

[TEMA 1]-CORRIENTE ELÉCTRICA. CIRCUITOS DE CORRIENTE CONTINUA (I)

Introducción. Fenómenos eléctricos.

1. Corriente eléctrica. Origen y tipos.
2. Elementos en un circuito de CC.
3. Diferencia de potencial e intensidad de corriente.
4. Resistencia. Resistividad. Ley de Ohm.
5. Generadores y motores. Ley de Ohm generalizada.
6. Potencia generada y consumida.

INTRODUCCIÓN: FENÓMENOS ELÉCTRICOS.

La existencia de fenómenos eléctricos es conocida desde la antigüedad (por ejemplo, la caída de un rayo). Ya desde tiempo de los griegos (Tales de Mileto lo recoge en el s. VI aC), se conocía que una resina llamada ámbar (*elektron*, en griego), atraía pelusas y trocitos de hierba al ser frotada con un paño. También con el vidrio ocurría algo parecido. Sin embargo, no se investigaba el por qué, simplemente se daban explicaciones mágicas o el asunto se quedaba en el fenómeno curioso.



Hay que esperar hasta el s. XVII (el inglés Gilbert) y, sobre todo, hasta el XVIII, para empezar a encontrar experimentación y teorías acerca del fenómeno eléctrico. El francés Du Fay descubre dos tipos de electricidad, a las que llamó vítrea (producida por el vidrio) y resinosa (producida por el ámbar). Objetos con el mismo tipo de electricidad se repelen y con distinto tipo se atraen.



Siguiendo en el S. XVIII, el norteamericano Benjamín Franklin inventa el pararrayos y consigue almacenar "algo" que circula desde el rayo, a través del pararrayos, hasta el suelo. Aparece el concepto de "fluido eléctrico".

Es el francés Charles Coulomb, en 1785, quien establece una teoría que explica los fenómenos eléctricos. Introduce el concepto de *carga eléctrica*, asignándoles los signos + y - (+ para la vítrea y - para la resinosa), y llegando a una ley operativa (a una fórmula) que permite calcular la fuerza de atracción o repulsión entre dos cuerpos cargados eléctricamente. Se conoce como ley de Coulomb:

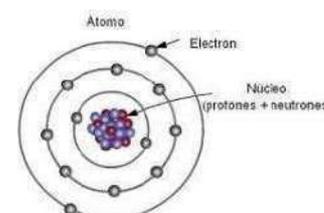
" Entre dos cuerpos cargado eléctricamente con cargas Q_1 y Q_2 , y separados una distancia d , se ejercen fuerzas de atracción o repulsión (iguales y de signo contrario), que son proporcionales a las cargas e inversamente proporcionales al cuadrado de la distancia que los separa. "

$$F_e = \frac{K \cdot Q_1 \cdot Q_2}{d^2}$$

Características de la carga eléctrica: Es una propiedad de la materia
Su unidad en el S.I. es el Culombio (C)
Existen dos tipos de carga : + y -
Cargas de igual signo se repelen. De signo contrario se atraen.
Los cuerpos neutros tienen igual número de cargas + y -
Se conserva. La carga total de un sistema se mantiene constante.

Si examinamos la materia a nivel microscópico, descubrimos que los responsables de la carga eléctrica y los fenómenos de electrización son las partículas constituyentes del átomo. Los protones tienen carga + y los electrones -. Un cuerpo neutro tendrá igual número de electrones que de protones.

Dado que son los electrones los que poseen mayor movilidad,



conseguiremos que un cuerpo tenga carga total positiva si le quitamos electrones (al frotarlo, por ejemplo), o carga total negativa, si le damos electrones.

Campo eléctrico:

Si calculamos la fuerza que se ejercería por cada unidad de carga (por cada culombio) que colocáramos en el punto del espacio que estudiamos; entonces obtendremos una magnitud que no depende de la carga q que coloquemos en el punto, sino que únicamente depende del punto y de la carga que ha creado el campo (Q).

