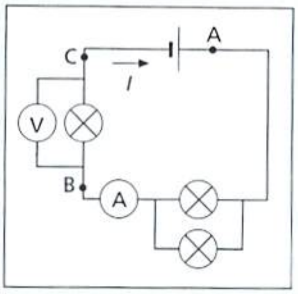
EJEMPLO



Hallad lo que marcarán el amperímetro y el voltímetro en el circuito de la figura. Las tres bombillas tienen una resistencia de 20 Ω cada una, y la fem de la pila es de 6 V.

Para hallar la intensidad que atraviesa el circuito, I, es necesario hallar previamente la R_{eq} de las tres bombillas. Para ello hallaremos primero la equivalente de las dos bombillas que están en paralelo, que será $R/2 = 10\ \Omega$.

Ahora el circuito queda con dos resistencias en serie, una de 20 Ω y otra de 10 Ω. La R_{eq} de estas dos será, por tanto, de $20 + 10 = 30\ \Omega$. De manera que en el circuito final sólo tenemos la pila y una resistencia de 30 Ω, por lo que la intensidad será:

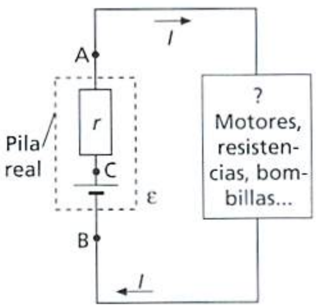
$$I = \frac{\varepsilon}{R_{eq}} = \frac{6}{30} = \mathbf{0{,}2\ A}$$

La d.d.p. que marca el voltímetro podemos calcularla, ahora que conocemos la intensidad que pasa por la bombilla, mediante la ley de Ohm:

$$V_B - V_C = I \cdot R = 0{,}2 \cdot 20 = \mathbf{4\ V}$$

($V_A - V_B$ valdrá 2 V.)

8.2. Intensidad de corriente en un circuito con una pila con resistencia interna. Ley de Ohm generalizada



¿Cómo podemos hallar la intensidad que habrá en un circuito si la pila no es ideal?

Aunque al principio de su utilización las pilas se calientan muy poco, con el uso continuado se nota que se calientan más, y al final de su vida útil se calientan mucho. Todo ocurre como si la pila real fuera una pila ideal con una resistencia interna, r, en serie con ella. La resistencia interna de una pila se puede medir, y limita la intensidad máxima que puede producir una pila real (en la pila ideal, si R_{eq} tiende a cero –cortocircuito–, la intensidad tiende a infinito).

En una pila real, la energía que transfiere el circuito al exterior por unidad de carga proviene tanto de la disminución de energía potencial eléctrica por unidad de carga fuera de la pila, $V_A - V_B$, como de la disminución que se produce en su resistencia interna, que, según la ley de Ohm, será $I \cdot r$. Por tanto, por estar en régimen estacionario se debe cumplir que: $q\varepsilon = q(V_C - V_B) \rightarrow \varepsilon = (V_C - V_A) + (V_A - V_B) \rightarrow \varepsilon = I \cdot r + (V_A - V_B)$

Si entre A y B sólo hay resistencias y la resistencia equivalente es R_{eq}, tendremos:

$$\varepsilon = I \cdot r + I \cdot R_{eq} \rightarrow \boldsymbol{I = \frac{\varepsilon}{r + R_{eq}}}\ \textbf{(ley de Ohm generalizada)}$$

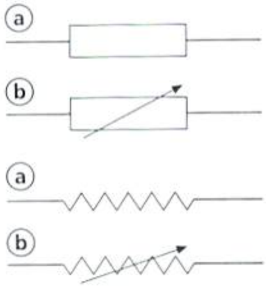
PROBLEMA

Calculad la intensidad máxima que puede producir una pila de 4,5 V de fem y 0,5 Ω de resistencia interna.

Resultado: 9 A. Ésa es la intensidad en cortocircuito. La pila se gastaría en muy poco tiempo.

¿Coincidirá la fem de una pila real con la d.d.p. medida con un voltímetro entre sus bornes?

