

# CIRCUITOS ELÉCTRICOS DE CORRIENTE CONTINUA



# EL CIRCUITO ELÉCTRICO

- Definición:

- Es un conjunto de elementos empleados para la transmisión y control de la energía eléctrica desde el generador hasta el receptor

- Tipos:

- Corriente alterna:

- Red nacional de distribución de energía eléctrica.
    - Electrodomésticos.
    - Grupos electrógenos

- Corriente continua

- Aparatos electrónicos
    - Vehículos de propulsión eléctrica
    - Baterías, pilas, ...

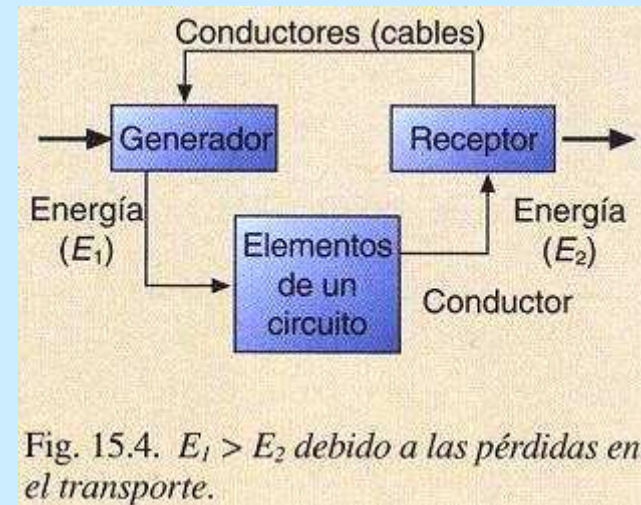


Fig. 15.4.  $E_1 > E_2$  debido a las pérdidas en el transporte.

# CONCEPTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

- La materia está formada por átomos:

- Núcleo

- Protones (carga positiva)
    - Neutrones (carga neutra)

- Corteza

- Electrones (carga negativa)

- La carga global es neutra

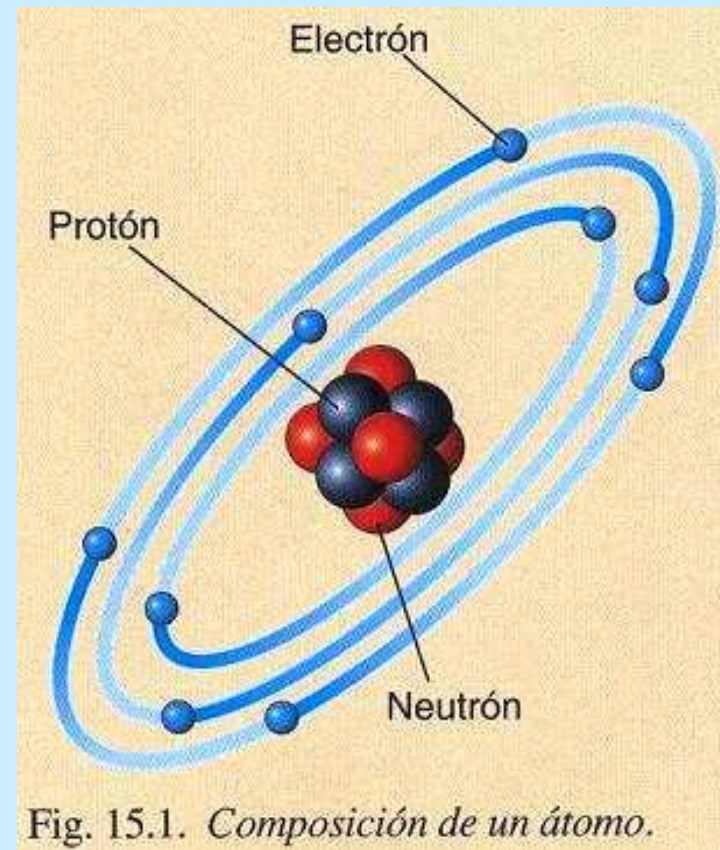
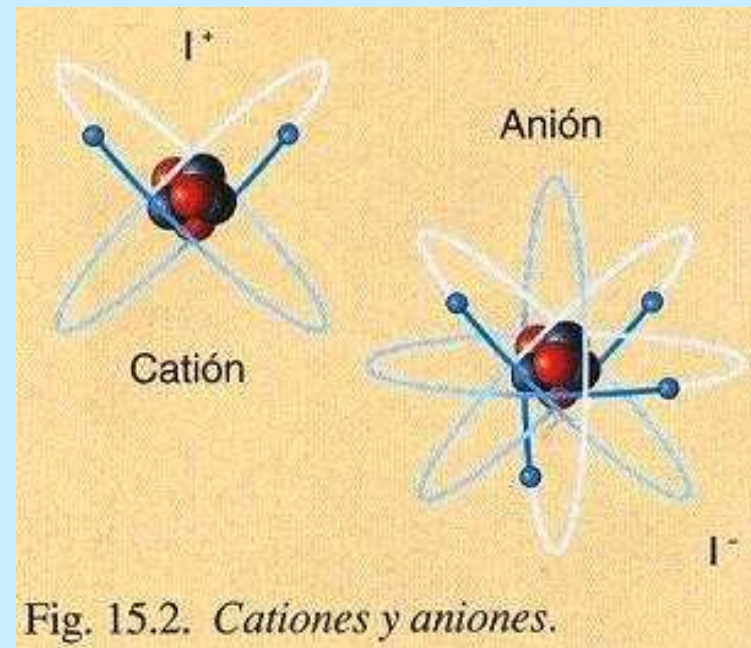


Fig. 15.1. *Composición de un átomo.*

# CONCEPTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

- En algunos materiales la fuerza que liga los electrones a los átomos es débil y puede vencerse aplicando una pequeña cantidad de energía (por rozamiento, mediante un campo magnético, ...)
- Si a un átomo se le extrae un electrón queda cargado positivamente (catión)
- Si se le añade un electrón, queda cargado negativamente (anión)



# CONCEPTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

- Este desequilibrio de cargas puede conseguirse de diversas formas:
  - Mediante un conductor moviéndose dentro de un campo magnético: dínamos (CC), alternadores (AC).
  - Mediante rozamiento: ámbar y lana
  - Por reacción química: baterías, pilas de hidrógeno
  - Radiación electromagnética: células fotovoltaicas
  - ...

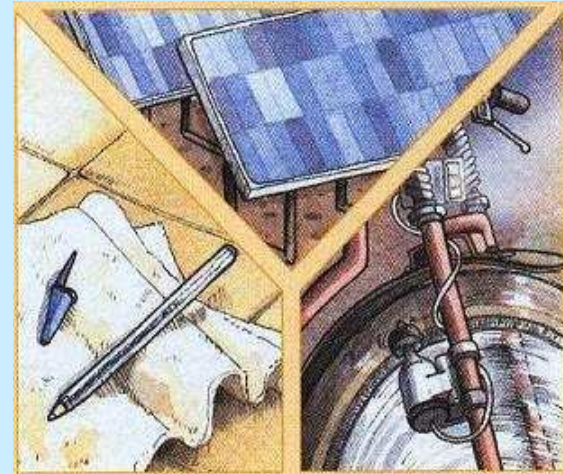


Fig. 15.3. *Diferentes métodos de producir electricidad.*

- La unión de un grupo de cationes a un grupo de aniones mediante un conductor provoca un movimiento de electrones a través del conductor que se denomina “corriente eléctrica”

# CARACTERÍSTICAS DE UN CIRCUITO DE CORRIENTE CONTINUA

## •Circuito cerrado:

- Para que se establezca la circulación de corriente eléctrica, es necesario un recorrido cerrado.
- El que el mismo número de electrones que parten del polo negativo del generador entra al mismo por su terminal positivo.

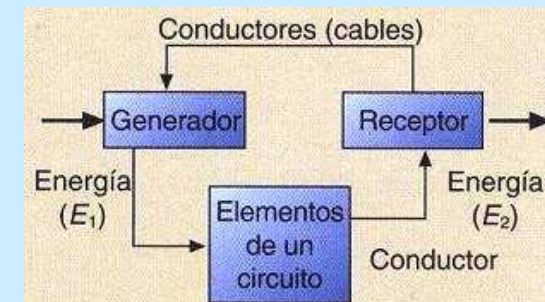


Fig. 15.4.  $E_1 > E_2$  debido a las pérdidas en el transporte.

## •Circuito abierto:

- Si el circuito se ha interrumpido no puede establecerse el paso de corriente.
- Del terminal negativo del generador no sale corriente, ya que el circuito no almacena electrones.

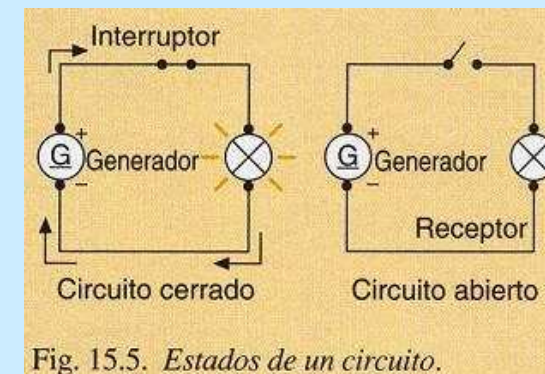


Fig. 15.5. Estados de un circuito.

# MAGNITUDES ELÉCTRICAS

## •INTENSIDAD

- Es la cantidad de carga eléctrica que atraviesa la sección de un conductor en la unidad de tiempo
- En el SI, la unidad es el AMPERIO (A), y se define como la intensidad de corriente que circula por un punto de un circuito cuando por él pasa una carga de un culombio en un tiempo de un segundo.
- El aparato de medida de la intensidad es el AMPERÍMETRO

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

I = Intensidad en amperios

Q = Carga eléctrica en  
Culombios

t = tiempo en segundos

# MAGNITUDES ELÉCTRICAS

- **DIFERENCIA DE POTENCIAL entre dos puntos de un circuito (ddp).**

- Es la energía necesaria para transportar la unidad de carga (un culombio) desde un punto al otro. También se la denomina VOLTAJE O TENSIÓN (V)

- La unidad de medida en el SI es el VOLTIO.

- El aparato de medida se denomina VOLTÍMETRO.