Esta magnitud así obtenida se denomina **Intensidad de Campo Eléctrostático** o **Campo Electroestático** (E)

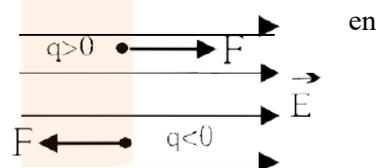
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q}$$

$$\vec{F}_e = q \cdot \vec{E}$$

Unidades de \vec{E} : $[E] = \text{N/C}$

Efectos del campo eléctrico: de la expresión $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$, podemos extraer varias consecuencias sobre los efectos que produce la fuerza electrostática:

- La fuerza electrostática sólo actúa sobre partículas cargadas (estén en reposo o movimiento)
- La dirección de la fuerza (y de la aceleración que originará, si es la única fuerza aplicada) es paralela al campo
- El sentido de la fuerza depende del signo de la carga q sobre la que actúe el campo



1. Corriente eléctrica. Origen y tipos:

La corriente eléctrica es el movimiento de cargas eléctricas (electrones) a través de un material conductor.

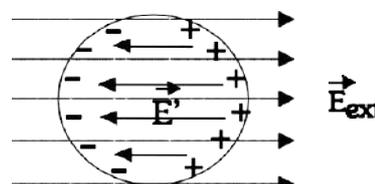
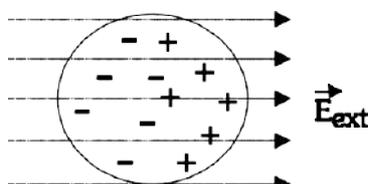
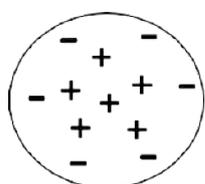
Las sustancias conductoras poseen cargas libres (electrones móviles). Fundamentalmente son metales de transición, con estructura de enlace metálico (los electrones de la subcapa d de los átomos forman una "nube electrónica"). Los mejores conductores: Ag, Au, Cu.

Conductor en equilibrio electrostático: Un conductor está en equilibrio electrostático cuando no hay movimiento de cargas en su interior, es decir, $\sum F_e = 0$. Por tanto, si no tenemos fuerza eléctrica neta en el conductor, el campo eléctrico E en el interior del conductor es nulo. ($E_{\text{int}} = 0$).

Si introducimos carga adicional en el conductor (añadimos o quitamos e^-), dichas cargas adicionales sentirán repulsión entre ellas y tenderán a estar lo más alejadas posible. Se llegará a una situación estable, de equilibrio, cuando las cargas añadidas se encuentren distribuidas uniformemente por la superficie del conductor, quedando neutro el interior. Se vuelve a cumplir que $E_{\text{int}} = 0$. Al ser $E = 0$, el potencial V se mantendrá constante.

Al introducir un conductor dentro de un campo eléctrico externo, E_{ext} , los electrones móviles (carga negativa) se moverán en sentido contrario al campo. Esto produce una separación de carga $+$ y $-$ (dipolo), originándose un campo eléctrico E' dentro del conductor, que es igual y de sentido contrario al exterior.

De este modo, el campo en el interior. $E_{\text{int}} = E_{\text{ext}} + E'$



Conductores en situación de no equilibrio: Corriente eléctrica.

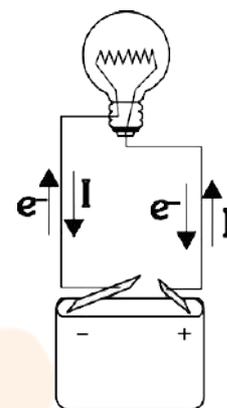
Cuando un conductor está en situación de equilibrio, sabemos que:

- Las cargas están en reposo
- E en su interior es cero
- V es constante

Pero, ¿Qué ocurre cuando en dos puntos del conductor el potencial es diferente? Pues entre esas dos partes del conductor se creará un campo eléctrico cuyas líneas irán del potencial mayor hacia el menor. Como consecuencia, las cargas móviles (e^-) que posee el material sufrirán una fuerza eléctrica dada por $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$, y se moverán en sentido contrario al del campo eléctrico (es decir, del potencial menor hacia el potencial mayor). Se habrá generado una corriente eléctrica entre ambos puntos del conductor.