Acabamos de ver que $\varepsilon = I \cdot r + (V_A - V_B)$, luego no coincidirá si tiene resistencia interna apreciable. La diferencia será mayor cuanto mayor sea la intensidad. Con el circuito abierto ($I = 0$) coinciden siempre.



Símbolos de un resistor (a) y de un resistor de resistencia variable, reóstato (b).

¿Cómo podemos controlar la intensidad que hay en un circuito?

La intensidad de corriente que hay en distintas partes de un circuito está determinada por la pila (por su fem y su resistencia interna) y por lo que se conecta fuera. Esto permite apreciar las funciones de las resistencias en los circuitos: controlar la I necesaria para producir un efecto deseado o dividir el potencial de modo que la d.d.p. entre dos puntos del circuito tenga un valor determinado. Para eso se utilizan los **resistores** (materiales de resistencia conocida). El valor de las intensidades que hay en distintas partes de un circuito complejo se determina aplicando dos principios: el de conservación de la intensidad de corriente y el de conservación de la energía.

Como los resistores sirven para controlar la intensidad, con frecuencia se usan resistores de resistencia variable (reóstatos o potenciómetros) en los circuitos.

PROBLEMA

Se utiliza una pila de una fem de 12 V y una resistencia interna de 1 Ω para hacer funcionar una bombilla de 20 Ω de resistencia. Hallad:

a) La intensidad de la corriente que circula por el circuito y la d.d.p. existente entre los bornes de la pila.
b) Ídem si conectamos otra bombilla igual en paralelo con la primera.
c) Ídem con tres bombillas.
d) Ídem si conectamos en paralelo un trozo de hilo de cobre (cortocircuito).

Resultado: a) 0,57 A y 11,4 V; b) 1,09 A y 10,9 V; c) 1,57 A y 10,47 V; d) 12 A y 0 V.

8.3. Potencia suministrada y potencia consumida en un circuito

Con un circuito eléctrico queremos producir cambios deseados (elevar la temperatura de una resistencia para que realice calor sobre el exterior, encender una bombilla para que emita luz, hacer funcionar un motor para que realice trabajo mecánico...) mediante una cadena que es impulsada por la pila que realiza un trabajo $q \cdot \varepsilon = I \cdot \Delta t \cdot \varepsilon$, con una potencia, por tanto, $P = I \cdot \varepsilon$.

En régimen estacionario ya hemos dicho que esta potencia que realiza la pila es igual a la potencia con que transfiere energía el circuito al exterior. No obstante, lo que se desea es diseñar el circuito de manera que se transfiera la máxima potencia al exterior por el componente del circuito que deseemos. En unas ocasiones queremos que una bombilla emita mucha radiación, o que la resistencia de un calentador eléctrico realice mucho calor por unidad de tiempo (transfiera energía con mucha potencia) al agua, o que un motor eleve rápidamente un objeto. Tiene, por tanto, mucho interés saber cuánta potencia eléctrica «consume» una bombilla o un motor (y cuánta transfieren al exterior de la manera deseada), de manera que podamos controlarla.

Potencia suministrada y disipada en una resistencia o bombilla

La potencia que realiza el campo eléctrico sobre cualquier componente que esté conectado entre dos puntos con una d.d.p. $V_A - V_B$, o potencia suministrada, es:

$$P = \frac{W_{\text{int } A \to B}}{\Delta t} = \frac{q \cdot (V_A - V_B)}{\Delta t} = \frac{I \cdot \Delta t \cdot (V_A - V_B)}{\Delta t} = I \cdot (V_A - V_B)$$

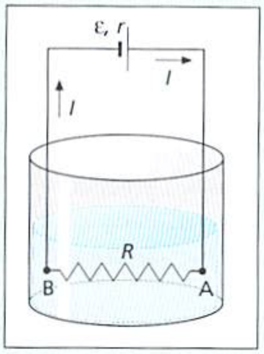
Si entre A y B hay un resistor o una bombilla de resistencia R, se cumplirá la ley de Ohm: $V_A - V_B = I \cdot R$, y la potencia consumida será $P = I^2 \cdot R$.

