

CORRIENTE ELÉCTRICA

1. Introducción

Las cargas se mueven bajo la influencia de los campos eléctricos, constituyendo lo que se denomina, corriente eléctrica. Pone de relieve su importancia, el hecho de que una gran mayoría de las aplicaciones en electricidad implican a la propia corriente. De manera habitual, asociamos las corrientes al movimiento de cargas en conductores, pero el haz de iones que proviene de un acelerador de partículas o los electrones en un tubo de imagen de televisión, también, forman parte de la corriente eléctrica. Ahora bien, el movimiento de las cargas en un conductor se vuelve complejo, debido a la presencia de fuerzas adicionales a las creadas por los campos. Estas fuerzas son debidas a las colisiones producidas por la nube electrónica y los iones positivos del propio material y a los campos eléctricos internos generados en el conductor.



A.1 ¿Por qué crees que puede resultar interesante estudiar la corriente eléctrica y circuitos eléctricos en un curso de Física?

Comentario:

Se puede mencionar la naturaleza eléctrica de los impulsos nerviosos y los posibles efectos que pudieran tener las descargas en el cuerpo humano, como también comentar sucintamente los sistemas de distribución de energía a nivel doméstico e industrial; su relación con los campos magnéticos (experiencias de Oersted) y algunos logros de carácter cotidiano, derivados de esta relación, que el desarrollo tecnológico nos ha permitido conseguir. Desde ese punto de vista, los circuitos eléctricos permiten que la energía se pueda transportar sin usar ninguna parte móvil (excepto naturalmente los propios portadores) lo que resulta enormemente útil.

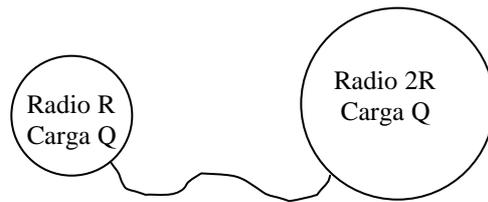


Otro aspecto, de diferente tenor que lo anterior, es que este tema nos va a brindar una excelente oportunidad de aplicar los aspectos más importantes del tema de campo electrostático, lo que redundará en una visión más global de la Electroestática y la Electrodinámica, en el sentido de que esta última es explicable, en muchos de sus apartados, a partir de la utilización de los conceptos inherentes a la primera.

2. ¿Cómo se puede producir corriente eléctrica?



A.2 En el ejemplo de la figura, ¿hay paso de corriente por el hilo que une las esferas?, ¿crees que la disposición propuesta presenta interés desde un punto de vista tecnológico?



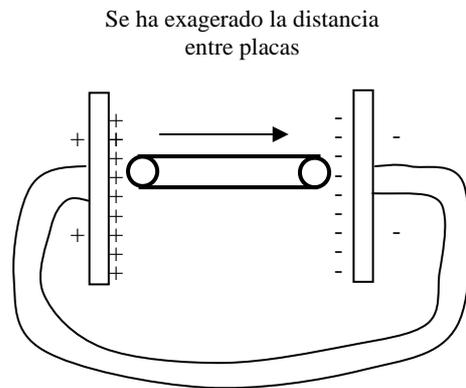
Comentario:

La fuerza eléctrica es muy intensa. La cantidad de carga que puede llevarse a un conductor es pequeña y se encuentra limitada por su potencial eléctrico. La corta duración en el paso de corriente de una esfera a otra y la escasa transferencia de carga son la causa de su escaso interés. Por lo demás, insistir en que es la diferencia de potencial entre ambos cuerpos, la magnitud que origina el movimiento de las cargas



A.3 La corriente de descarga que se produce en dos placas cargadas, como las de la figura, decrece rápidamente con el tiempo llegándose con relativa rapidez a una situación de equilibrio electrostático. ¿Cómo podríamos superar esta situación y alcanzar una corriente estable?

Imagina para ello, que durante la descarga pudiera haber un mecanismo transportador de cargas, en el espacio entre ambas placas.