En eso consiste básicamente un circuito eléctrico: un material conductor entre cuyos extremos se mantiene una diferencia de potencial que origina el continuo movimiento de los electrones. Esto es lo que ocurre en una linterna, cuando salta un rayo en una tormenta, o cuando nos da calambre al tocar un aparato eléctrico cuando estamos descalzos o con las manos mojadas.

Una vez originada la corriente, el equilibrio se restablecería en breves instantes y los potenciales se igualarían, a menos que de alguna forma mantengamos la diferencia de potencial. Un aparato que ejerza esta función es un *generador*, y mantiene la diferencia de potencial por procedimientos químicos (pila, batería) o físicos (alternador, dinamo).



Tipos de corriente eléctrica:

Podemos clasificar los circuitos eléctricos usados tecnológicamente según sea el flujo de corriente por el circuito. Así, tendremos:

Circuitos de corriente continua (CC , DC , =): El flujo de corriente es uniforme y constante en el circuito. Además, va siempre en el mismo sentido. Esto hace que las magnitudes medidas en el circuito se mantengan también constantes. Es el tipo de circuitos que estudiaremos en este tema. En estos circuitos la corriente es originada por pilas, baterías.

Circuitos de corriente alterna (CA , AC , ~) : El flujo de electrones cambia de sentido periódicamente. Este tipo de corriente es producido por alternadores.

2. ELEMENTOS EN UN CIRCUITO DE CC

Mostramos aquí los principales elementos que vamos a estudiar.

Activos: Suministran energía al circuito							
Pila (CC)		Batería (CC)		Alternador (CA)		Fuente de tensión	
Fuente de intensidad							
Pasivos: Consumen, almacenan o transforman energía.							
Lámpara		Resistencia		Resistencia variable (potenciómetro, reóstato)		Fotorresistor (LDR)	
						Termistor (PTC, NTC)	
Condensador		Bobina, solenoide		Transformador		Motor	
Aparatos de medida							
Voltímetro		Amperímetro		Ohmímetro		Watímetro	
Elementos e control, de conexión y otros							
Conductor		Conexión		Toma de tierra		Fusible	
				automatico			

Existen elementos que, siendo pasivos, como condensadores y bobinas, pueden comportarse como activos en algunas ocasiones (por ejemplo, un condensador durante su descarga). Del mismo modo, una batería recargable, que es un elemento activo, se comporta como pasivo durante la carga.

Generadores, consumidores, conductores, elementos de control

Podemos estudiar un circuito eléctrico desde un punto de vista energético. Todo circuito eléctrico consta de tres tipos de elementos:

Generador: elemento que suministra energía al circuito. Le da energía a las cargas eléctricas para que éstas puedan moverse por el circuito.

Esta energía puede provenir de una reacción química (en pilas y baterías es una reacción ácido-metal), o de un fenómeno denominado inducción electromagnética (es lo que ocurre en una dinamo o alternador).

Consumidores: dispositivos que consumen la energía suministrada por el generador a las cargas eléctricas. Es decir, transforman la energía eléctrica de los electrones en otro tipo de energía (interna, cinética...). Por ejemplo: bombillas, calefactores, motores eléctricos.

Elementos de conexión y control: cables y conductores. Ponen en contacto los generadores y los consumidores. Suministran los electrones al circuito. En teoría no consumen energía.

3. DIFERENCIA DE POTENCIAL E INTENSIDAD DE CORRIENTE.

Para poder estudiar un circuito eléctrico, necesitamos conocer una serie de magnitudes medibles.

Tenemos que basarnos en las características básicas del circuito:

- Un circuito consiste en una circulación de electrones. Necesitaremos conocer cómo es esa circulación, es decir, cuántas cargas eléctricas pasan por un punto en cada segundo.
- También hemos visto que en todo circuito hay una transferencia de energía. Necesitaremos una magnitud que nos indique cuánta energía gana o pierde cada carga al pasar por un aparato.