En régimen estacionario, como todas las magnitudes medibles en el circuito permanecen sin cambiar, la potencia suministrada por el campo eléctrico a la resistencia tiene que ser igual al calor por unidad de tiempo que realiza la resistencia sobre el exterior. Eso explica que la temperatura de la resistencia permanezca constante a pesar de que se le esté realizando trabajo por el campo eléctrico. Así pues, el calor por unidad de tiempo que realiza una resistencia sobre el exterior es:

$$P = \frac{Q}{\Delta t} = I^2 \cdot R$$

Empíricamente, esta relación fue descubierta por Joule, por lo que se llama **«efecto Joule»**.

EJEMPLO



Queremos usar una batería de coche (12 V de fem y resistencia interna prácticamente nula) para calentar 2 l de agua de 5 a 40 °C. Para ello podemos utilizar un circuito que tiene un cable enrollado con una resistencia de 100 Ω u otro con una resistencia de 5 Ω. ¿Con cuál se calentará antes el agua?

La potencia con que le transfiere energía el circuito a la resistencia es, como acabamos de ver, $P = I \cdot (V_A - V_B)$ y, por la ley de Ohm, será $(V_A - V_B) = I \cdot R$, luego la potencia que «entra» en la resistencia será: $P = I^2 \cdot R$. Es necesario, por tanto, hallar la intensidad en los dos casos:

$$I = \frac{\varepsilon}{r + R_{eq}} = \frac{\varepsilon}{R}, \text{ y } P = I^2 \cdot R = \frac{\varepsilon^2}{R^2} \cdot R = \frac{\varepsilon^2}{R}$$

Como vemos, si queremos que la resistencia «consuma» la mayor potencia posible, **debemos elegir la resistencia menor**. Con 5 Ω, la potencia suministrada a la resistencia por el circuito es 28,8 W, y con la de 100 Ω es 1,44 W.

Puesto que conocemos la cantidad de calor que realizará la resistencia sobre el agua por unidad de tiempo, si queremos saber el tiempo que tardará en alcanzar la temperatura deseada es necesario que hallemos el aumento de energía interna térmica que se debe producir:

$$\Delta U = m \cdot c_e \cdot \Delta T = 2 \cdot 4{,}18 \cdot (40 - 5) = 292{,}6 \text{ kJ}$$

Se tendrá que cumplir, pues: $Q = \Delta U$, y como la resistencia realiza calor sobre el agua a razón de 28,8 W (J/s), el tiempo necesario, Δt, para realizar dicha cantidad de calor será:

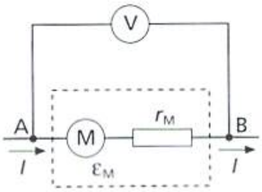
$$P \cdot \Delta t = m \cdot c_e \cdot \Delta T \rightarrow \Delta t = \frac{m \cdot c_e \cdot \Delta T}{P} =$$

$$= \frac{292{,}6 \cdot 10^3}{28{,}8} = 10.160 \text{ s} = 2 \text{ h } 49 \text{ min } 20 \text{ s}$$

PROBLEMA

Una bombilla lleva una inscripción que pone 100 W-220 V. Eso significa que, cuando la d.d.p. entre sus extremos es de 220 V, la potencia que «consume» es de 100 W. Hallad la potencia que consumirá si se conecta de manera que la d.d.p. entre sus extremos sea de 100 V.

Resultado: 20,7 W. Iluminará mucho menos. La inscripción nos permite hallar la R de la bombilla, y hemos supuesto que R es constante (las bombillas se separan del comportamiento óhmico en determinados rangos de temperatura).



Motor

Potencia consumida por un motor. Fuerza contraelectromotriz y rendimiento

En muchas ocasiones reales se desea hacer funcionar un motor eléctrico mediante un circuito, de manera que se transfiera la máxima potencia posible al motor para que éste pueda realizar el máximo trabajo mecánico posible por unidad de tiempo. Como hemos dicho, si medimos la d.d.p., $V_A - V_B$, entre los bornes de un motor conectado en un circuito y la intensidad de corriente que lo atraviesa, la potencia que consume será $P = I \cdot (V_A - V_B)$. El motor realiza trabajo mecánico con una determinada potencia, P_M, y también se calienta, como si tuviera una resistencia r_M. En régimen estacionario, como no varía nada con el tiempo, el motor debe transferir energía al exterior con la misma potencia que le suministra el circuito. Eso quiere decir que:

$$I \cdot (V_A - V_B) = P_M + I^2 \cdot r_M \rightarrow (V_A - V_B) = \frac{P_M}{I} + I \cdot r_M$$