- **FUERZA ELECTROMOTRIZ (fem)**

- Es la energía consumida por el generador para transportar la unidad de carga desde el polo positivo al negativo (por el interior del generador) para mantener en sus bornes una tensión determinada



# MAGNITUDES ELÉCTRICAS

## •RESISTENCIA

- Es la oposición que ofrece un cuerpo al paso de la corriente eléctrica. Depende del material y de aspectos constructivos (dimensiones físicas)
- En el SI, la unidad es el ÓHMIO ( $\Omega$ )
- Según su comportamiento al paso de la corriente eléctrica, los materiales se clasifican en:
  - Aislantes: no permiten el paso de la corriente o presentan una elevada resistencia
  - Conductores: permiten el paso, aunque con una cierta resistencia
  - Superconductores: ofrecen una resistencia nula
- La resistencia se mide con el ÓHMETRO

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

R = Resistencia ( $\Omega$ )

$\rho$  = Resistividad ( $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ )

l = longitud del conductor (m)

S = Sección del conductor ( $\text{mm}^2$ )

# MEDIDA DE LAS MAGNITUDES ELÉCTRICAS

## •INTENSIDAD

- El aparato de medida de la intensidad es el AMPERÍMETRO.
- Para medir la corriente el amperímetro ha de conectarse EN SERIE con el elemento cuya corriente se quiere medir.
- La resistencia que presenta el amperímetro ha de ser muy pequeña, idealmente CERO, para no modificar el funcionamiento del circuito.

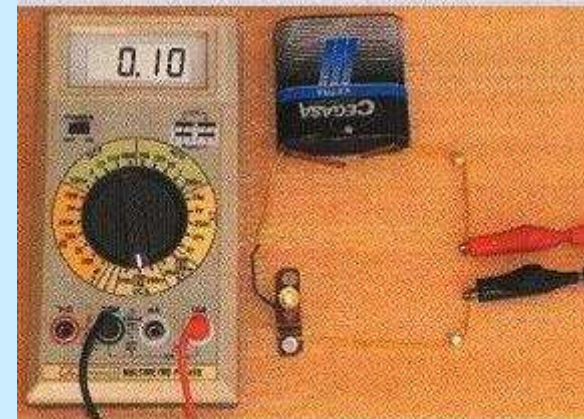
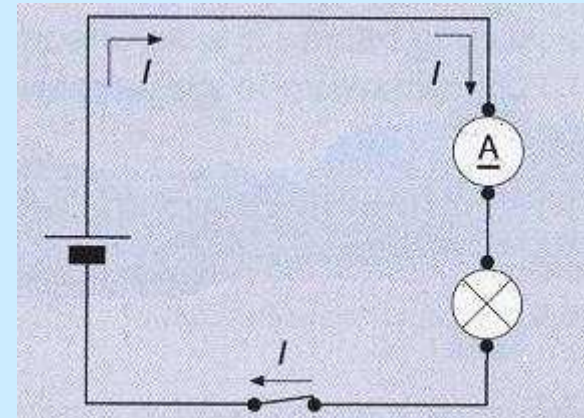


Fig. 15.7. Conexión de un amperímetro en un circuito.

# MEDIDA DE LAS MAGNITUDES ELÉCTRICAS

## •VOLTAJE

- El aparato de medida de la diferencia de potencial o voltaje es el **VOLTÍMETRO**.
- Para medir la diferencia de potencial entre dos puntos, el voltímetro ha de conectarse **EN PARALELO** con el elemento cuya ddp se quiere medir.
- La resistencia que presenta el voltímetro ha de ser muy grande, idealmente **INFINITA**, para no alterar el funcionamiento del circuito

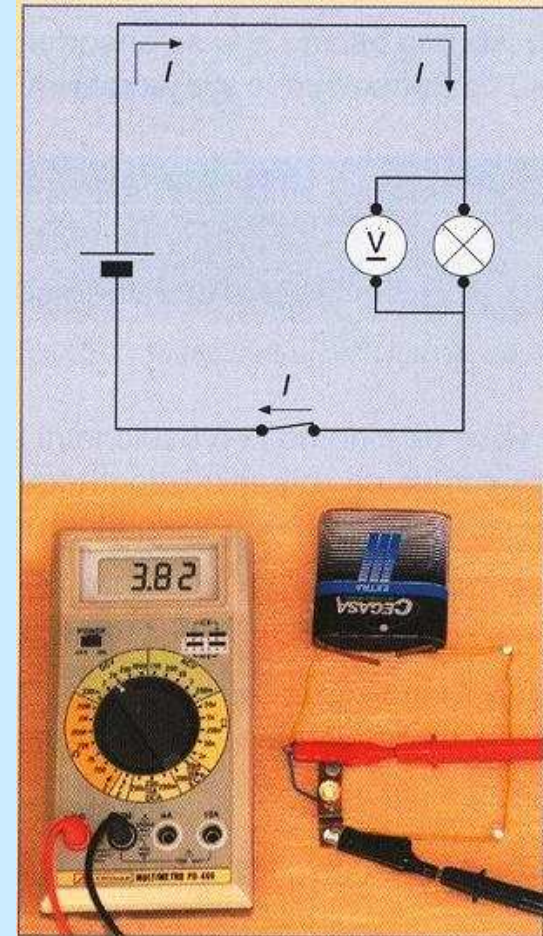


Fig. 15.10. *Medición del voltaje en un circuito.*

# MEDIDA DE LAS MAGNITUDES ELÉCTRICAS

## •RESISTENCIA

- El aparato de medida de la resistencia es el ÓHMETRO u OHMÍMETRO.
- Para medir la resistencia de un componente o entre dos puntos de un circuito, el óhmetro ha de conectarse a esos dos puntos pero desconectando dicho componente del circuito, al menos por uno de los extremos.
- La resistencia que presenta el voltímetro ha de ser muy grande, idealmente INFINITA, para no alterar el funcionamiento del circuito

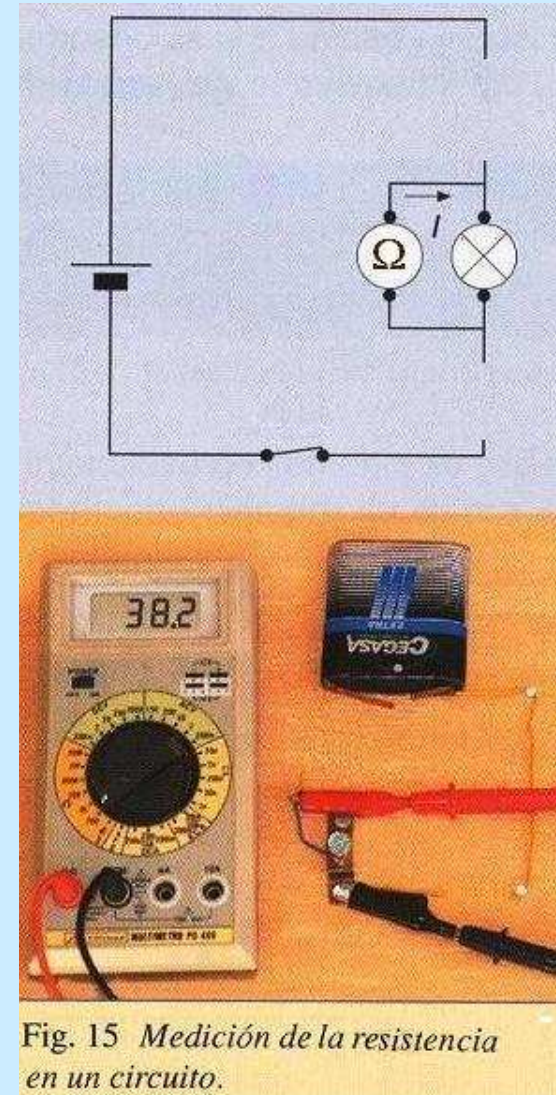


Fig. 15 Medición de la resistencia en un circuito.

# LEY DE OHM

- La relación entre la tensión  $V$  aplicada a un receptor de resistencia  $R$  y la corriente  $I$  que circula a través de él queda establecida por la ley de Ohm:

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

## ENERGÍA Y POTENCIA ELÉCTRICA. EFECTO JOULE

- El trabajo realizado al desplazarse un electrón dentro de un campo eléctrico es igual al producto de la carga del electrón “ $q$ ” y la diferencia de potencial “ $V$ ” entre los puntos de origen y de destino y provoca la disminución de la energía potencial eléctrica de dicha carga, que se transformará en otro tipo de energía.

$$E' = q \cdot V$$

- Al circular la corriente eléctrica se produce el desplazamiento de “ $n$ ” electrones.
- Se define la energía eléctrica aplicada a un receptor como el producto de la carga que lo atraviesa “ $Q$ ” multiplicado por el voltaje que hay entre sus bornes “ $V$ ”.

$$n \cdot E' = n \cdot q \cdot V$$

$$E = Q \cdot V$$

# ENERGÍA Y POTENCIA ELÉCTRICA. EFECTO JOULE

- Según la definición de Intensidad:

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

$$Q = I \cdot t$$

$$E = V \cdot I \cdot t$$

$$E = Q \cdot V$$

- Según la definición de Potencia

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

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

$$P = V \cdot I$$

## ENERGÍA Y POTENCIA ELÉCTRICA. EFECTO JOULE

- La energía eléctrica puede transformarse en otros tipos de energía, dependiendo del receptor al que se aplique. En el caso de un conductor, o una resistencia en general, la energía se transforma en calor. A esta transformación se la denomina “Efecto Joule”.