Intensidad de Corriente (I): Nos indica qué cantidad de carga eléctrica pasa por un punto del circuito en cada unidad de tiempo. Es decir, cuántos culombios pasan en cada segundo.

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

La unidad del S.I. para la intensidad es $\frac{C}{s} = A$ A = amperio

Para medir en un circuito la intensidad de corriente que circula por un punto, usamos un **amperímetro**. Se conecta en serie, como si fuera una parte más del cable conductor. Teóricamente, no introduce ninguna caída de potencial. Los estudiaremos con más detalle en el tema 5.



Diferencia de potencial (voltaje) (ΔV): Siempre se mide entre dos puntos del circuito (A y B). Nos indica qué cantidad de energía gana o pierde cada unidad de carga (cada culombio), al pasar del punto A al punto B. Su unidad en el S. I. Es el Voltio (V).

La energía consumida en un aparato dependerá de:

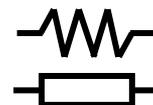
- La cantidad de carga que pase por él (intensidad): mayor carga, mayor cantidad de energía perderá.
- La resistencia del propio aparato al paso de la corriente. Mayor R, significa mayor energía consumida.

Para medir en un circuito la diferencia de potencial entre dos puntos, usamos un **voltímetro**. Se conecta en paralelo, de forma que, teóricamente, no circula ninguna intensidad por él. Los estudiaremos con más detalle en el tema 5.



4. RESISTENCIA. RESISTIVIDAD. LEY DE OHM.

Elementos consumidores: Resistencias: Suponen la representación de los aparatos eléctricos simples (bombillas, estufas, etc) que tenemos conectados al circuito. Extraen energía del circuito gracias a la oposición que ejercen al paso de las cargas eléctricas a través de ellos.



Si observamos lo que ocurre en el filamento de una bombilla (por ej.) a nivel atómico, vemos que el metal del filamento (de W, normalmente) está formado por una red de átomos unidos por enlace metálico. Permite el paso de los electrones, pero éstos, al moverse, van “chocando” (interaccionando) con los átomos del metal, y debido a esto van perdiendo energía (en el caso del filamento de la bombilla en forma de luz y calor).

La mayor o menor oposición que presenta un conductor al paso de la corriente se denomina *resistencia eléctrica* del conductor. Se representa mediante la letra R, y su unidad en el S.I. es el Ohmio (Ω), en honor a G. S. Ohm, científico que estudió esta magnitud.

Los buenos conductores (Ag, Au, Cu, utilizado en los cables) poseen una resistencia muy baja, que podemos considerar aproximadamente cero. Los materiales aislantes, por el contrario, poseen una resistencia tan alta que apenas permiten el paso de corriente.

La resistencia de un cable conductor depende de varios factores:

- Longitud (L): Un cable de mayor longitud presentará mayor resistencia.
- Sección (S): Una mayor sección hace que los electrones encuentren menos oposición a su paso (es el equivalente a comparar una carretera estrecha con una autovía)

- Tipo de material: Viene marcado por una constante, propia de cada material, llamada resistividad (ρ).
Cuanto mejor conductor sea, menor es la resistividad del material.

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

De esta forma: la resistencia se calcula con

En el Sistema Internacional, la resistividad se mide en $\Omega \cdot m$. sin embargo, dado que en la práctica las secciones de los cables vienen dadas en mm^2 , es muy común medir la resistividad en $\Omega \cdot mm^2/m$

La resistividad de un material depende de la temperatura, ya que aumenta la agitación térmica de los átomos de la red. Para los metales aumenta con la temperatura, mientras que para los semiconductores disminuye, al producirse saltos de electrones desde la banda de valencia a la banda de conducción, como ya veremos en el tema 6.