La magnitud P_M/I se llama **fuerza contraelectromotriz (fcem)** del motor, ε_M, y es el trabajo mecánico que realiza por unidad de carga que circula por él. La unidad de la fcem es el voltio y su valor depende del número de revoluciones por minuto con que gire el motor. El rendimiento de un motor será:

$$\eta = \frac{P_M}{I \cdot (V_A - V_B)} = \frac{\varepsilon_M}{(V_A - V_B)}$$

PROBLEMA

¿Qué significa que la fcem de un motor es de 5 V?

Resultado: Que realiza un trabajo mecánico de 5 J por cada culombio de carga que pasa a través de él, o que realiza trabajo mecánico con una potencia de 5 W por cada amperio de intensidad de la corriente que circula por él.

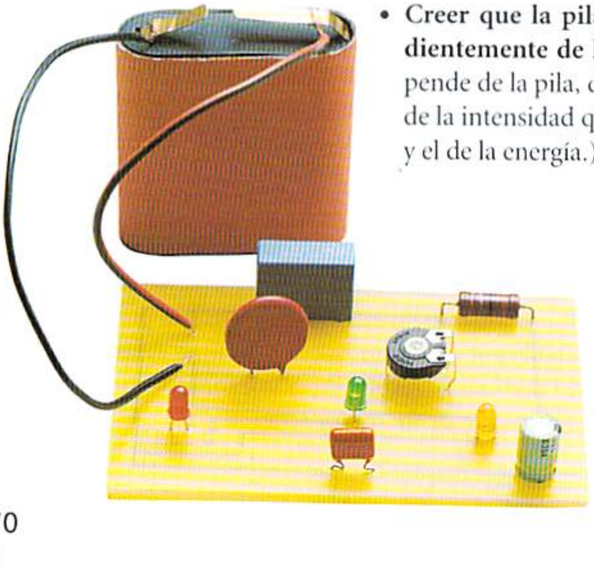
RECAPITULACIÓN

Al principio del tema nos planteamos la cuestión de cómo funciona un **circuito eléctrico** y cómo podíamos controlar los efectos que produce la **corriente eléctrica**. Hemos elaborado un modelo de funcionamiento de un circuito de corriente continua y del papel de la pila en él que se ha basado en la naturaleza eléctrica de la materia en general, y de los metales en particular. Los principios generales que determinan el funcionamiento de un circuito son el de conservación de la carga y el de la energía. Debes poder explicar todos los hechos que se observaron en las actividades experimentales del principio.

Realizad una revisión del modelo de funcionamiento de un circuito en el nivel microscópico y en el nivel macroscópico, resaltando la función de la pila y los mecanismos que determinan el valor de la intensidad de la corriente y de la d.d.p. que podemos medir con amperímetros y voltímetros.

En el desarrollo de este estudio sobre la corriente eléctrica es muy probable que hayan surgido las siguientes confusiones e ideas erróneas:

- **Identificar polarizado con cargado.**
- **Confundir equilibrio electrostático con régimen estacionario.**
- **Creer que la intensidad de corriente se gasta.** Por ejemplo, que es mayor antes de entrar en una bombilla que después de salir de ella, que es mayor la intensidad de corriente que hay en el polo + que la que hay en el polo −. (En estado estacionario, la intensidad de corriente en cada punto siempre es constante y, además, se conserva: en una bifurcación, la suma de las intensidades que entran es igual a la suma de las que salen.)
- **Creer que los portadores de carga en el interior del conductor se mueven como si fueran por un tubo hueco.** (Se mueven muy lentamente –mar de electrones– y por cada portador de carga que aporta la pila en el polo positivo, coge, simultáneamente, otro portador distinto en el polo negativo. Están saliendo y entrando simultáneamente por los polos de la pila.)
- **Creer que los cambios que se efectúan en un punto del circuito sólo afectan a los componentes que están «después» de él y que no afectan a los que están «antes».** (Sabemos que cualquier cambio produce modificaciones en el campo eléctrico del interior del conductor que se propagan a la velocidad de la luz en todas direcciones.)
- **Creer que la pila produce siempre la misma corriente eléctrica, independientemente de lo que esté conectado fuera.** (La intensidad de corriente depende de la pila, de lo que hay fuera de ella y de cómo estén conectados. El valor de la intensidad queda determinado por el principio de conservación de la carga y el de la energía.)
- **Creer que en una resistencia grande** (por ejemplo, el filamento de una bombilla), **los portadores de carga se mueven más lentos.** (Se mueven mucho más rápidos que en el hilo de cobre, por ejemplo. La intensidad del campo eléctrico es grande y hay una brusca d.d.p. entre sus extremos.)