$$E = V \cdot I \cdot t$$

- Aplicando la ley de Ohm

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

$$E = V \cdot \frac{V}{R} \cdot t$$

$$E = \frac{V^2}{R} \cdot t$$

$$E = I \cdot R \cdot I \cdot t$$

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



# ELEMENTOS DE UN CIRCUITO

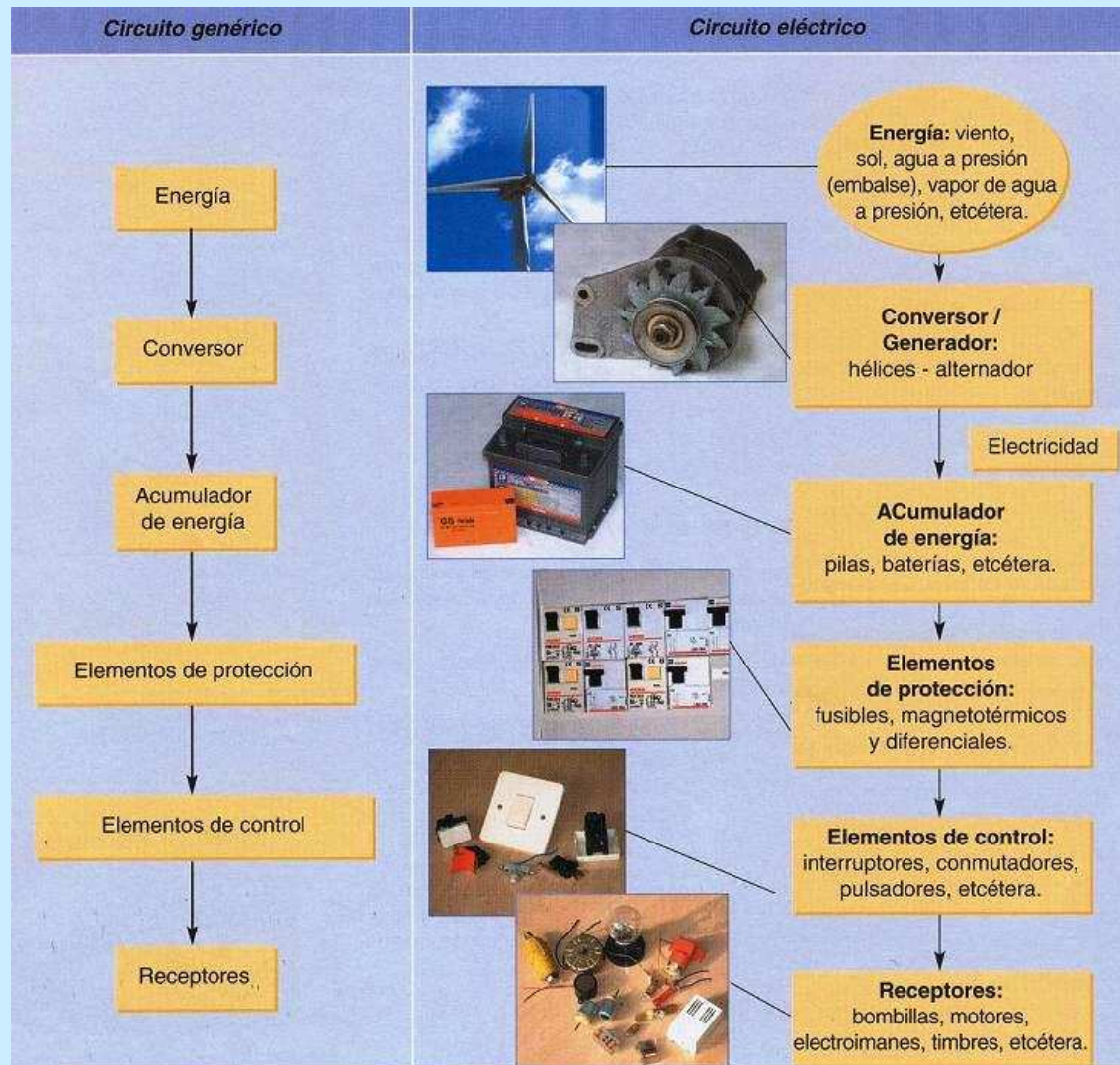
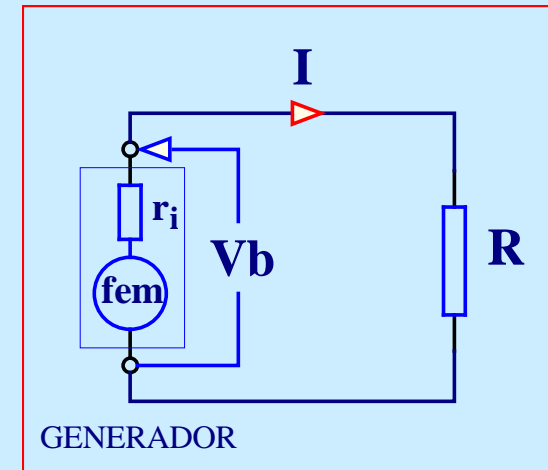


Tabla 15.5. Elementos presentes en todo circuito y propios de circuitos eléctricos.

# GENERADORES DE CORRIENTE ELÉCTRICA

- Son todas aquellas máquinas que transforman cualquier tipo de energía en energía eléctrica
- Todo generador sufre unas pérdidas de energía eléctrica en su propio mecanismo de funcionamiento, que se transforma en calor. El conjunto de elementos que dan lugar a estas pérdidas se representan como una **resistencia interna** “ $r_i$ ” en serie asociada al propio generador
- Esta resistencia da lugar a una caída de tensión interna, que depende de la intensidad que circule, con lo que la f.e.m. del generador resulta menor que la d.d.p. En los bornes del generador tendremos:

$$E = I^2 \cdot r_i \cdot t$$



$$V_b = fem - I \cdot r_i$$

# TIPOS DE GENERADORES

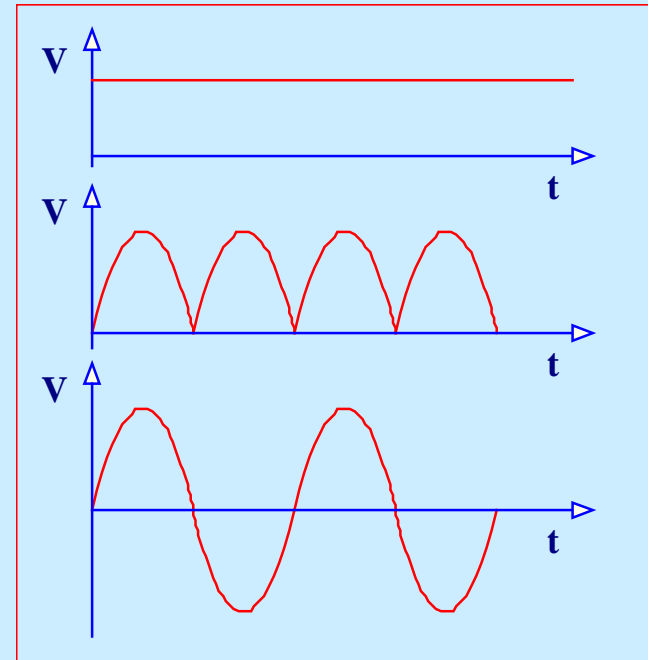
• En función de las características de la corriente proporcionada se dividen en:

– Generadores de corriente continua (CC, DC):

- Produce una fuerza electromotriz que mantiene siempre la misma polaridad. Los electrones circulan siempre en la misma dirección.
- La corriente continua puede ser constante o variable (siguiendo o no una ley de variación).
- Por ejemplo dinamos, placas fotovoltaicas, pilas, baterías, termopares, ...

– Generadores de corriente alterna (CA, AC):

- Está originada por una fuerza electromotriz que cambia de polaridad. El movimiento de los electrones cambia de sentido de forma alternativa.
- La corriente alterna puede o no seguir una ley de variación.
- Por ejemplo alternadores.

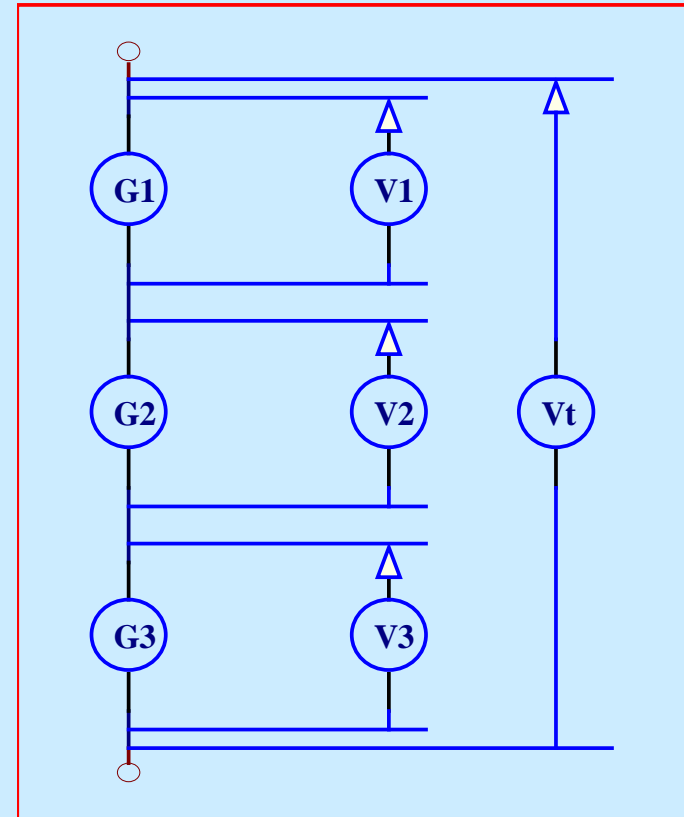


# ACOPLAMIENTO DE GENERADORES

- Acoplamiento en serie

– La fem del conjunto es la suma de las fems de cada uno de los generadores, considerando su polaridad en cada caso.

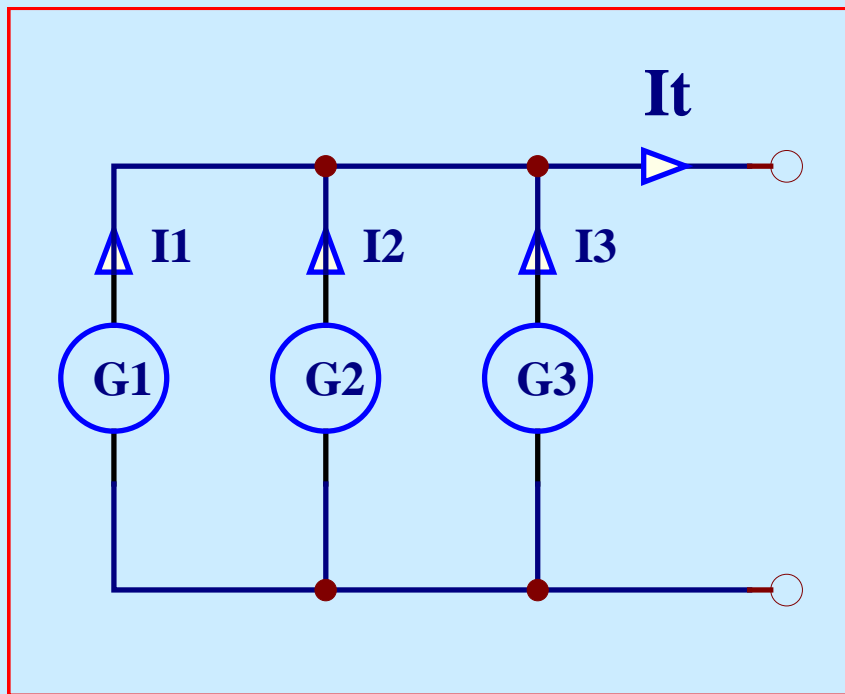
$$V_t = V_1 + V_2 + V_3$$



# ACOPLAMIENTO DE GENERADORES

- Acoplamiento en paralelo:

- Deben tener la misma fem
- El voltaje del conjunto es igual al de uno de ellos
- La intensidad total es la suma de las corrientes de cada generador



$$V_t = V_1 = V_2 = V_3$$

$$I_t = I_1 + I_2 + I_3$$

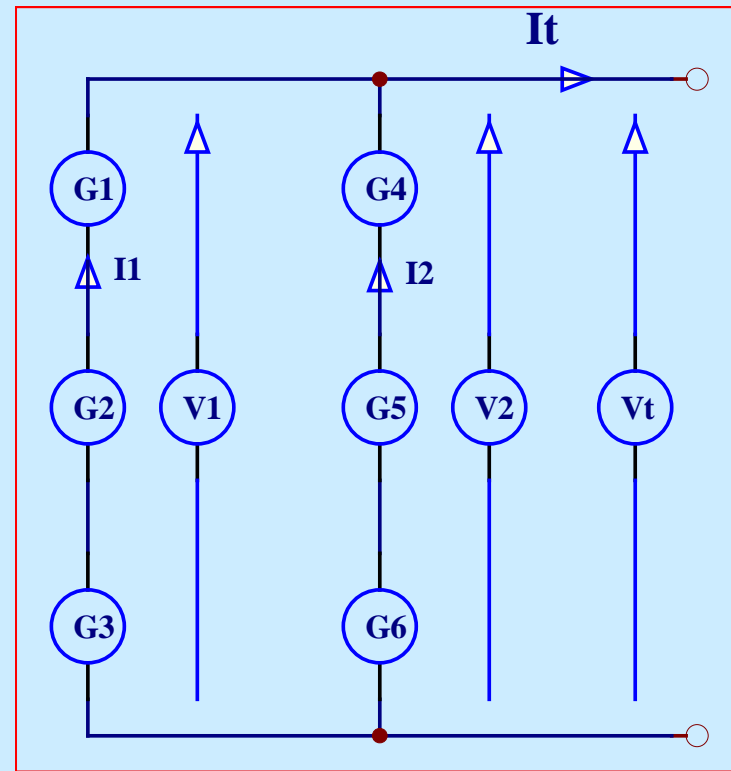
# ACOPLAMIENTO DE GENERADORES

- Acoplamiento mixto:

- Las diferentes ramas deben tener la misma fem
- El voltaje del conjunto es igual al de una de las ramas
- La intensidad total es la suma de las corrientes de cada rama

$$V_t = V_1 = V_2 = \dots$$

$$I_t = I_1 + I_2 + \dots$$



# ACUMULADORES DE CORRIENTE ELÉCTRICA



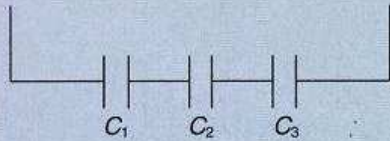
Fig. 15.16. *Distintos tipos de baterías (pilas recargables).*



*Distintos tipos de condensadores.*

# ACUMULADORES DE CORRIENTE ELÉCTRICA

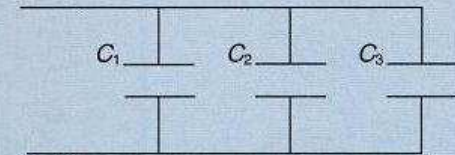
## En serie



La capacidad de un condensador equivalente es igual a:

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots}$$

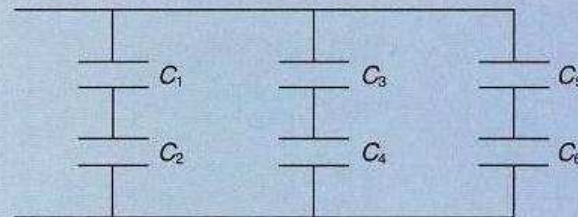
## En paralelo



La capacidad de un condensador equivalente es igual a la suma de las capacidades de cada uno de los condensadores.

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

## Mixto



Primero se realiza la parte que está en serie y luego la que está en paralelo.

$$C = \frac{1}{\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right)} + \frac{1}{\left(\frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4}\right)} + \frac{1}{\left(\frac{1}{C_5} + \frac{1}{C_6}\right)}$$



# ELEMENTOS DE CONTROL Y MANIOBRA

		Tipos/Símbolo	Esquema eléctrico	Figura
Interrupción	Unipolar		 Abre el circuito por un solo punto	
	Bipolar		 Abre el circuito por dos puntos	

Tabla 15.8. Elementos de control y maniobra.

Tipos/Símbolo	Esquema eléctrico	Figura
<p>Conmutador</p>	 Permite controlar un receptor desde dos puntos distantes y distintos.	
<p>Relé</p>	 Consta de dos circuitos: el de alimentación del relé y el de salida, con otro generador de igual o diferente voltaje. Es un conmutador electromagnético.	

Tabla 15.8. Elementos de control y maniobra.

# ELEMENTOS DE PROTECCIÓN DE CIRCUITOS

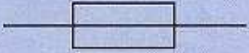
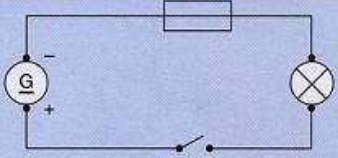

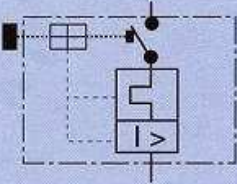
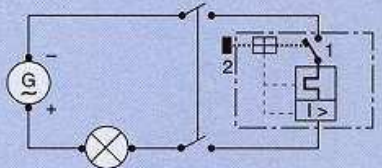

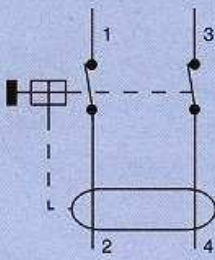
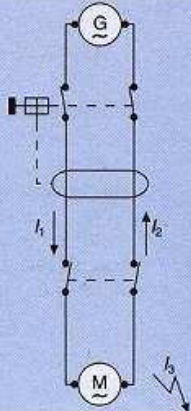



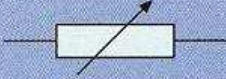



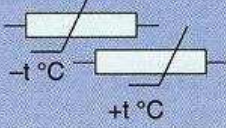
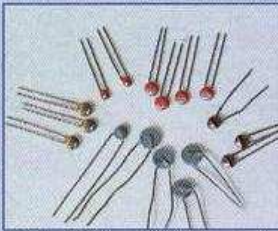
Función	Tipos/Símbolo	Esquema	Figura
Protección de instalaciones	<p data-bbox="719 371 797 395">Fusible</p> 	 <p data-bbox="931 536 1440 647">Está formado por un trozo de hilo conductor con resistividad alta y bajo punto de fusión. Cuando la intensidad del circuito sobrepasa un valor, por efecto Joule, se calienta y se funde.</p>	
	<p data-bbox="674 663 842 743">Interruptor magnetotérmico (automático)</p> 	<p data-bbox="931 663 1440 775">Cuando la intensidad de corriente es muy grande, porque ha habido un cortocircuito o porque los receptores consumen mucho, el contacto (1) se abre. Al pulsar la palanca (2), se reactiva.</p> 	
Protección de personas	<p data-bbox="696 978 819 1034">Interruptor diferencial</p> 	 <p data-bbox="1155 1042 1440 1326">Compara si la intensidad de corriente de entrada (<math>I_1</math>) es igual a la de salida (<math>I_2</math>). Si <math>I_1 - I_2</math> es mayor de un valor, denominado <i>sensibilidad</i> (que suele ser 0,3 A), abre el circuito. Si esto ocurre, quiere decir que la corriente se va a tierra, debido a un mal aislamiento o contacto accidental de una persona.</p>	

Tabla 15.9. Elementos de protección de circuitos.

# RECEPTORES

<b>Receptor/símbolo</b>	<b>Características</b>	<b>Figura</b>
<p><i>Baterías y pilas</i></p>	Ya estudiadas	
<p><i>Motores</i></p> 	Transforman la energía eléctrica en energía mecánica de rotación. El rendimiento es muy alto, más del 95 %.	
<p><i>Electroimanes</i></p> 	Transforman la energía eléctrica en energía magnética (atracción de metales ferrosos). Se emplean en muchas aplicaciones; por ejemplo: porteros automáticos, timbres, electroimanes, etcétera.	

# RECEPTORES

Receptor/símbolo	Características	Figura
<p><b>Fijas</b></p> 	<p>Su valor es fijo y, para determinarlo, se utiliza un código de colores que está impreso en su cuerpo. El valor se obtiene de la tabla de la Figura 15.18.</p>	
<p><b>Ajustables o potenciómetros</b></p> 	<p>Permiten variar su resistencia óhmica al girar manualmente una barra o introducir un destornillador para girarlo.</p>	
<p><b>LDR</b></p> 	<p>Como su nombre indica (<i>light dependent resistors</i>), son resistencias cuyo valor depende de la luminosidad que incida sobre ellas.</p>	
<p><b>NTC + PTC</b></p> 	<p>Resistencias cuyo valor varía con la temperatura. Si disminuye se llama, NTC (<i>negative temperature coefficient</i>), y si aumenta, PTC (<i>positive temperature coefficient</i>).</p>	