Resistividad (ρ_{20°) a $20^\circ C$ y coeficientes de temperatura α			
Material		$\rho_{20^\circ} (\Omega m)$	$\alpha (^\circ C^{-1})$
conductores	Plata	$1,6 \cdot 10^{-8}$	$3,8 \cdot 10^{-3}$
	Cobre	$1,7 \cdot 10^{-8}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$
	Oro	$2,4 \cdot 10^{-8}$	$3,4 \cdot 10^{-3}$
	Aluminio	$2,8 \cdot 10^{-8}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$
	Hierro dulce	$7,8 \cdot 10^{-8}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$
	Wolframio	$5,5 \cdot 10^{-8}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$
	Plomo	$22 \cdot 10^{-8}$	$4,3 \cdot 10^{-3}$
Semiconductores	Silicio	2300	$-5,7 \cdot 10^{-2}$
	Germanio	0,6	$-4,8 \cdot 10^{-2}$
Aislantes	Mica	$10^{11} - 10^{15}$	-
	Madera	$10^8 - 10^{11}$	-
	Vidrio	$10^{10} - 10^{14}$	-

$$\rho(T) = \rho_{20^\circ} [1 + \alpha(T - 20)]$$

Ley de Ohm

Cuando por un conductor pasa una determinada intensidad de corriente I , la resistencia R del conductor hace que las cargas eléctricas que se mueven a través del mismo pierdan energía. Recordemos que la pérdida de energía que perdía cada unidad de carga (cada C), venía marcada por la diferencia de potencial ΔV . La relación que existe entre estas tres magnitudes se denomina Ley de Ohm.

$$\Delta V = R \cdot I \quad \rightarrow \quad R = \frac{\Delta V}{I} \quad \rightarrow \quad I = \frac{\Delta V}{R}$$

De ahí obtenemos un valor para la unidad de resistencia, el ohmio

$$\frac{V}{A} = \Omega$$

La magnitud inversa de la resistencia se denomina conductancia (G), y se mide en siemens ($S = \Omega^{-1}$)

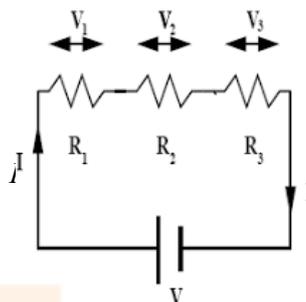
CÓDIGO DE COLORES EN LAS RESISTENCIAS			
Color	1ª, 2ª Valor	3ª Multiplicador	4ª Tolerancia
Negro	0	1	
Marrón	1	10	
Rojo	2	10^2	
Naranja	3	10^3	
Amarillo	4	10^4	
Verde	5	10^5	
Azul	6	10^6	
Violeta	7	10^7	
Gris	8	10^8	
Blanco	9	10^9	
Dorado		10^{-1}	5%
Plata		10^{-2}	10%
Sin color			20%

Asociación de resistencias. Serie y paralelo. Resistencia equivalente:

Asociación en serie: En este caso, los electrones pasan por todas las resistencias sucesivamente, es decir, por todas ellas circula la misma intensidad de corriente. La diferencia de potencial total (ΔV), será la suma de los ΔV en cada resistencia. Aplicando la ley de Ohm:

$$\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2 + \Delta V_3 + \dots = R_1 \cdot I + R_2 \cdot I + R_3 \cdot I = (R_1 + R_2 + R_3) \cdot I \rightarrow \Delta V = R_{eq} \cdot I$$

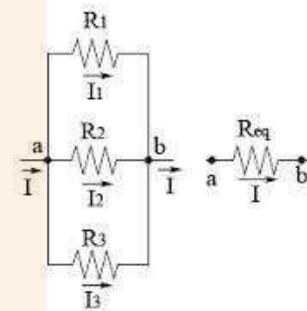
donde $R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$



Asociación en paralelo: Ahora los electrones se reparten entre las distintas ramas del circuito, volviendo a encontrarse luego. La intensidad total se divide entre las ramas ($I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$). Al estar conectadas las resistencias a los mismos puntos del circuito, la diferencia de potencial es la misma para todas. Aplicando la ley de Ohm a cada una. $\Delta V = R_1 \cdot I_1$; $\Delta V = R_2 \cdot I_2$; $\Delta V = R_3 \cdot I_3$