La intensidad de corriente producida por una pila depende de los elementos que haya conectados al circuito.

CIENCIA Y SOCIEDAD

HISTORIA DE LA BOMBILLA ELÉCTRICA Y ALGUNOS CAMBIOS QUE SUPUSO

Desde los tiempos remotos la humanidad se había ido defendiendo contra la diaria e inquietante desaparición de la luz del Sol. Primero con hogueras, luego con antorchas y lámparas de aceite y posteriormente con lámparas de grasa de ballena, queroseno, gas, etc. Todos estos sistemas habían proporcionado una luz mediocre y oscilante con la que combatir la oscuridad de la noche. Por otra parte, la introducción generalizada de la iluminación, utilizando gas, en las fábricas del siglo XIX no tuvo efectos sociales beneficiosos inmediatos, ya que permitió a los patronos alargar unas jornadas de trabajo ya demasiado extensas.

Finalmente, a finales del siglo XIX, la electricidad proporcionó un sistema más seguro, mejor y más práctico. El problema era calentar con electricidad un pequeño filamento hasta hacerle emitir un resplandor incandescente. La cuestión en sí no era demasiado complicada; sin embargo, muchos intentos fracasaron porque no había medio de evitar que el filamento se oxidara con el oxígeno del aire y se destruyera. En 1875, **Crookes** ideó un método adecuado para hacer un vacío suficiente dentro de un recipiente de vidrio en el que se colocaba el filamento, pero los materiales utilizados eran poco satisfactorios, ya que se rompían con bastante facilidad.

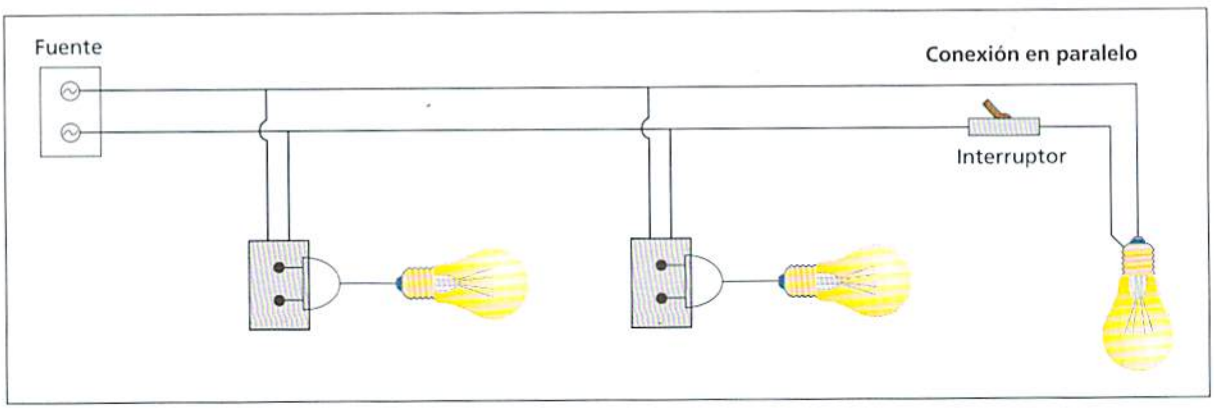
En 1878, **Thomas Edison**, de 31 años, se manifestó dispuesto a abordar el problema. Su reputación como inventor era tan grande que su anuncio hizo subir la bolsa de Nueva York y Londres haciendo tambalearse las acciones de las compañías de gas encargadas de la iluminación. Edison no fue, pues, el primero en inventar la luz incandescente usando una bomba de vacío y tampoco descubrió ningún principio científico básico de este sistema. Lo que hizo fue encontrar un material que funcionaba aceptablemente como filamento (hebra de algodón carbonizado) y diseñar un bulbo de vidrio adecuado en el que colocarlo. Además (lo que es aún más importante), solucionó un problema bastante más complejo: abastecer a miles de hogares con una cantidad de electricidad constante.