Comentario:

El paso de cargas negativas, en sentido horario, desde la placa negativa a la positiva a través del conductor, que es básicamente el proceso de descarga de las placas, puede compensarse por medio de un dispositivo mecánico situado entre las placas que permita el paso de cargas (por ejemplo, negativas) de la placa positiva a la negativa. De esa manera, la disminución de carga en las placas (por la descarga) quedaría compensada con un aumento en la misma proporción (por el mecanismo descrito) de carga en ellas. El dispositivo se llama batería mecánica, puesto que persigue el mismo fin que las baterías químicas convencionales. Un generador Van de Graaff, analizado en la lección anterior (ver actividad A.6), emplea una cinta transportadora para llevar carga, desde su base hasta una esfera metálica en su parte superior y constituye, por tanto una batería mecánica, que puede representarse, también, como en la figura.



A.4 Un estudiante afirma: “El campo eléctrico en el interior de un metal en equilibrio electrostático es cero, por lo que en el interior de los hilos

metálicos que forman parte de un circuito eléctrico que está funcionando alimentado por una batería, también será cero” ¿Estás de acuerdo con su punto de vista? Explícalo.

Comentario:

Es preciso hacer ver que la presencia de la batería establece un campo en el interior del alambre conductor, iniciando un movimiento (que se superpone al movimiento aleatorio debido a la temperatura) de los portadores de carga. Esta actividad, intenta que se diferencie en una primera aproximación, entre una situación de equilibrio electrostático, ya vista con anterioridad, y el estado estacionario que se obtiene con una batería y que se describirá con mayor profundidad a continuación.



A.5 De acuerdo con las actividades anteriores, explica cuál sería la función de la batería en un circuito sencillo.

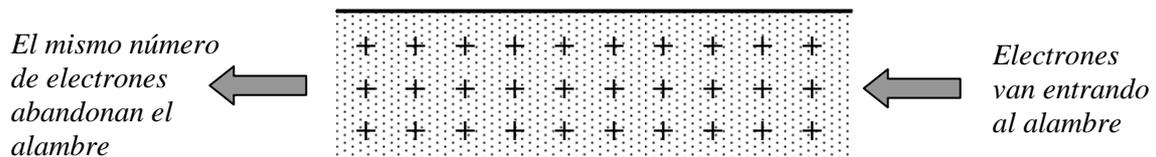
Comentario:

La batería, mantiene una diferencia de potencial entre placas, por medio de un transporte de cargas desde una placa hasta la otra. Al contrario de lo que sucede en la descarga entre conductores, las baterías permiten trabajar con flujos continuos de carga elevados en base a diferencias de potencial muy pequeñas.

3. ¿Cómo se mueven las cargas por los cables del circuito?



A.6 Vamos a considerar en un circuito sencillo con una batería, un trozo de cable de metal cuya sección representamos en la figura. A través de él, la ‘nube’ de electrones libres está continuamente moviéndose, entre los iones de la red, hacia la izquierda. Para un elemento finito de hilo, el interior del metal es neutro. Si la corriente de electrones es estacionaria (constante), sucede que mientras algunos electrones dejan esa sección, entonces el mismo número de electrones entran en ella manteniendo la neutralidad del cable. ¿A qué es debido el movimiento de electrones?, ¿qué magnitud definirías para describir su movimiento?



Comentario:

Se define el estado estacionario en relación con un trozo del alambre. Sabemos que existe atracción entre los electrones y los núcleos positivos del

material y, por otra parte, repulsión entre los propios electrones y que ambas interacciones se cancelan, por lo que el movimiento de portadores se iniciará como consecuencia del campo eléctrico generado por la batería.



A.7 ¿De qué depende la velocidad promedio de los electrones en el cable?

Comentario:

Siguiendo el modelo clásico de conducción se establece una velocidad media (estadísticamente hablando), para el conjunto de electrones desplazándose en el conductor. Dicha velocidad, se encuentra determinada por la condición de estado estacionario en la que, en promedio, el aumento de velocidad de las cargas, debido a la fuerza del campo eléctrico en el interior del alambre, es contrarrestado por la disminución de su velocidad debida a las colisiones entre las propias cargas y los núcleos atómicos del material.



La velocidad en conjunto de todos los portadores constituye lo que se conoce como velocidad de desplazamiento (o de arrastre). Como consecuencia, existe una corriente neta en el conductor.