Como $I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots \rightarrow I = \frac{\Delta V}{R_1} + \frac{\Delta V}{R_2} + \frac{\Delta V}{R_3} + \dots \rightarrow I = \Delta V \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots \right)$

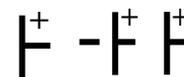
Sabemos que $I = \frac{\Delta V}{R_{eq}} \rightarrow \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$



Cuando en un circuito tenemos varias combinaciones serie y paralelo mezcladas, hay que ir calculando las resistencias equivalentes por grupos, del más pequeño al más grande.

5. GENERADORES Y MOTORES. LEY DE OHM GENERALIZADA.

Elementos generadores: Pila, batería, dinamo: Suministran energía a los electrones para que continúen su circulación por el circuito. En CC poseen una polaridad (+,-). Esto nos indica que, funcionando correctamente, los electrones, al pasar por el generador, entran por el polo + y salen por el -. En caso contrario, si la corriente circula al revés por el generador, ya no suministraría energía sino que la consumiría, produciendo generalmente un calentamiento del generador y su posterior avería (aunque a veces esta corriente al contrario es útil, por ejemplo, es la forma de recargar una batería).



En las pilas y baterías la energía proviene de una reacción química (reacción redox). En las dinamos (la de una bicicleta) se obtiene a partir del rectificado de corriente alterna.

Características de un generador:

"Fuerza" electromotriz (f.e.m., o más usado, ϵ): Cantidad de energía que el generador suministra a cada unidad de carga eléctrica (a cada C) que pasa por él. Se mide, por tanto, en J/C. Esta unidad recibe el nombre propio de Voltio (V). Es precisamente lo que aparece indicado en una pila (1,5 V, 4,5 V, 12 V en una batería)

Resistencia interna (r): También los generadores ofrecen una resistencia u oposición al paso de los electrones por ellos. Esto hace que también consuman algo de energía, que se traduce normalmente en calentamiento. Por tanto, al conectar el generador al circuito, no será capaz de suministrar toda la energía que tiene indicada, sino un poco menos (como ejemplo, al conectar una pila de 4,5 V a una linterna, en realidad sólo suministra 3,8 V aprox.)

Tensión a circuito abierto de un generador: Es la tensión que medimos entre los bornes del generador cuando no está conectado al circuito. En ese caso, no circulará intensidad por él, y no habrá caída de tensión interna debido a la resistencia interna. Estaremos midiendo entonces la fuerza electromotriz del generador.

Generadores en serie y en paralelo:

Serie: Varios generadores puestos en serie (respetando la polaridad) se comportan como un solo generador cuya f.e.m. fuera la suma de las f.e.m. individuales y una resistencia interna igual a la suma de las resistencias internas individuales. Es una asociación muy usada: por ejemplo, las pilas de 4,5 V son la asociación serie de 3 pilas de 1,5 V. Las baterías de los coches consisten en una serie de celdas o pilas individuales.

Paralelo: Conectar generadores (pilas) en paralelo sólo tiene utilidad si son idénticos entre sí, es decir, con la misma f.e.m. y parecida resistencia interna. De lo contrario, por la pila de menor f.e.m. circulará la corriente en sentido contrario al habitual (desde el + al - por dentro de la pila), haciendo que ésta se deteriore y consuma energía en lugar de suministrarla. Una conexión en paralelo de baterías iguales mantiene el mismo voltaje (no lo aumenta), pero multiplica la “capacidad”: podrá suministrar corriente durante más tiempo antes de consumirse las pilas.

Motores: (M) Un motor es un dispositivo que extrae energía del circuito en forma de movimiento (Energía cinética). Se diferencia en esto de las resistencias (calor, luz). Su estructura es similar a un generador de tipo dinamo. De hecho, se caracteriza por tener una ε_M , llamada ahora fuerza contraelectromotriz, (f.c.e.m.) y una resistencia interna r .