Bombilla eléctrica antigua.

Con ello abrió a una enorme masa de consumidores el uso de la electricidad.

Edison se dio cuenta de que el sistema de distribución de la electricidad por los hogares debía ser de tal forma que las bombillas funcionaran independientemente para que, si una de ellas se fundía, las demás siguieran funcionando y no se quedase el resto de la casa a oscuras. Para conseguir este efecto, las distintas bombillas debían conectarse como se indica en el esquema inferior (conexión en paralelo). Posteriormente se incorporaron sucesivas mejoras (filamento de tungsteno, introducción de gas nitrógeno dentro del bulbo, etcétera). Edison fundó una compañía de electricidad, la Edison Electric Company, que comenzó a instalar sus sistemas de iluminación en 1882. Tres años después ya habían vendido más de 200.000 lámparas. El amplio uso de las bombillas eléctricas favoreció un desarrollo rápido de sistemas para generar y distribuir energía eléctrica en millones de hogares, iniciándose así la era de la electricidad.

Los avances tecnológicos en este campo pronto fueron mucho más allá de la modesta bombilla de incandescencia y en poco tiempo se incorporaron a la red eléctrica multitud de aparatos (lavadoras, tostadoras, hornos, secadoras, lavaplatos, frigoríficos, sistemas de calefacción, teléfono, aparatos de radio, televisores, etcétera) haciendo posible una forma muy cómoda de poder disponer de la energía necesaria para realizar muchos y diversos cambios.



CUESTIONES, EJERCICIOS Y PROBLEMAS

1 En un circuito están pasando $2 \cdot 10^{18}$ electrones por segundo de izquierda a derecha en cierto punto del hilo metálico. Indicad la dirección, sentido y valor de la corriente eléctrica convencional.

2 La intensidad de un campo eléctrico uniforme en un punto es de 200 N/C. Hallad:

a) La fuerza que ejercerá sobre una carga positiva de 10^{-6} C.

b) El trabajo realizado por el campo al trasladarse dicha carga una distancia de 20 cm a lo largo de una línea de fuerza.

c) La variación de energía del campo (variación de energía potencial eléctrica).

3 Una batería de 270 V se conecta a dos placas paralelas distantes entre sí 1 mm. El campo eléctrico entre las placas (lejos de los bordes) es uniforme. Hallad:

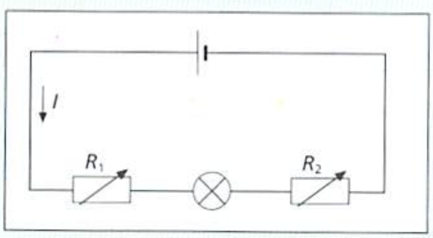
a) La fuerza que ejercería sobre un electrón que está entre las placas.

b) El trabajo realizado por el campo eléctrico, la variación de su energía y la velocidad que tendría el electrón al golpear una de las placas, si parte del reposo desde la otra placa.