A.8 Determina la aceleración a la que está sometido un electrón debido al campo en el interior del alambre. ¿Cómo es posible que si cada electrón se encuentra sometido a una fuerza eléctrica no aumente su velocidad y se pueda hablar de una velocidad de desplazamiento (media del conjunto) de los electrones?

Comentario:

La fuerza sobre los electrones es: $F = ma = qE$, de donde: $a = qE / m$, lo que produce una ganancia de energía cinética antes de cualquier colisión; cada electrón adquirirá una pequeña velocidad en sentido opuesto al campo, que de otra manera no habría tenido lugar. Ello conduce a que los electrones se arrastren colectivamente en la dirección señalada. Sin embargo, las colisiones (en realidad, lo que sucede es que entran en juego fuerzas de corto alcance al aproximarse al ión de la red) que se producen le hacen perder energía al electrón (es como si cada colisión convirtiera el movimiento ordenado de los electrones por acción del campo eléctrico en un movimiento al azar), con lo que su velocidad decae. De nuevo se acelera, para volver de nuevo a decaer; es por eso que no tiene sentido hablar de lo que sucede, más que considerando su velocidad en promedio a lo largo de todo su movimiento.



A.9 Obtener una expresión para la velocidad de desplazamiento del conjunto de electrones en función del campo eléctrico en el interior del cable: movilidad.

Comentario:

El tiempo medio (t_m) entre las colisiones de los electrones con los núcleos, permite obtener una velocidad promedio que hemos visto puede ponerse

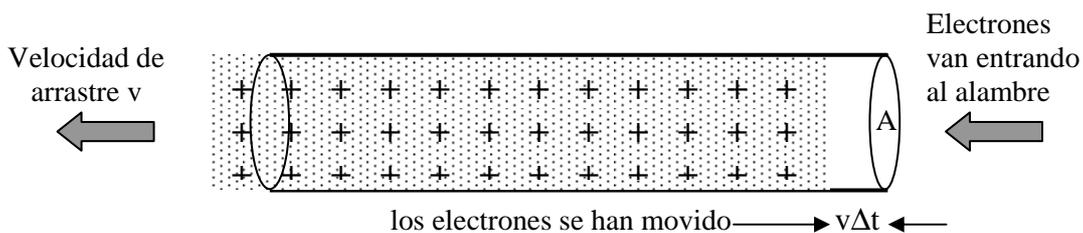
como: $v_d = \frac{qE}{m} t_m$. Esta velocidad es proporcional al campo eléctrico aplicado (externamente) y, por tanto, también a la fuerza que produce la corriente eléctrica. La velocidad con la que se moverá el conjunto de electrones, es una velocidad límite en el sentido en que se hablaba en mecánica para el movimiento en la caída de un paracaidista.



El factor de proporcionalidad entre el campo eléctrico y esta velocidad promedio (de desplazamiento) es una característica de cada material y recibe el nombre de movilidad (u).

A.10 Si en el interior del cable de un circuito eléctrico hay un campo uniforme, ¿cómo será la relación entre la velocidad de desplazamiento (v) de los electrones, la sección A del conductor y el número de electrones libres por unidad de volumen (n) con respecto a la corriente de electrones? Haz una estimación, en principio, meramente cualitativa.

Establece, a continuación, una relación operativa entre dichas magnitudes. Para ello, calcula el volumen del conductor y, de ahí, el número de electrones en todo él.



Comentario:

Si ha quedado definida la corriente de electrones como el número de electrones que entran en una sección del cable por segundo es previsible que aumente proporcionalmente con la velocidad de desplazamiento, con la sección del conductor y también con el número de electrones libres que tenga el material por unidad de volumen.



De manera operativa y siguiendo la sugerencia del enunciado se llega a:
 $i = n v A$ tal que $\vec{v} = u \vec{E}$ para los portadores de carga positivos y de manera semejante $\vec{v} = -u \vec{E}$ para los portadores de carga negativos.



A.11 Un cable de cobre de 0'814 mm. de radio (calibre 14), tiene una densidad de de 8'93 g/cc y una masa molecular de 63'5 g/mol. El valor de la velocidad de desplazamiento es $v = 3'5 \times 10^{-5}$ m/s. Se pide:

a) ¿Cuánto vale la corriente de electrones?

b) Si el valor de la movilidad es $u = 4'5 \times 10^{-3} \frac{m/s}{N/C}$ ¿cuál será el valor del campo eléctrico?