Resistencias

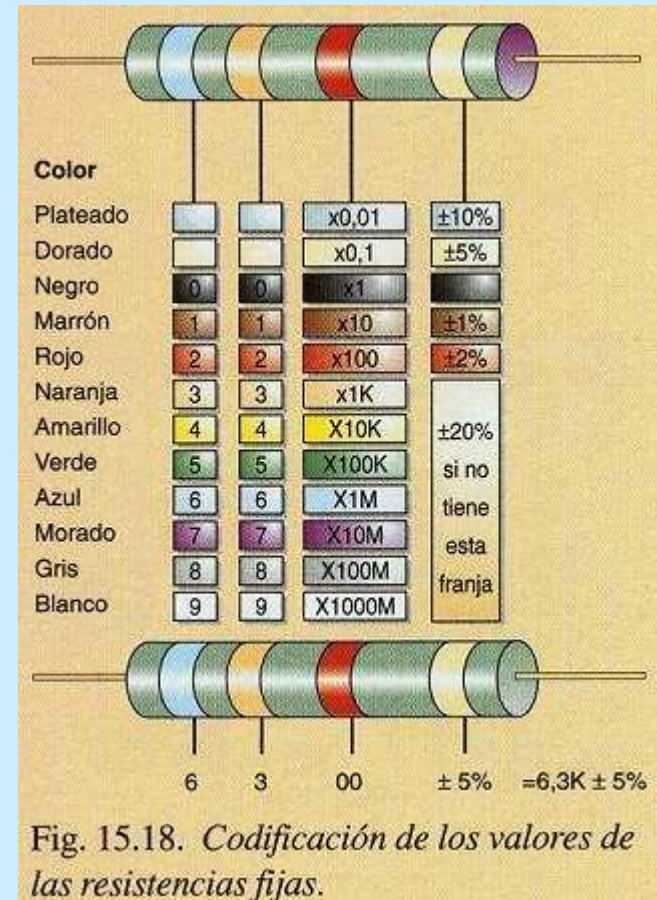
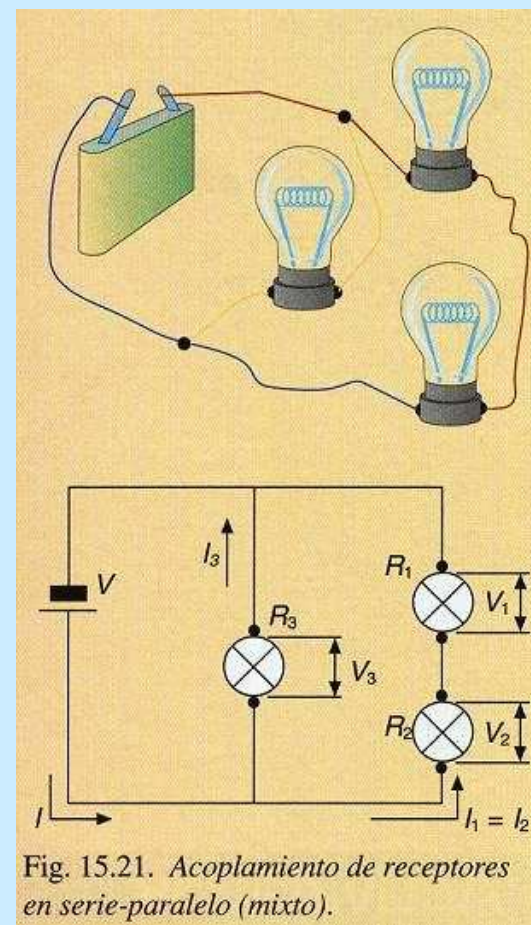
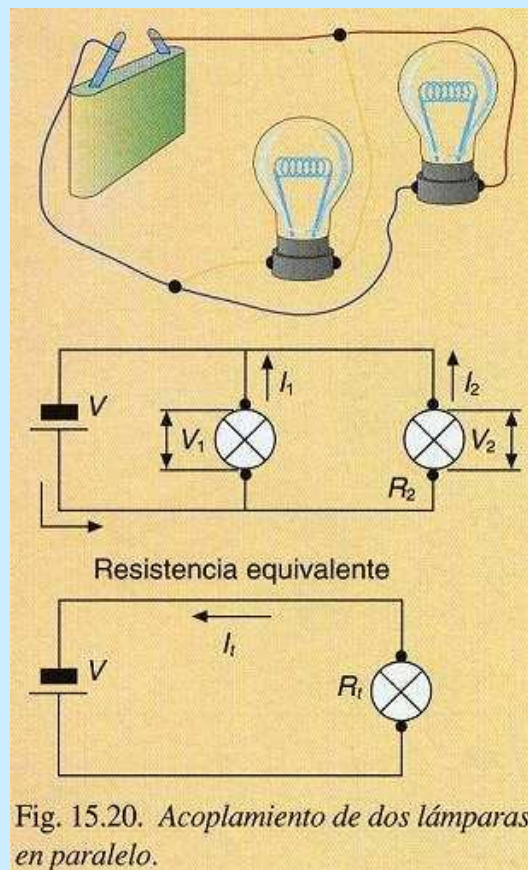
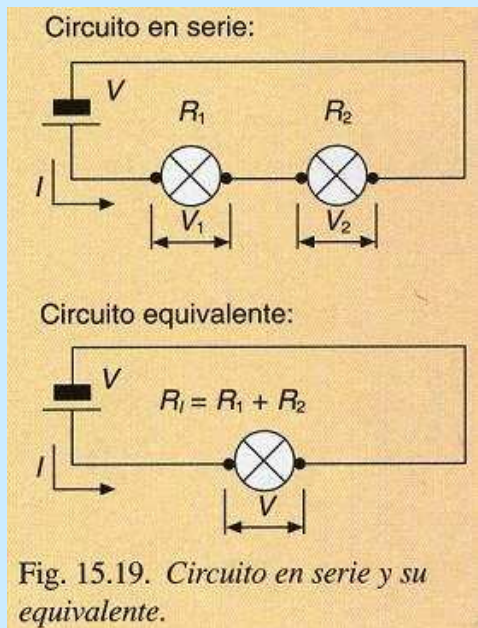


Fig. 15.18. Codificación de los valores de las resistencias fijas.

# RECEPTORES



# LEYES DE KIRCHHOFF

- Las leyes de Kirchhoff se aplican a los circuitos eléctricos para su resolución mediante la obtención de sistemas de ecuaciones, en los casos que la aplicación de la ley de Ohm no resulta suficiente.

- Definiciones:

- Nudo: es el punto en el que convergen tres o más corrientes.
- Rama: es la porción de circuito existente entre dos nudos adyacentes.
- Malla: es la porción de circuito que recorreremos partiendo de un nudo y regresando al mismo nudo sin repetir el paso por ningún punto.

- Criterios de signos:

- Se eligen de forma arbitraria los sentidos de las corrientes
- Igualmente se elige el sentido  $S$  (horario o antihorario) para el recorrido en el análisis de la malla

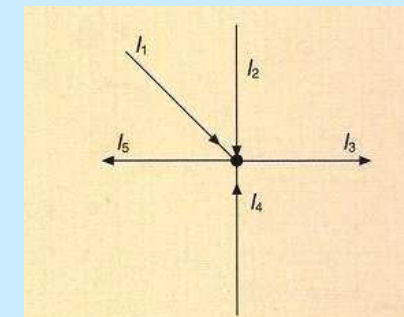
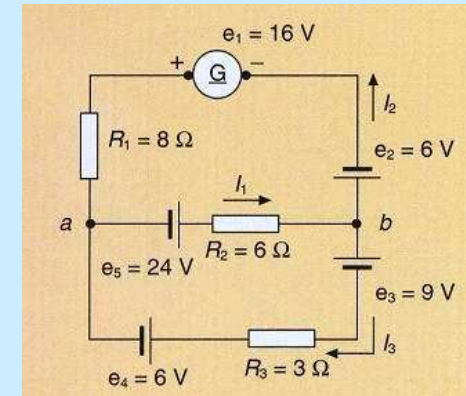


Fig. 15.22. Nudo de un circuito de c.c.

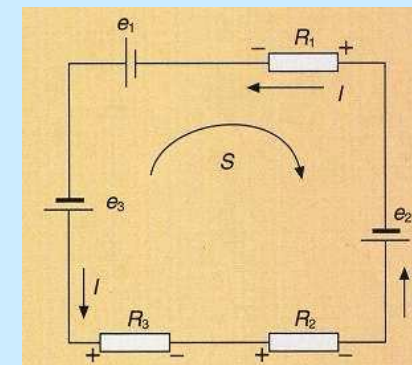


Fig. 15.23. Circuito de c.c. con una sola malla.

# LEYES DE KIRCHHOFF

- Primera ley de Kirchhoff (ley de nudo):

- La suma de las corrientes que entran en un nudo es igual a la suma de las corrientes que salen de dicho nudo:

$$\sum I_E = \sum I_S$$

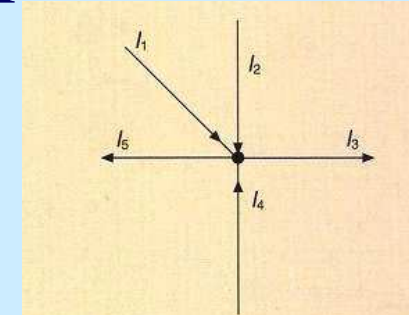


Fig. 15.22. Nudo de un circuito de c.c.

- Segunda ley de Kirchhoff (ley de malla):

- En todo circuito cerrado, la suma algebraica de las f.e.ms es igual a la suma algebraica de las caídas de tensión en los receptores existentes:

$$\sum fem = \sum R \cdot I$$

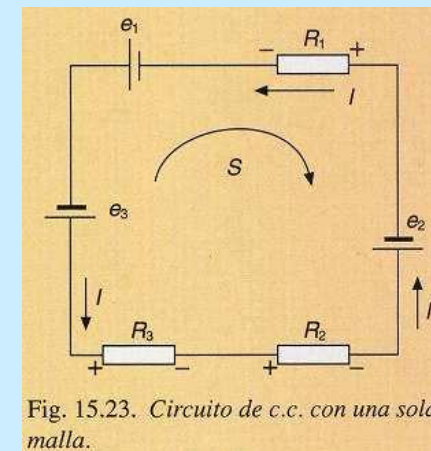


Fig. 15.23. Circuito de c.c. con una sola malla.

- Se consideran positivas aquellas fem<sub>s</sub> que encontramos en el recorrido entrando por su terminal negativo.

- Se consideran positivas las caídas de tensión en las que coincide el sentido del recorrido con el asignado a la corriente en el receptor.

# LEYES DE KIRCHHOFF APLICADAS A UNA MALLA

- El circuito consta sólo de una malla, no hay ningún nudo, por tanto no hay ecuaciones de nudo.

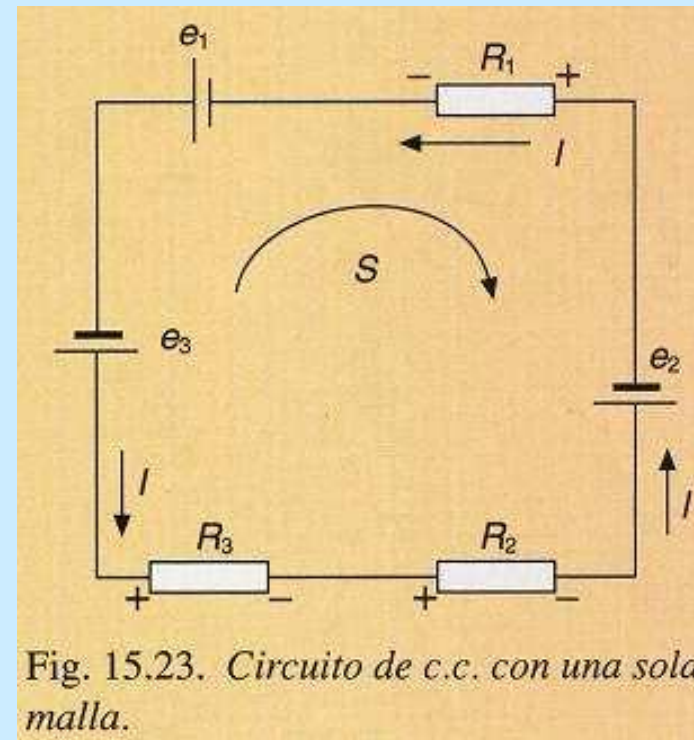
$$\sum I_E = \sum I_S$$

- Tenemos una sola ecuación de malla:

$$\sum fem = \sum R \cdot I$$

$$-e_1 + e_2 - e_3 = -R_1 \cdot I - R_2 \cdot I - R_3 \cdot I$$

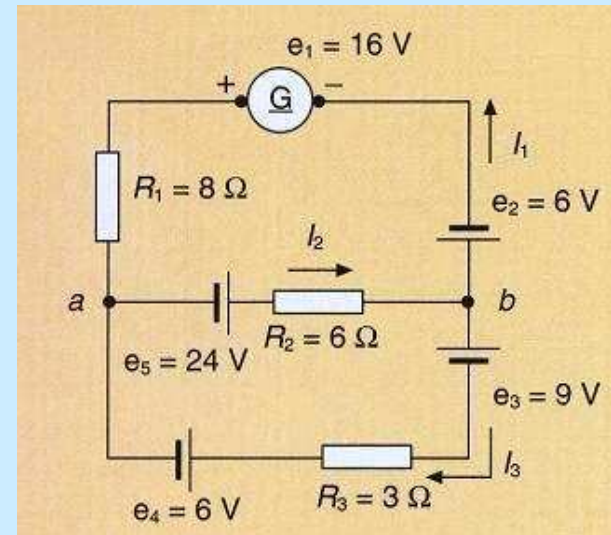
$$I = \frac{-e_1 + e_2 - e_3}{-R_1 - R_2 - R_3}$$