Ley de Ohm generalizada

Podemos estudiar el funcionamiento global del circuito eléctrico desde el punto de vista de la energía. Básicamente, como ya hemos visto al principio del tema, en un circuito eléctrico se produce un intercambio de energía entre el generador y los aparatos consumidores.

El generador transforma energía química o mecánica, en energía eléctrica, la suministrada a los electrones que se mueven por el circuito. Estos electrones, al pasar por el conductor, pierden energía, en forma de calor, luz, o de energía cinética (movimiento, como en un motor eléctrico).

Teniendo en cuenta lo visto en el apartado anterior, podemos aplicar la ley de Ohm para ir estudiando el suministro o consumo de energía para cada componente.

Por un lado, tendremos los generadores, caracterizados cada uno por su ε , que suministran energía.

Por otro lado, tendremos los consumidores, a saber.

- Motores, cada uno extrae del circuito una energía por cada Culombio igual a su f.c.e.m. (ε_M)
- Resistencias: tanto de los aparatos (R), como resistencias internas (r) de generadores y motores. Podemos reunir las todas en la Resistencia equivalente del circuito (R_e). La energía consumida por cada Culombio (ΔV) vendrá dada por la ley de Ohm $\Delta V = R_e \cdot I$

Haciendo un balance total de energía, llegamos a:

Energía suministrada: $\sum \varepsilon_G$

Energía consumida: $\sum \varepsilon_M + R_e \cdot I$

Así, $\sum \varepsilon_G = \sum \varepsilon_M + R_e \cdot I$

Juntando en el mismo miembro todas las f.e.m.

$\sum \varepsilon_G - \sum \varepsilon_M = R_e \cdot I$

Y nos queda $\sum \varepsilon = R_e \cdot I$

Esto se conoce como Ley de Ohm Generalizada, y nos permite calcular la intensidad total que recorre el circuito. (como se ve, al sumar las f.e.m., las de los motores se restan)

Una vez obtenida I , para calcular la energía consumida en un aparato o en un trozo del circuito, basta con aplicar la ley de Ohm a ese trozo o aparato.

6. POTENCIA SUMINISTRADA Y CONSUMIDA.

Sabemos que tanto la f.e.m como la diferencia de potencial están relacionadas con la energía (nos indican energía suministrada o consumida por cada unidad de carga, por cada culombio). Para obtener la energía total consumida o suministrada, tendremos que multiplicar por la carga total Q que haya circulado por el circuito.

Energía suministrada: $E_{suministrada} = \varepsilon \cdot Q$ Energía consumida: $E_{consumida} = \Delta V \cdot Q$

La potencia se define como la energía suministrada o consumida por unida de tiempo (por cada segundo, en el S.I.)

$$P_{sum} = \frac{E_{sum}}{t} = \frac{\varepsilon \cdot Q}{t} = \varepsilon \cdot I \qquad P_{cons} = \frac{E_{cons}}{t} = \frac{\Delta V \cdot Q}{t} = \Delta V \cdot I = R \cdot I^2$$

$$P_{sum} = \varepsilon \cdot I \qquad P_{cons} = \Delta V \cdot I \qquad P_{cons} = R \cdot I^2$$

Rendimiento. Potencia útil de un generador.

Como hemos visto en apartados anteriores, un generador real no sólo suministra energía al circuito, también la consume, debido a su resistencia interna. Esto hace que, de la potencia teórica suministrada, ($P_{sum} = \varepsilon \cdot I$), sólo una parte sea útil, es decir, se termine consumiendo en el circuito y no en el propio generador.

Así, tendremos que *Potencia suministrada = Potencia útil + Potencia disipada en el generador*

$$\varepsilon \cdot I = P_{útil} + r \cdot I^2 \quad \rightarrow P_{útil} = \varepsilon \cdot I - r \cdot I^2$$

El **rendimiento** del generador indica qué fracción de la potencia teórica corresponde a potencia útil. Se

calcula $\eta = \frac{P_{útil}}{P_{sum}}$ (como fracción) $\eta = \frac{P_{útil}}{P_{sum}} \cdot 100$ (en %)