- c) ¿Cuánto tiempo les cuesta a los electrones recorrer 1m. del cable? Analiza la consistencia de los resultados obtenidos en b) y c).
- d) ¿Resulta incoherente con el resultado anterior el hecho de que al dar a un interruptor se encienda la bombilla de manera ‘instantánea’?

Comentario:

Si suponemos para el cobre un electrón libre por átomo para la conducción y teniendo en cuenta el número de Avogadro $N = 6'02 \times 10^{23}$ moléculas por mol de cobre, tendremos que el número de electrones (portadores) por centímetro cúbico será $n = 0'846 \times 10^{23}$. Considerando que para un conductor de sección circular, su área A es: πr^2 , entonces operando obtendremos de $i = nAv = 6'16 \times 10^{12}$ para un campo $E = 0'77 \times 10^{-2}$ N/C. Un electrón tardará (en promedio) aproximadamente 476 minutos en recorrer 1m de cable. Llama la atención que la velocidad aleatoria de los electrones considerada de manera individual es aproximadamente del orden de 10^{10} veces la velocidad de desplazamiento de los electrones en conjunto lo que conlleva, en ocasiones, a explicar el encendido instantáneo de la luz eléctrica de manera incorrecta en base a esta velocidad.



A.12 Hasta ahora hemos definido la corriente eléctrica en función del número de electrones; sin embargo, los aparatos de medida, como el amperímetro, miden lo que se denomina corriente eléctrica convencional obteniéndola en función de la carga total. ¿Cómo relacionarías ambas magnitudes? Haz uso, del resultado obtenido en la actividad A.10.

Comentario:

Se define la intensidad de corriente, en términos de la carga para que en la actividad a continuación se pueda establecer su relación con la corriente de electrones ya descrita anteriormente.

$$I = qnAv = q (nAv) = q i$$

A.13 ¿La intensidad de corriente es una magnitud escalar o vectorial? Justifica tu respuesta.

4. ¿Es suficiente el campo eléctrico generado por la batería para hacer funcionar el circuito en estado estacionario?

Como ya se ha indicado, si queremos mantener una corriente en un hilo conductor, en su interior deberá existir un campo eléctrico capaz de mover las cargas libres. Una vez analizado que no pueden ser los propios electrones móviles del interior del hilo los que empujan a sus vecinos y mantienen la corriente, se ha visto como necesaria la existencia de una batería que mantenga

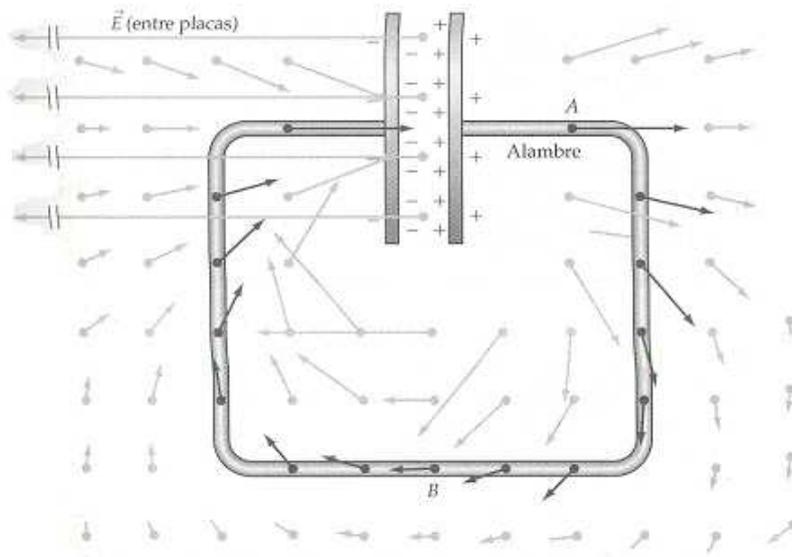
una diferencia de potencial. Nuestro propósito, en este punto, será determinar si el campo generado por ella es suficiente para justificar una corriente adecuada en el circuito.



