha característica de 1000 PPM/°C revela que un cambio de 1°C en temperatura ocasionará un cambio en resistencia igual a 1000 PPM, ou $1000/1.000.000 = 1/1000$ do seu valor nominal. En forma de ecuación, o cambio en resistencia está dado por:

$$R(T) = R_{nom} \cdot \left(1 + \frac{PPM/°C}{10^6} \cdot \Delta T \right)$$

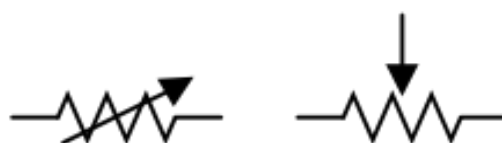
Onde R_{nom} é o valor nominal do resistor a temperatura ambiente e ΔT é o cambio en temperatura medido dende o nivel de referencia.

Característica de frecuencia: En altas frecuencias adoitan aparecer comportamentos diferentes do puramente resistivo. Indícase de xeitos moi variados: valor máximo de traballo, gráficos, circuítos equivalentes...

Resistores variables

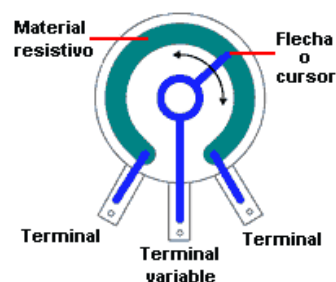
Os resistores variables, como implica o seu nome, teñen unha resistencia que pode ser variada virando un eixo, un parafuso ou o que sexa apropiado para a aplicación. Estes resistores poden ter dous ou tres terminais, a maioría teñen tres. Se o dispositivo de dous ou tres terminais úsase como resistor variable, chámasele reóstato. Se o dispositivo con tres terminais úsase para o control de niveis de potencial, chámasele comunmente potenciómetro. Aínda que un dispositivo de tres terminais pode usarse como reóstato ou potenciómetro normalmente é chamado potenciómetro.

Os símbolos para identificar a un potenciómetro e un reóstato móstrase na figura da dereita.



Os potenciómetros teñen tres terminais. O eixo, o cuadrante ou o parafuso situados no centro da cuberta controlan o movemento dun contacto que se pode desprazar ao longo do elemento resistivo conectado entre as dúas terminais externas. O contacto está conectado ao terminal central, establecendo unha resistencia entre o contacto móbil e cada terminal exterior.

A resistencia entre as terminais exteriores sempre será o máximo valor nominal do potenciómetro, independentemente da posición do contacto móbil. Pola súa banda, a resistencia entre o brazo de contacto e calquera terminal exterior pode variarse desde un mínimo de 0 e até un valor máximo igual



ao valor nominal do potenciómetro. Loxicamente a suma das resistencias entre o brazo de contacto e cada terminal exterior é igual á resistencia nominal do potenciómetro.

En canto ao tipo de movemento do cursor existen potenciómetros lineais ou deslizantes e rotatorios.

No tocante á relación entre o desprazamento do cursor e a variación da resistencia existen potenciómetros deseñados para que sexa liñal pero tamén existen para os que a relación é logarítmica. Estes últimos son os máis axeitados para os controis de volume en audio.



Os principais usos dos potenciómetros son tres, como sensor de posición fixando o cursor á peza cuxa posición quere se determinar; como elemento de mando para variar as características do circuíto e, por último, como elemento de axuste en circuítos. A diferenza entre mando e axuste é que o mando efectúase de xeito habitual mentres que o axuste realízase só durante a posta a punto do dispositivo.

Resistores dependentes

Os resistores dependentes son aqueles nos que a resistencia depende de algunha propiedade física. As súa aplicación máis típica é como sensores, tamén se empregan para compensar as variacións que poidan producir nos circuítos a propiedade física á que responden. Os máis relevantes son:

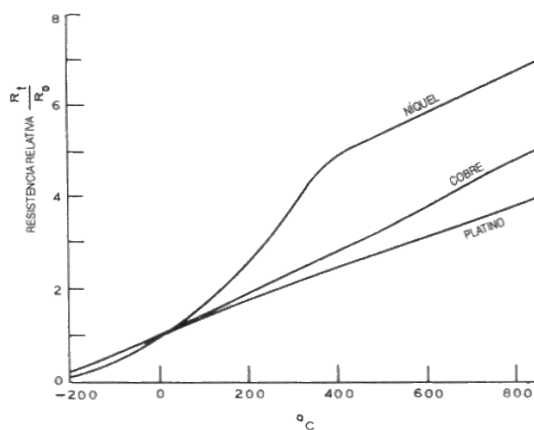
Temperatura

Aínda que todas as resistencias, en maior ou menor grao, dependen da temperatura, existen uns dispositivos específicos que se fabrican expresamente para iso, de modo que o seu valor en ohmios dependa "fortemente" da temperatura. O símbolo é o que aparece na figura, en ocasións engádese o símbolo "+T" ou "-T" para indicar se a resistencia aumenta ou diminúe coa temperatura. Existen dous tipos fundamentais as RTD e os termistores.