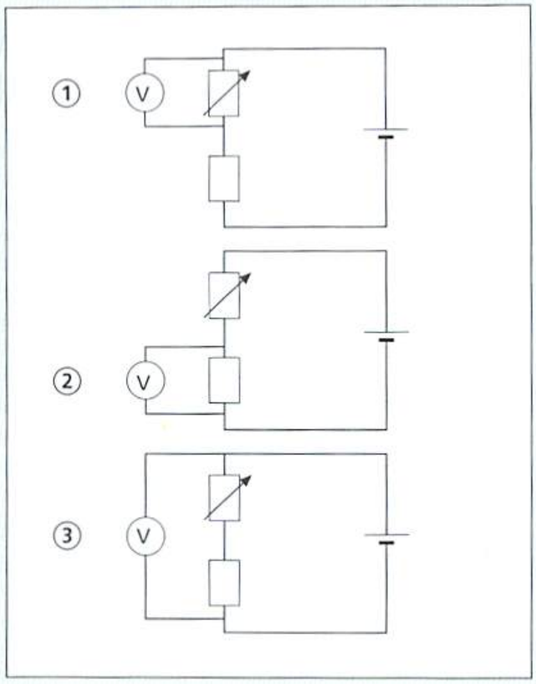
4 Hallad la intensidad del campo eléctrico en el interior de un hilo de nicromo de 30 cm y 0,25 mm de diámetro que está conectado a una pila de 1,5 V. Calculad cuánto variaría la intensidad del campo eléctrico y la intensidad de corriente si el diámetro del hilo fuera de 0,35 mm.

5 Un circuito está formado por una pila y un hilo de nicromo. La mitad del hilo tiene una sección doble que la otra mitad. Expresad la relación que habrá entre $\vec{E}$, I y la d.d.p. entre los extremos en cada trozo de nicromo.

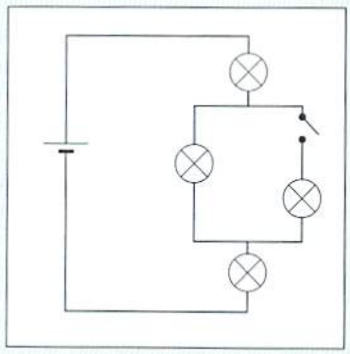
6 Razonad qué diferencia habrá en el brillo de la bombilla si, partiendo de dos resistencias iguales, se dobla el valor de R_1 manteniendo constante el de R_2, o si se dobla el valor de R_2 manteniendo constante el de R_1.



7 Razonad cómo variará la lectura del voltímetro al aumentar el valor de la resistencia variable (¿aumentará, permanecerá igual o disminuirá?) en cada uno de los siguientes circuitos.



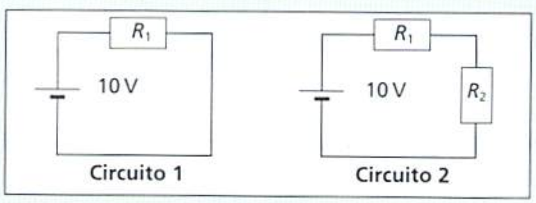
8 Las cuatro bombillas del circuito de la figura son iguales. Comparad el brillo de las bombillas, cuando el interruptor de la figura está abierto y cuando está cerrado.



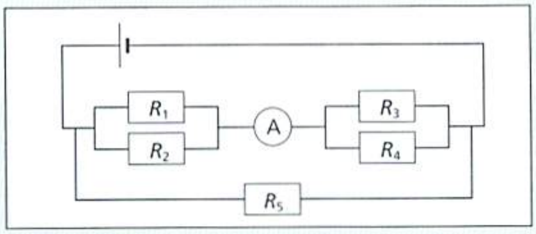
9 Una pila de 4,5 V produce una intensidad en cortocircuito de 6 A. ¿Cuánta corriente producirá dicha pila cuando se le conecte un resistor en serie de 1 Ω?

10 Analizad la siguiente proposición argumentando si es verdadera o falsa.

«La potencia que suministra la pila al circuito es mayor en el circuito 2, porque hay un resistor más disipando potencia.»



11 Hallad lo que marcará el amperímetro de la figura, sabiendo que la fem y la resistencia interna de la pila son 5 V y 1 Ω, y que todos los resistores tienen una resistencia de 2 Ω.

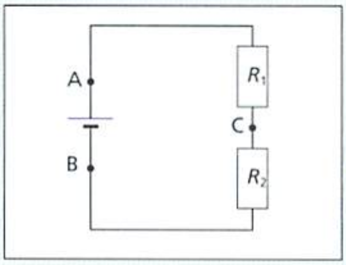


12 Para calcular la fem y la resistencia interna de una pila, se conecta una resistencia variable (reóstato) y se mide la d.d.p. (o tensión) entre sus bornes con un voltímetro y la intensidad con un amperímetro. Cuando la tensión entre los bornes es de 4 V, el amperímetro marca 1 A; y cuando es de 2 V, el amperímetro marca 2 A.

a) Hallad los valores de ε y de r.

b) Hallad la intensidad máxima que puede generar esa pila (intensidad en cortocircuito) y la tensión entre sus bornes en dicha situación.