A.14 En el supuesto de que el campo eléctrico en el interior de los hilos conductores de un circuito fuera debida únicamente a las cargas de la batería, entonces al añadir largos hilos de cobre al circuito y teniendo en cuenta que el campo disminuye a largas distancias, ¿debería cambiar el valor de la corriente en diferentes puntos del circuito? Las medidas obtenidas indican que no lo hace, ¿cómo puede ser posible?

Comentario:

Tratamos de valorar en esta actividad como sería el campo eléctrico, en cada punto del circuito, si fueran las cargas sobre la batería las que estableciesen, en exclusiva, dicho campo. Parece evidente que a una mayor distancia entre cable y batería, deberíamos de tener un campo más pequeño, por lo que resultaría impensable una corriente constante para diferentes puntos del cable conductor. Observamos pues, una inconsistencia acerca del movimiento de los portadores basado exclusivamente en el campo generado por la batería.

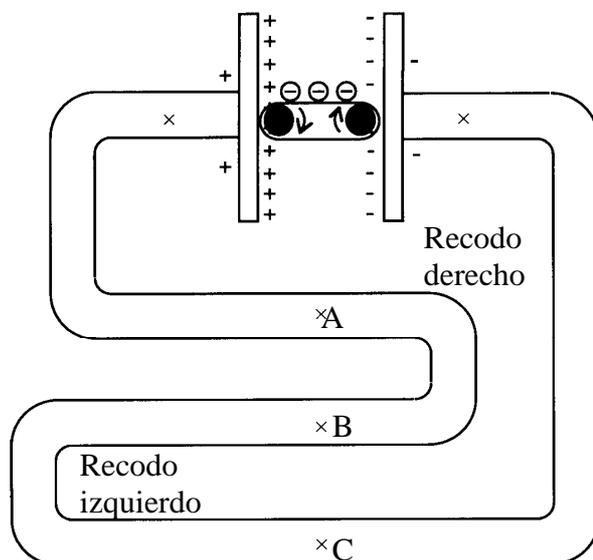


Asimismo, para un conductor de un material concreto, la corriente es función (efecto) del campo eléctrico, por lo que resultaría impensable una corriente constante para diferentes puntos del conductor.



A.15 Disponemos del circuito que muestra la figura, en el que hemos introducido una batería mecánica que ha sido ya descrita, en la actividad A.3. En los puntos señalados en el interior del cable, dibuja los vectores que representan el campo eléctrico, debido únicamente a las cargas de las placas, así

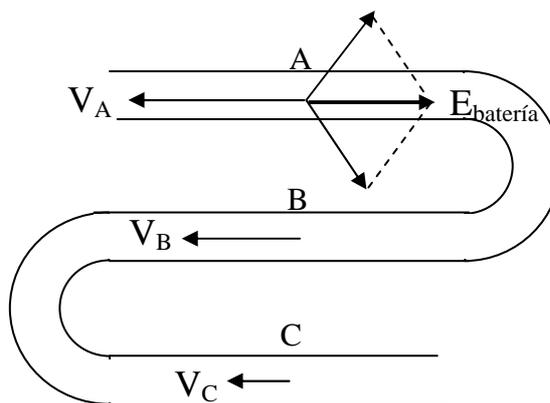
como la velocidad de desplazamiento de los electrones. ¿Crees posible que, en situación estacionaria, los electrones fluyan tal y como estas velocidades de desplazamiento parecen indicar?



Comentario:

Hemos observado en la actividad anterior que a una mayor distancia deberíamos de tener un campo más pequeño, por lo que resultaría impensable una corriente constante para diferentes puntos del conductor. Hay una inconsistencia acerca del movimiento de los portadores cuando se basa exclusivamente en la acción de la batería.

Debido exclusivamente a la carga de las placas de la batería mecánica (placa izquierda, positiva y derecha, negativa), en cada punto del circuito situado en la misma vertical tendríamos un campo hacia la derecha (en la figura, únicamente se representa para el punto A) y por tanto un movimiento de electrones, de acuerdo con ese campo, hacia la izquierda, lo que haría imposible su movimiento de la placa negativa a positiva en cualquier zona del alambre.



El modelo que se propugna para explicar la corriente en circuitos, deberá de considerar, por tanto, estas circunstancias y explicar satisfactoriamente que los electrones deben moverse a lo largo de todo el circuito, desde la placa negativa hasta la positiva y, además, que en estado estacionario, la corriente debe tomar el mismo valor en cualquier parte del circuito.