RTD

Un RTD (Resistance Temperature Detector) é un detector de temperatura resistivo, é dicir, un sensor de temperatura baseado na variación da resistencia dun condutor coa temperatura. Os materiais empregados para a construción de sensores RTD adoitan ser condutores tales como o cobre, o níquel ou o platino. De todos eles é o platino o que ofrece mellores prestacións: alta resistividade, resposta máis rápida, maior marxe de temperatura e excelente linearidade. Con todo, a súa sensibilidade é menor que a doutros. (Ver figura á dereita)



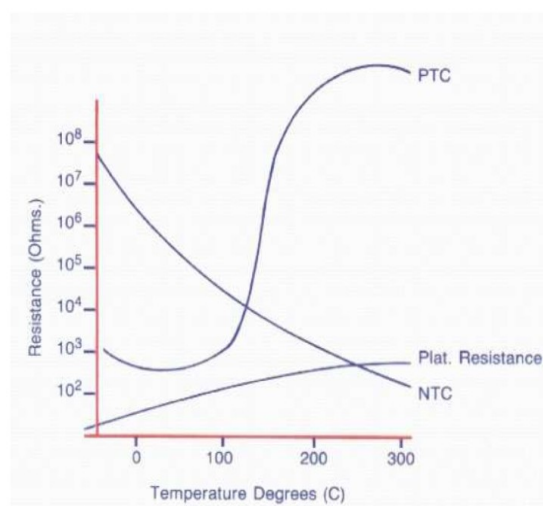
Comparados con outros sensores de temperatura os RTD teñen unha marxe de temperaturas bastante amplo, proporcionan medidas de gran exactitude e repetitividade, son moi estables co tempo e moi lineais. Doutra banda a súa sensibilidade é maior que a dos termopares pero menor que a de outros, ademais son lentos, caros e menos resistentes mecanicamente que outros.

Termistor

Un termistor é un resistor de material semiconductor cuxa resistencia varia coa temperatura. O termo termistor provén de **Thermally Sensitive Resistor**. Existen dous tipos de termistores, NTC (Negative Temperature Coefficient) e PTC (Positive Temperature Coefficient). Cando a temperatura aumenta, os tipo PTC aumentan a súa resistencia e os NTC diminúena.

O seu funcionamento baséase na variación da resistencia dos semicondutores coa temperatura. Para os termistores NTC, ao aumentar a temperatura, aumentará tamén a concentración de portadores, polo que a resistencia será menor. Os termistores PTC, realizados con semicondutores moi dopados, adquiren o comportamento propio dos bos condutores e presentan un coeficiente de temperatura positivo. A diferenza dos RTD, a variación da resistencia coa temperatura é non lineal e esta é a súa maior desvantaxe.

Comparados con outros sensores de temperatura os termistores teñen unha gran sensibilidade, son rápidos, baratos e resistentes. Doutra banda non son lineais e son pouco estables, a súa resposta varía co tempo. Os PTC teñen maior sensibilidade pero unha marxe de medida máis pequena que os NTC, estes son máis habituais.



Os fabricantes identifican os valores das NTC mediante bandas de cores de modo semellante ás resistencias axiais e seguindo a súa mesmo código. Só hai que ter en conta que a primeira banda é a que está máis próxima ás patillas do compoñente.

Luz

Unha fotorresistencia ou LDR (*light dependent resistor*) é un compoñente electrónico que presenta unha resistencia que varia coa intensidade de luz incidente. O seu símbolo pode verse na figura da dereita.



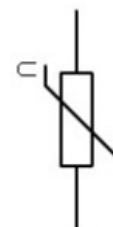
O seu funcionamento baséase no efecto fotoeléctrico, cando a luz incide sobre o material os fotóns son absorbidos polo semiconductor creando cargas libres no material de tal modo que diminúe a resistencia. Os valores típicos varían entre algúns megaohmios na escuridade e centenaes de ohmios con luz brillante. Son capaces de reaccionar a unha ampla gama de frecuencias, incluíndo infravermello, luz visible, e ultravioleta.