13 Sabemos que un resistor produce una d.d.p. entre sus extremos. Un circuito muy utilizado para conseguir valores distintos de la d.d.p. que produce una pila entre sus bornes consiste en conectar dos resistores en serie con la pila, tal como se muestra en el esquema. La d.d.p. entre A y B, queda «dividida», en una caída de potencial en R_1, y otra caída de potencial en R_2. Se llama «tensión de entrada» (ΔV_e) a la d.d.p. entre A y B ($V_A - V_B$) y «tensión de salida» (ΔV_s) a la d.d.p. entre C y B ($V_C - V_B$). Hallad el valor de la tensión de salida. (ε = 16 V; R_1 = 330 Ω; y R_2 = 3.300 Ω.)



14 A un generador de fem 18 V y resistencia interna 3 Ω se conecta una resistencia R. Comprobad, utilizando distintos valores para R, que la potencia suministrada a R es máxima cuando su valor es igual a la resistencia interna del generador.

15 La bombilla de una linterna lleva las indicaciones 3,5 V y 0,22 A. Si para que luzca normalmente es necesario conectarla a una pila de petaca cuya fem es de 4,5 V:

a) ¿Qué resistencia interna deberá tener ésta?

b) ¿Qué rendimiento tiene el generador en este caso?

c) ¿Qué valor debería tener la resistencia de la bombilla para que la potencia suministrada sea máxima? ¿Qué rendimiento tendría el generador en este caso?

16 La resistencia interna típica de una pila de 1,5 V es 0,25 Ω. Una linterna tiene 4 pilas de este tipo conectadas en serie (es decir, el polo + de una con el polo − de otra, y así sucesivamente). Cuando se conectan de este modo las pilas, el trabajo que realiza el conjunto por unidad positiva de carga que circula por el circuito es la suma de los trabajos que realizaría cada una de ellas si estuviera sola, y la resistencia interna del conjunto es la equivalente a todas las resistencias internas conectadas en serie. La bombilla de la linterna disipa, en estas condiciones, 5 W de potencia. Representad el esquema del circuito y hallad:

a) La intensidad de corriente que atraviesa la bombilla.

b) La d.d.p. entre los bornes de la asociación de pilas.

c) La resistencia de la bombilla.

17 La batería de un automóvil tiene una fem de 12 V y cuando se encuentra conectada al motor de arranque circula una corriente de 15 A, siendo 10,8 V la d.d.p. entre sus bornes. Si en estas condiciones el motor de arranque desarrolla una potencia de 100 W, determinad la resistencia interna de la batería y la fcem y resistencia interna del motor de arranque.

18 Un motor está diseñado para desarrollar una potencia mecánica de 1 CV cuando por él circula una corriente de 8 A. Sabiendo que su resistencia interna es de 1 Ω, determinad la d.d.p. que debemos aplicar entre sus bornes. ¿Cuál será el rendimiento del motor?

19 Se desea determinar la fcem y la resistencia interna de un motor, pero no se dispone de amperímetro ni voltímetro, sino de un calorímetro y un cronómetro. Se monta un circuito con un generador de 18 V y 0,5 Ω de resistencia interna y una resistencia de 10 Ω en serie con el motor. La resistencia se introduce dentro del calorímetro y se determina experimentalmente la potencia con que calienta el agua. Se realizan dos mediciones: una impidiendo que el motor gire (su fcem es entonces cero, sólo actúa como una resistencia) y otra cuando el motor gira a un número determinado de r.p.m. Los valores obtenidos han sido:

1) Cuando el motor no gira, la resistencia realiza un calor de 1.500 calorías en 6 minutos.

2) Cuando gira, la resistencia realiza un calor de 120 calorías en 6 minutos.

Determinad las intensidades que circulan en cada una de las situaciones, la resistencia y la fcem del motor.