# LEYES DE KIRCHHOFF. RESOLUCIÓN DE CIRCUITOS

- En el circuito mostrado tenemos dos nudos “a” y “b” y tres mallas.
- Asignamos sentidos arbitrarios a las corrientes y al recorrido en cada malla y deducimos las ecuaciones



–Ecuaciones de nudo:

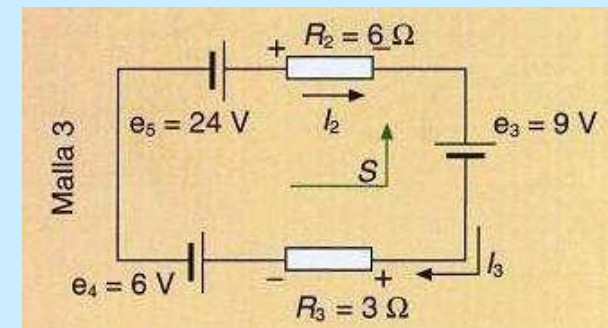
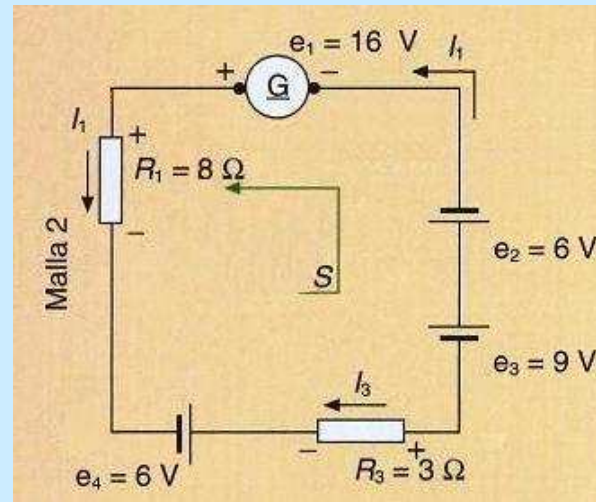
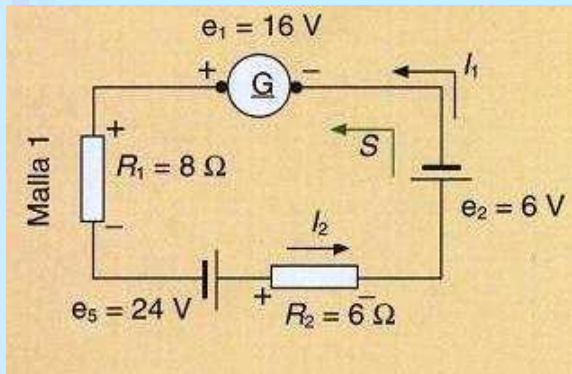
- Nudo “a”:  $I_1 + I_3 = I_2$
- Nudo “b”:  $I_2 = I_1 + I_3$

–Las ecuaciones de nudo son dependientes entre sí, de forma que cualquiera de ellas puede obtenerse a partir del resto de las ecuaciones. Para formar parte de un sistema de ecuaciones, debemos descartar una de ellas.

# LEYES DE KIRCHHOFF. RESOLUCIÓN DE CIRCUITOS

–Ecuaciones de malla:

- Malla 1:  $e_1 - e_2 + e_5 = R_1 I_1 + R_2 I_2$
- Malla 2:  $e_1 - e_2 + e_3 + e_4 = R_1 I_1 - R_3 I_3$
- Malla 3:  $e_3 + e_4 - e_5 = -R_2 I_2 - R_3 I_3$



–De forma análoga, son dependientes entre sí las ecuaciones de mallas que se obtienen por combinación de otras mallas. Por ejemplo, la malla 2 se obtiene sumando las mallas 1 y 3 por lo que estas tres ecuaciones no pueden formar parte de un sistema de ecuaciones. Debemos descartar una cualquiera.

–Para formar el sistema de ecuaciones tomaremos tantas ecuaciones como incógnitas, pudiendo resolverse por el método que se prefiera. En este caso obtendremos:

- $I_1 = 1,93\text{A}$
- $I_2 = 2,8\text{A}$
- $I_3 = -0,87\text{A}$

# REGLA DE CRAMER

- Es un método basado en el cálculo matricial que simplifica la resolución de sistemas y que resulta muy apropiado en los sistemas con 4 o más incógnitas.

Para ello seguimos los siguientes pasos:

–Organizar las ecuaciones para que adopten la forma

- $e_1 = k_{11}I_1 + k_{12}I_2 + k_{13}I_3 + \dots + k_{1n}I_n$

- $e_2 = k_{21}I_1 + k_{22}I_2 + k_{23}I_3 + \dots + k_{2n}I_n$

- $e_3 = k_{31}I_1 + k_{32}I_2 + k_{33}I_3 + \dots + k_{3n}I_n$

- 

.....

- $e_m = k_{m1}I_1 + k_{m2}I_2 + k_{m3}I_3 + \dots + k_{mn}I_n$

–donde

- “e” son los términos independientes de las ecuaciones

- “k” son los coeficientes que acompañan a las incógnitas

–La solución a las diferentes incógnitas se obtiene hallando el cociente de dos determinantes:

# REGLA DE CRAMER

- $e_1 = k_{11}I_1 + k_{12}I_2 + k_{13}I_3 + \dots + k_{1n}I_n$
- $e_2 = k_{21}I_1 + k_{22}I_2 + k_{23}I_3 + \dots + k_{2n}I_n$
- $e_3 = k_{31}I_1 + k_{32}I_2 + k_{33}I_3 + \dots + k_{3n}I_n$
- .....
- $e_m = k_{m1}I_1 + k_{m2}I_2 + k_{m3}I_3 + \dots + k_{mn}I_n$

- El denominador es el valor del determinante formado por los coeficientes “k” de las ecuaciones y es el mismo para todas las incógnitas.
- El numerador se obtiene del determinante que formado al sustituir los coeficientes “k” de la incógnita a calcular por los términos independientes “e” de las ecuaciones del sistema.

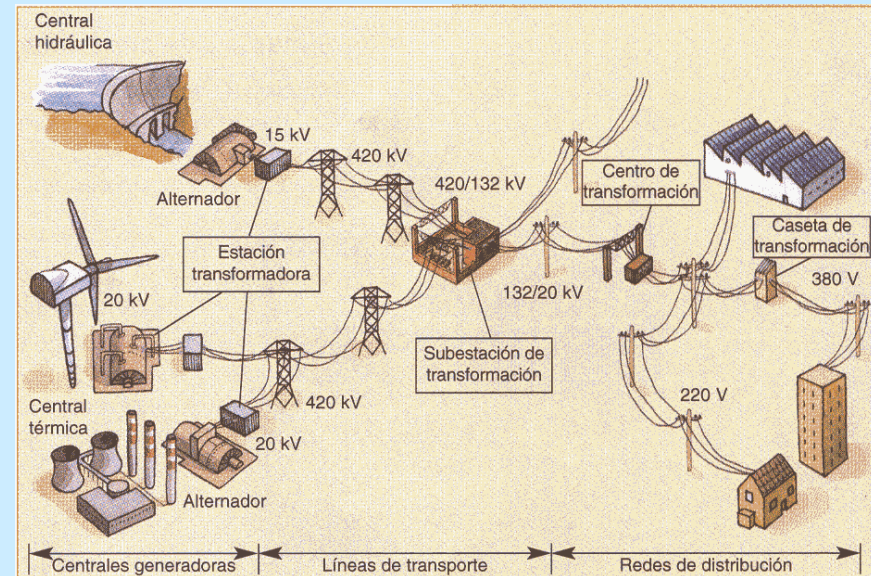
$$I_1 = \frac{\begin{vmatrix} e_1 & k_{12} & \dots & k_{1n} \\ e_2 & k_{22} & \dots & k_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ e_m & k_{m1} & \dots & k_{mn} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{m1} & k_{m1} & \dots & k_{mn} \end{vmatrix}}$$

$$I_2 = \frac{\begin{vmatrix} k_{11} & e_1 & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & e_2 & \dots & k_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{m1} & e_m & \dots & k_{mn} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{m1} & k_{m1} & \dots & k_{mn} \end{vmatrix}}$$

$$I_n = \frac{\begin{vmatrix} k_{11} & k_{12} & \dots & e_1 \\ k_{21} & k_{22} & \dots & e_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{m1} & k_{m1} & \dots & e_m \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{m1} & k_{m1} & \dots & k_{mn} \end{vmatrix}}$$

# DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

- La energía eléctrica se distribuye mediante una red de líneas de transporte, que conecta todas las centrales de producción y una serie de estaciones y subestaciones transformadoras, que aumentan o reducen la tensión para adaptarla a las necesidades de transporte o de utilización.



- Básicamente, los elementos eléctricos que intervienen en la distribución son:
  - Transformadores: encargados de elevar o reducir el voltaje
  - Conductores: transportan la energía de un punto a otro

# TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS

- Son máquinas eléctricas estáticas de **corriente alterna** que, partiendo de una tensión  $V_1$  aplicada al bobinado primario, generan una tensión  $V_2$  en su bobinado secundario.
- Se basan en el principio de inducción electromagnética: en un conductor sometido a un campo magnético variables se genera una fuerza electromotriz inducida.



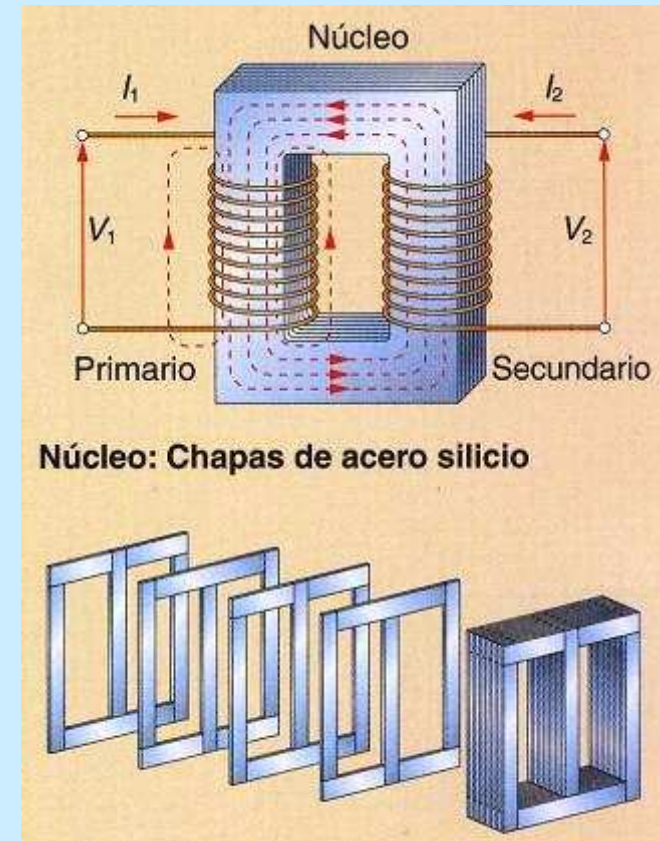
Fig. 15.25. Transformador.

# TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS

- Constitución y funcionamiento:
  - Bobinado primario: formado por  $N_1$  espiras, al que se aplica una tensión  $V_1$  y produce un campo magnético variable.
  - Núcleo: formado por chapas de hierro, con un aislamiento eléctrico (barniz) entre ellas para evitar pérdidas, que canaliza el campo magnético por el interior del bobinado secundario.
  - Bobinado secundario: formado por  $N_2$  espiras, en el que se induce una tensión  $V_2$ .
- Se llama “relación de transformación” al cociente entre la tensión inducida en el secundario y la aplicada al primario:

$$m = \frac{V_2}{V_1}$$

- También: 
$$m = \frac{N_2}{N_1}$$



# RENDIMIENTO DE UN TRANSFORMADOR

- Las pérdidas que encontramos en un transformador son:
  - Pérdidas por efecto Joule: en el conductor del bobinado primario y en el secundario.
  - Pérdidas por corrientes de Foucault: el circuito magnético es de hierro, por lo que es un conductor sometido a un campo magnético variable y en él se generan múltiples  $fem_s$ . Estas  $fem_s$  están en cortocircuito y dan lugar a unas corrientes eléctricas que producen el calentamiento del núcleo y por tanto una pérdida de energía. Para minimizar estas pérdidas, el núcleo no es macizo sino que está formado por chapas aisladas eléctricamente.
- Aún así el rendimiento de un transformador puede alcanzar el 99%
- Si suponemos un rendimiento del 100%:

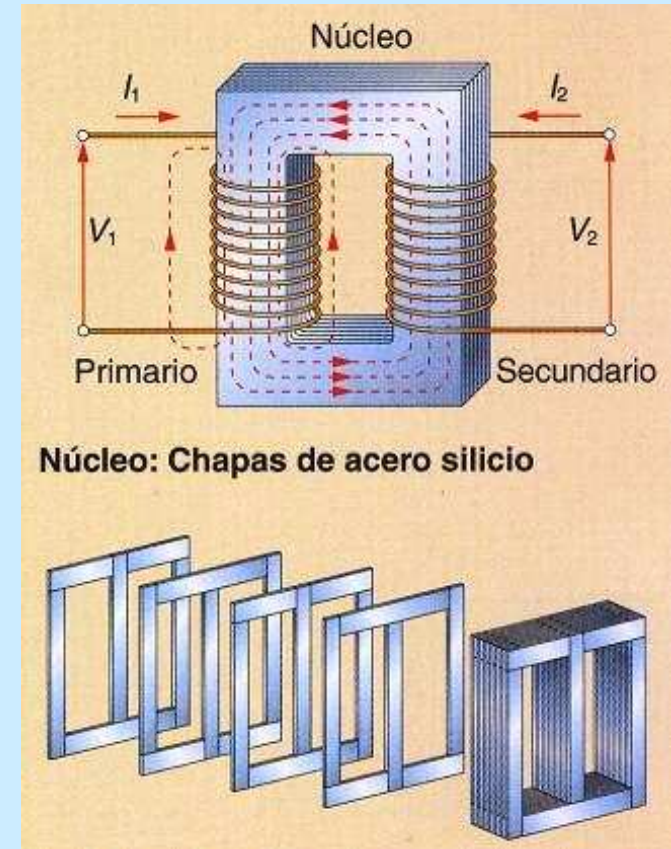
$$E_1 = E_2$$

$$P_1 \cdot t = P_2 \cdot t$$

$$P_1 = P_2$$

$$V_1 \cdot I_1 = V_2 \cdot I_2$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{I_1}{I_2} = m$$





# PÉRDIDAS EN EL TRANSPORTE

- En las líneas de transporte se producen pérdidas por efecto Joule.
- Si la energía transportada es E:

$$E = V \cdot I \cdot t$$

- La pérdida en la línea, de resistencia  $R_L$ , será:

$$E_L = I^2 \cdot R_L \cdot t$$

- Para reducir las pérdidas, la intensidad ha de ser pequeña, por lo que para además mantener la cantidad de energía transportada, esta operación ha de hacerse con tensión elevada.

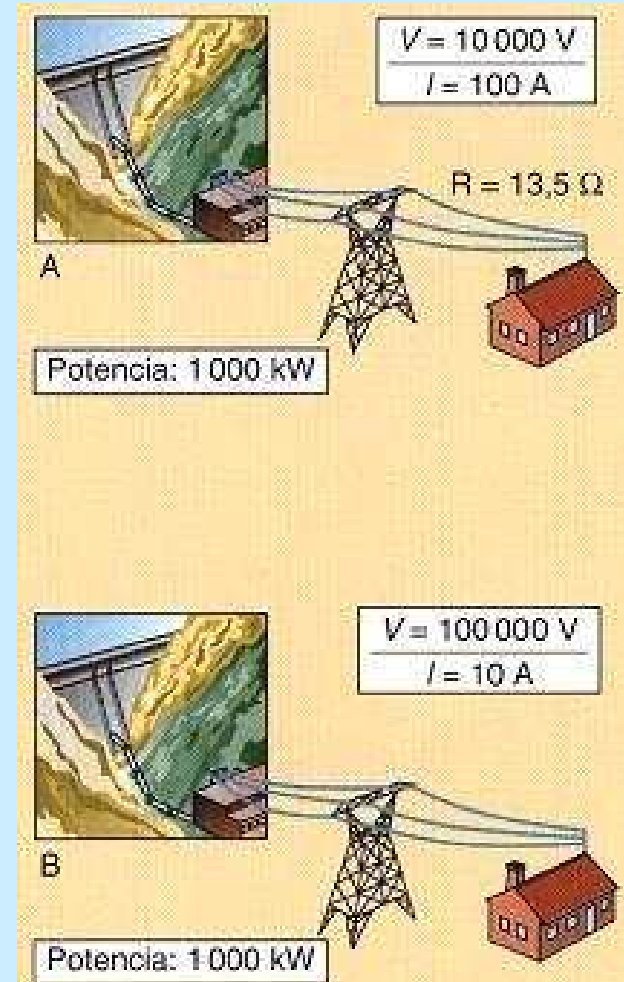
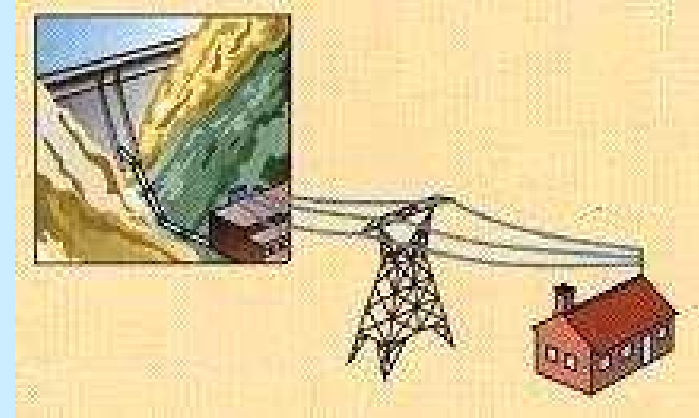


Fig. 15.26. Transporte de energía eléctrica.

# CÁLCULO DE LÍNEAS

- Otra forma de reducir las pérdidas es reducir la resistencia de los conductores de la línea:

$$R_L = \rho \cdot \frac{l}{S}$$



- Actuar sobre “ $\rho$ ” (material empleado) plantea pocas opciones.
- La sección se puede aumentar hasta ciertos límites, puesto que supone mas coste de material y mas peso en los tendidos de la línea (problemas mecánicos).

# CÁLCULO DE LÍNEAS

–Para determinar la sección se parte de una caída de tensión admisible “% V” en la línea:

$$\%V = \frac{2 \cdot V_2}{e} \cdot 100$$

–la potencia desarrollada por el generador es:

$$P = e \cdot I$$

–y la caída de tensión en un conductor de la línea:

$$V_2 = R_1 \cdot I = \rho \cdot \frac{l}{S} \cdot \frac{P}{e}$$

$$\%V = \frac{2 \cdot \rho \cdot \frac{l}{S} \cdot \frac{P}{e}}{e} \cdot 100 = \frac{200 \cdot \rho \cdot l \cdot P}{S \cdot e^2}$$

–Despejando S:

$$S = \frac{200 \cdot \rho \cdot l \cdot P}{\%V \cdot e^2}$$

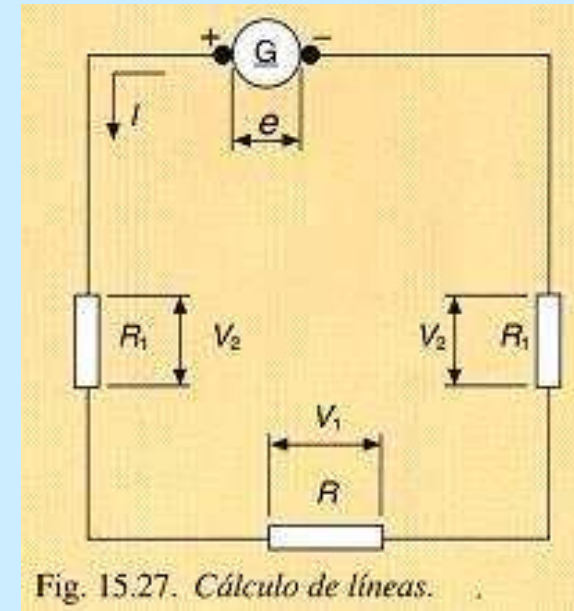


Fig. 15.27. Cálculo de líneas.