Fabrícanse en diversos tipos e poden atoparse en moitos artigos de consumo, por exemplo en cámaras, medidores de luz, reloxos con radio, alarmas de seguridade ou sistemas de aceso e apagado da iluminación de rúas.



Tensión

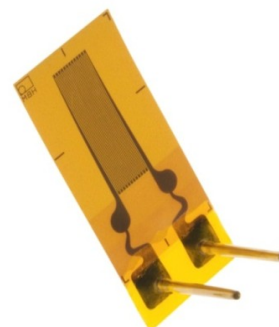
Un varistor ou VDR (*voltage dependent resistor*) é un compoñente electrónico cunha resistencia que depende fortemente da tensión aplicada. O seu símbolo pode verse na figura da dereita. O termo varistor provén da contracción do inglés **variable resistor**.



Os varistores diminúen o seu valor óhmico cando aumenta a tensión. Deste xeito baixo impulsos de tensión compórtase case como un cortocircuíto e cando cesa o impulso posúe unha alta resistencia. Aproveitando este comportamento os varistores poden empregarse para protexer circuítos contra variacións de tensión ao incorporalos no circuítos de forma que cando se activen a corrente non pase por compoñentes sensibles.

Esforzo mecánico

As galgas extensiométricas aproveitan a propiedade física da resistencia eléctrica e a súa dependencia da xeometría do condutor. Cando un condutor eléctrico é estirado dentro do seu límite de elasticidade vólvese máis estreito e alargado, isto incrementa a súa resistencia eléctrica. Analogamente, cando o condutor é comprimido acúrtase e ensancha, reducindo así a súa resistencia ao paso de corrente eléctrica. Desta maneira, medindo a resistencia eléctrica da galga, pode deducirse a magnitude do esforzo aplicado sobre o obxecto. Controlando a súa xeometría deséñanse galgas para medir esforzos en diferentes direccións.



1.6.3. MARCAJE DE RESISTORES FIXOS E VALORES ESTÁNDAR

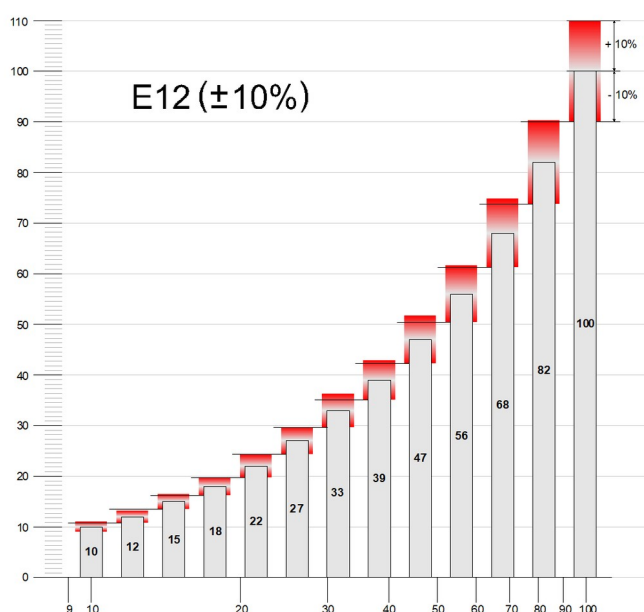
Valores normalizados para resistores fixos

Os valores comerciais das resistencias obtéñense mediante unha progresión xeométrica que se repite cada década, co termo xeral:

$$R = a \cdot 10^{\frac{k}{N}}$$

onde R é o valor actual, a é o primeiro valor de cada década (10, 100, 1000...), k é o índice da serie e N é o número de termos por década.

A partir desta fórmula obtéñense as series de valores E6, E12, E24, E48, E96... Estas subdivisionís aseguran que se calquera valor é substituído polo valor normalizado máis próximo, o máximo erro será de 20%(E6), 10%(E12), 5%(E24), 2%(E48) ou 1%(E96). A figura á dereita ilustra o explicado para os valores da serie E12 considerando unha tolerancia do 10%.



Na seguinte táboa poden verse os valores normalizados E12, E24, e E96:

E12	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	3.9	4.7	5.6	6.8	8.2
E24	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.7	3.0
	3.3	3.6	3.9	4.3	4.7	5.1	5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1
E96	1.00	1.02	1.05	1.07	1.10	1.13	1.15	1.18	1.21	1.24	1.27	1.30
	1.33	1.37	1.40	1.43	1.47	1.50	1.54	1.58	1.62	1.65	1.69	1.74
	1.78	1.82	1.87	1.91	1.96	2.00	2.05	2.10	2.15	2.21	2.26	2.32
	2.37	2.43	2.49	2.55	2.61	2.67	2.74	2.80	2.87	2.94	3.01	3.09
	3.16	3.24	3.32	3.40	3.48	3.57	3.65	3.74	3.83	3.92	4.02	4.12
	4.22	4.32	4.42	4.53	4.64	4.75	4.87	4.99	5.11	5.23	5.36	5.49
	5.62	5.76	5.90	6.04	6.19	6.34	6.49	6.65	6.81	6.98	7.15	7.32
	7.50	7.68	7.87	8.06	8.25	8.45	8.66	8.87	9.09	9.31	9.53	9.76

Código de cores para indicar os valores dos resistores

Os valores das resistencias poden estar indicados con números serigrafados sobre a propia resistencia. Nese caso non hai ningún problema para

identificalas, abonda con ler o valor correspondente. E importante ter en conta que moitas veces utilízase múltiplos como k ou M. Outras veces indícase a coma decimal co símbolo Ω ou R. Algúns exemplos son 10K, 15M, 1 Ω 2, 6R8, R10...

Para indicalo valor dunha resistencia e as súas características utilízase un conxunto de aneis paralelos de diferentes cores situados sobre o corpo do resistor. Estes aneis poden ser tres, catro, cinco ou seis segundo a serie empregada (tres para E6, catro para E12-E24, cinco ou seis para E48-E96). As cores empregadas e os significados dos aneis aparecen na seguinte táboa:

Color de la banda		Valor de la 1ª cifra significativa	Valor de la 2ª cifra significativa	Multiplicador	Tolerancia	Coefficiente de temperatura
Negro		-	0	1	-	-
Marrón		1	1	10	±1%	100ppm/°C
Rojo		2	2	100	±2%	50ppm/°C
Naranja		3	3	1 000	-	15ppm/°C
Amarillo		4	4	10 000	4%	25ppm/°C
Verde		5	5	100 000	±0,5%	-
Azul		6	6	1 000 000	±0,25%	10ppm/°C
Violeta		7	7	-	±0,1%	5ppm/°C
Gris		8	8	-	-	-
Blanco		9	9	-	-	1ppm/°C
Dorado		-	-	0,1	±5%	-
Plateado		-	-	0,01	±10%	-
Ninguno		-	-	-	±20%	-

Nos resistores de tres bandas as dúas primeiras son cifras e a terceira é un multiplicador. A tolerancia é do 20%.

Nos resistores de catro bandas as dúas primeiras son cifras, a terceira é un multiplicador e a cuarta indica a tolerancia (5% - 10%).

Nos resistores de cinco bandas as tres primeiras son cifras, a cuarta é un multiplicador e a quinta indica a tolerancia.

Nos resistores de seis bandas as cinco primeiras bandas indican o mesmo que nos de cinco bandas e a sexta indica o coeficiente de temperatura.

Marcaxe de resistores SMD

Aos resistores SMD imprímenselles valores numéricos nun código similar ao usado nos resistores axiais. Os resistores de tolerancia estándar son marcados cun código de tres díxitos, no cal os primeiros dous díxitos representan os primeiros dous díxitos significativos e o terceiro díxito representa unha potencia de dez (o número de ceros).

$$\text{"334"} \rightarrow 33 \times 10,000 \, \Omega = 330 \, \text{k}\Omega \quad \text{"473"} \rightarrow 47 \times 1,000 \, \Omega = 47 \, \text{k}\Omega$$

$$\text{"222"} \rightarrow 22 \times 100 \, \Omega = 2.2 \, \text{k}\Omega \quad \text{"105"} \rightarrow 10 \times 100,000 \, \Omega = 1 \, \text{M}\Omega$$

Os resistores de menos de $100 \, \Omega$ escríbense directamente co seu valor seguido dun cero. Ese cero final representa dez á potencia cero, o cal é 1.

$$\text{"100"} \rightarrow 10 \times 1 \, \Omega = 10 \, \Omega$$

$$\text{"220"} \rightarrow 22 \times 1 \, \Omega = 22 \, \Omega$$

Algunhas veces estes valores márcanse como "10" o "22" para previr erros. Os resistores menores de $10 \, \Omega$ teñen una 'R' para indicala posición do punto decimal.

$$\text{"4R7"} \rightarrow 4.7 \, \Omega \quad \text{"0R01"} \rightarrow 0.01 \, \Omega \quad \text{"0R22"} = 0.22 \, \Omega$$

Os resistores SMD con resistencias de miliohmios, para aplicacións de medición de correntes están marcados habitualmente coa letra M ou m indicando a posición do punto decimal (co valor en miliohmios). Por exemplo 1M50 indica $1,50\text{m}\Omega$ ou 2M2 indica $2,2\text{m}\Omega$.