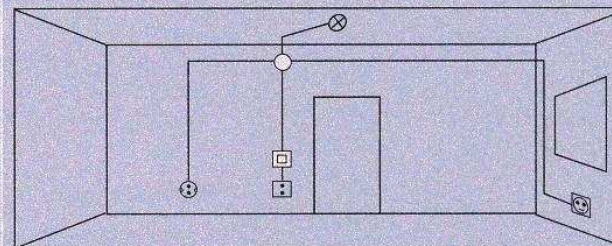
Nota: una caída de tensión en la línea de un X% supone unas pérdidas de potencia o de energía de un X%

$$\%E = \frac{2 \cdot E_2}{E} \cdot 100 = \frac{2 \cdot V_2 \cdot I \cdot t}{e \cdot I \cdot t} \cdot 100 = \%V$$

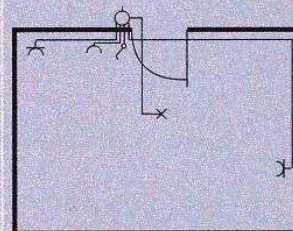
# SIMBOLOGÍA, ESQUEMAS Y PLANOS (UNE 20 004)

Símbolos de instalaciones eléctricas de interior			Interpretación de planos
En esquemas eléctricos	En planos (planta y alzado)	Explicación	
$\equiv \neq$	—	Línea de dos conductores	
		Caja de derivación	
		Cables que se cruzan	
		Unión de líneas	
		Toma de corriente (enchufe) de 10/16 A	
		Toma de corriente con toma de tierra 10/16 A	
		Toma de corriente con toma de tierra 25 A	
		Pulsador	
		Interruptor unipolar	
		Interruptor bipolar	
		Conmutador simple	
		Magnetotérmico bipolar	
		Diferencial bipolar	
	$3 \times 60 \text{ W}$	Grupo de tres lámparas de 60 W cada una	
	$3 \times 20 \text{ W}$	Fluorescente con 3 tubos de 20 W	
		(a) Timbre	
		(b) Zumbador	
		Contador	
		Cuadro de distribución	

Si se quiere hacer la instalación eléctrica de una habitación, podemos hacerlo mediante instalación eléctrica en planta o esquema del circuito.

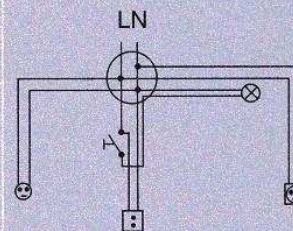


Perspectiva de la instalación eléctrica.



Instalación eléctrica de planta.

Normalmente, en los planos que se hacen en arquitectura se representan las instalaciones en planta.



Esquema del circuito.

El esquema del circuito nos da una idea más general de cómo van unidos cada uno de los cables.

Tabla 15.11. Símbolos empleados en instalaciones eléctricas.

# CIRCUITOS ELÉCTRICOS DOMÉSTICOS

- Son circuitos sencillos en los que el principal problema es el sobrecalentamiento (efecto Joule) en el caso de averías, fundamentalmente sobrecargas en las tomas de corriente o cortocircuitos por fallos de aislamiento.
- Existe un Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (RBT) que comprende la normativa para este tipo de instalaciones y establece unas **densidades de corriente máximas**, tanto para conductores desnudos como aislados, así como para conducciones mediante tubos empotrados, en superficie o en manguera.
  - Se denomina “**densidad de corriente  $\delta$** ” a la intensidad por unidad de sección que atraviesa un conductor. Se mide en A/mm<sup>2</sup>.

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

– Para cables con aislamiento, la densidad de corriente  $\delta_A$  se calcula:

$$\delta_A = \delta \cdot \sqrt{\frac{1,759}{\rho}}$$

Sección en mm <sup>2</sup>	Densidad de corriente en A/mm <sup>2</sup> ( $\delta$ )	
	Cobre	Aluminio
6	9,00	–
10	8,75	–
16	7,60	6,00
25	6,35	5,00
35	5,75	4,55
50	5,10	4,00
70	4,50	3,55
95	4,05	3,20
125	3,70	2,90
160	3,40	2,70
200	3,20	2,50
250	2,90	2,30
300	2,75	2,15
400	2,50	1,95
500	2,30	1,80
600	2,10	1,65

Tabla 15.12. Densidades de corriente en A/mm<sup>2</sup> para conductores desnudos al aire.

# MONTAJE Y EXPERIMENTACIÓN DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS DE CC

- Puentes de Wheatstone

–Se trata de un método de medida de resistencias en el que se emplean tres resistencias (pe  $R_1$ ,  $R_2$  y  $R_3$ ) calibradas y de valor conocido para determinar el valor de una cuarta resistencia ( $R_4$ ). Cuando el amperímetro marca 0A se dice que el puente está “equilibrado” y se cumple que:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

y

$$R_4 = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1}$$

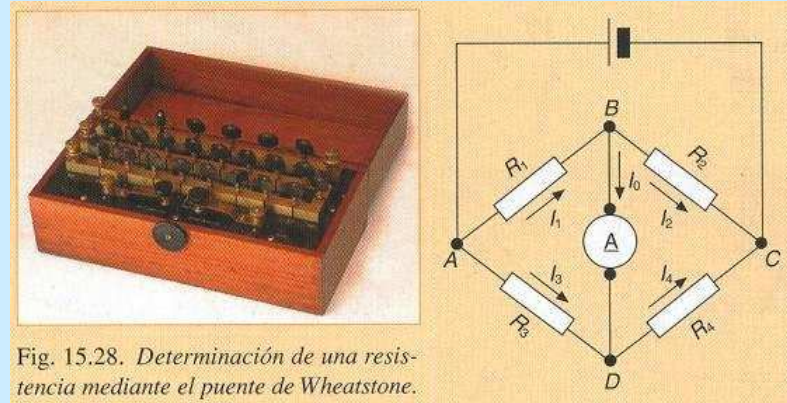


Fig. 15.28. Determinación de una resistencia mediante el puente de Wheatstone.

# MONTAJE Y EXPERIMENTACIÓN DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS DE CC

- Medida de intensidades mediante shunt

- Es un sistema para medir corrientes mayores que la capacidad de medida del amperímetro que se utiliza.
- Consiste en derivar una porción conocida de la corriente a medir y hacerla pasar por una resistencia en paralelo (shunt) con el amperímetro.
- Siendo “*m*” la relación entre la corriente a medir y la corriente que atraviesa el amperímetro:

$$m = \frac{I}{I_A}$$

- El valor de esta resistencia shunt deberá ser:

$$R_S = \frac{R_A}{m - 1}$$

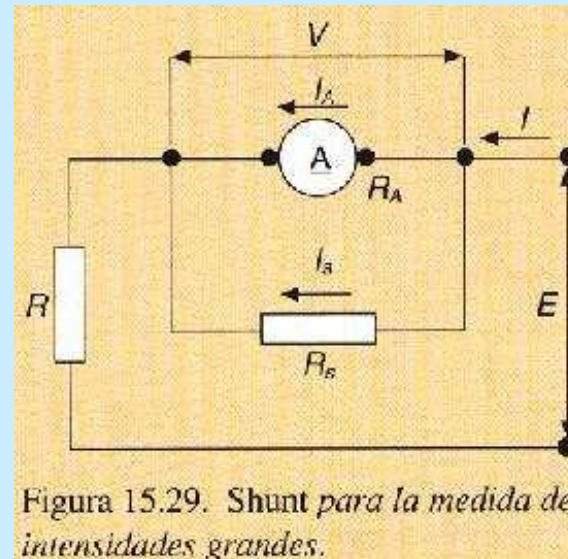


Figura 15.29. Shunt para la medida de intensidades grandes.

# NORMAS DE SEGURIDAD EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS

- Las instalaciones interiores están reguladas por el RBT. Algunas de las normas, de seguridad básicas en instalaciones eléctricas son las siguientes:
- Características de los conductores (cables)
  - Aislamiento. Tipo V (PVG) hasta 750 V los conductores rígidos y 440 V los flexibles
  - Identificación de colores (corriente monofásica):
    - Amarillo-verde (a rayas) para las tomas de tierra.
    - Azul, negro y marrón, para las fases.
  - Secciones mínimas de los cables:
    - 1,5 mm<sup>2</sup> para alumbrado.
    - 2,5 mm<sup>2</sup> para enchufes.
    - 4 mm<sup>2</sup> para lavadoras y calentador eléctrico.
    - 6 mm<sup>2</sup> para cocina, horno, aire acondicionado, etcétera.
  - Caída de tensión máxima desde el origen de la instalación hasta el punto de la instalación:  
1,5%



Fig. 15.30. Conductores: cables de diversos tipos.



# NORMAS DE SEGURIDAD EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS

## • Situación de los conductores en las paredes

– Los cables que van por las paredes, dentro de tubos, deben estar dentro de las zonas con fondo azul, tal como se muestra en la figura 15.31.

– En los cuartos de baño o aseos, hay dos zonas restringidas, denominadas:

- a) volumen de prohibición, donde no se puede instalar ningún elemento eléctrico.
- b) volumen de protección, en el que no se pueden instalar interruptores o conmutadores (figura 15.32).

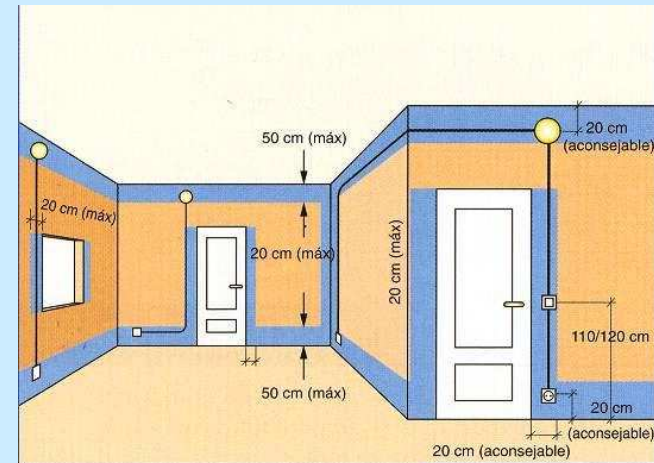


Fig. 15.31. Zonas por las que tiene que ir el cableado de una instalación eléctrica.

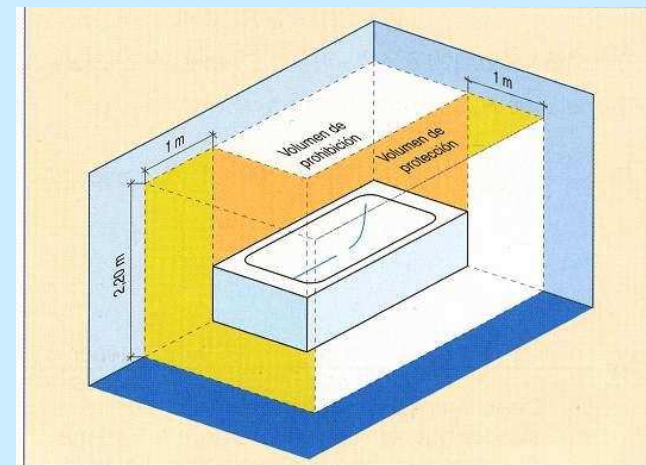


Fig. 15.32. Zonas restringidas en la zona de baño.