Os resistores de precisión son marcados con códigos de catro díxitos, nos cales os primeiros tres díxitos son as cifras significativas e o cuarto é a potencia de dez.

$$\text{"4992"} = 499 \times 100 \, \Omega = 49.9 \, \text{k}\Omega \quad \text{"14R7"} = 14,7 \, \Omega$$

$$\text{"1001"} = 100 \times 10 \, \Omega = 1 \, \text{k}\Omega \quad \text{"1000"} = 100 \times 1 \, \Omega = 100 \, \Omega$$

Un resistor SMD marcado como 0, 00, 000 ou 0000 é unha ponte (cero ohmios).

Tolerancia

O código estándar de 3 ou 4 díxitos non nos dá unha maneira de determinar a tolerancia do resistor SMD.

Na maioría dos casos unha resistencia de montaxe en superficie marcada co código de 3 díxitos ten unha tolerancia do 5% e unha resistencia marcada con código de 4 díxitos ou o novo código de EIA-96 ten unha tolerancia do 1% ou menos. Hai moitas excepcións a esta regra, así que compre consultar folla de datos do fabricante, especialmente se a tolerancia do compoñente é crítica para a aplicación.

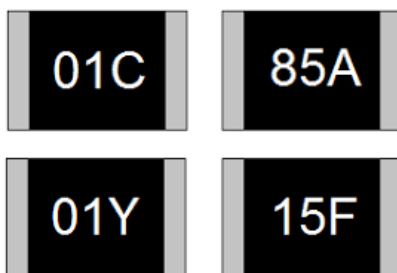
Potencia máxima disipable

A potencia nominal dos resistores SMD, do mesmo xeito que sucedía os resistores axiais está relacionada coas súas dimensións físicas. Na táboa da dereita preséntanse as dimensións de empaquetado típicas e as súas potencias máximas disipables asociadas. Esta táboa pode consultarse como guía orientativa pero para coñecer os valores exactos haberá sempre que consultar a folla de datos do compoñente.

Approx. Length (mm)	Approx. Width (mm)	Power (W)
0.4	0.2	0.031
0.6	0.3	1 / 20 (0.05)
1.0	0.5	1 / 16 (0.062)
1.6	0.8	1 / 10 (0.10)
2.0	1.25	1 / 8 (0.125)
3.2	1.6	1 / 4 (0.25)
3.2	2.5	1 / 2 (0.5)
4.5	3.2	3 / 4 (0.75)
5.0	2.5	3 / 4 (0.75)
6.3	3.2	1

Sistema de codificación (EIA-96)

Recentemente, ten aparecido un novo sistema de codificación (EIA-96) para resistencias SMD de 1%. Consta de un código de tres caracteres: os primeiros 2 díxitos(numéricos do 01 ao 96) indican os 3 díxitos do valor resistor e o terceiro (alfabético)é un multiplicador.



Nas táboas a continuación poden consultarse os valores asociados aos pares de díxitos e ás letras do sistema de codificación EIA-96:

Código	Valor	Código	Valor	Código	Valor	Código	Valor
01	100	25	178	49	316	73	562
02	102	26	182	50	324	74	576
03	105	27	187	51	332	75	590
04	107	28	191	52	340	76	604
05	110	29	196	53	348	77	619
06	113	30	200	54	357	78	634
07	115	31	205	55	365	79	649
08	118	32	210	56	374	80	665
09	121	33	215	57	383	81	681
10	124	34	221	58	392	82	698
11	127	35	226	59	402	83	715
12	130	36	232	60	412	84	732
13	133	37	237	61	422	85	750
14	137	38	243	62	432	86	768
15	140	39	249	63	442	87	787
16	143	40	255	64	453	88	806
17	147	41	261	65	464	89	825
18	150	42	267	66	475	90	845
19	154	43	274	67	487	91	866
20	158	44	280	68	499	92	887
21	162	45	287	69	511	93	909
22	165	46	294	70	523	94	931
23	169	47	301	71	536	95	953
24	174	48	309	72	549	96	976

Código	Multiplicador
Z	0.001
Y o R	0.01
X o S	0.1
A	1
B o H	10
C	100
D	1000
E	10000
F	100000

Exemplos de marcaxe EIA-96:

→ 01Y = $100 \times 0.01 = 1\Omega$

→ 76X = $604 \times 0.1 = 60.4\Omega$

→ 68X = $499 \times 0.1 = 49.9\Omega$

→ 01A = $100 \times 1 = 100\Omega$

→ 29B = $196 \times 10 = 1.96k\Omega$

→ 01C = $100 \times 100 = 10k\Omega$