A.16 Si el único factor responsable del movimiento de las cargas fuera la carga ubicada en las placas de la batería, ya hemos comprobado que en el recodo izquierdo del circuito de la figura anterior, los electrones entrarían por ambos lados.

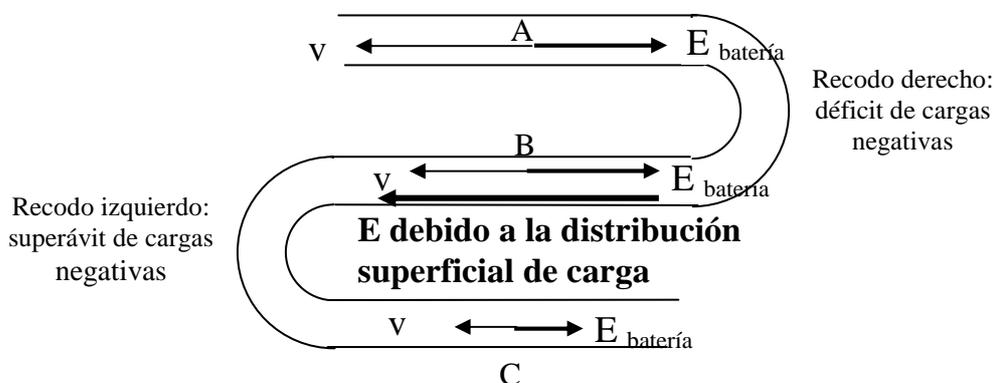
- ¿Qué ocurriría con el exceso de electrones que llegan al recodo? ¿Qué efecto tendría esa redistribución sobre los nuevos electrones que pretenden penetrar en el recodo?
- Reconstruye el análisis del apartado anterior para el recodo derecho.
- Razona globalmente lo que ocurriría en la región que comprenda ambos recodos.

Comentario:

Pretendemos hacer ver que para el recodo izquierdo se alcanzará un exceso de carga neta negativa debido al movimiento de electrones antes (C) y después del recodo (B). El exceso de carga se situará en la superficie del conductor, repeliendo a su vez a los electrones que se dirijan hacia allí, con lo que decrecerá la corriente de electrones que pretendan entrar hacia el recodo.



En el recodo derecho se alcanzará un exceso de carga positiva debido al movimiento de electrones antes (B) y después del recodo (A).



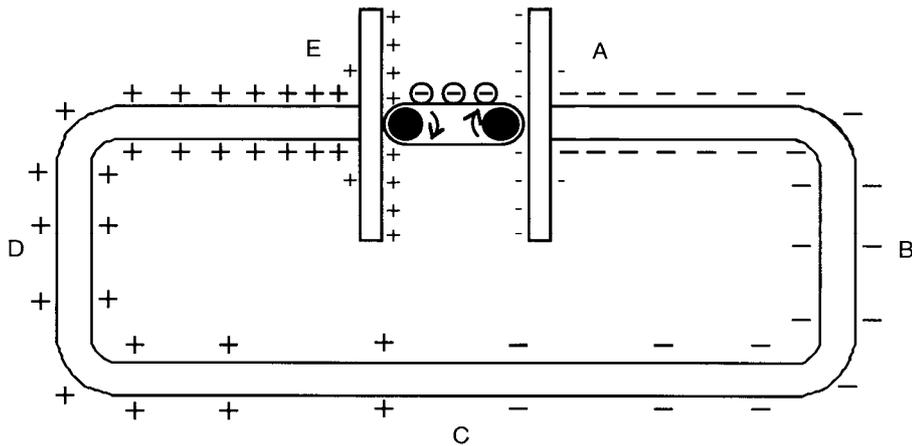
En la región entre ambos recodos se originará, debido a esta acumulación de carga superficial en los alambres, un campo eléctrico hacia la izquierda que será decisivo en la superposición con el campo creado por las cargas de la batería, para que en cualquier región del circuito los electrones vayan desde la placa negativa a la positiva.

La distribución del exceso de carga superficial en los circuitos puede ser muy compleja, sobre todo si hay pliegues o recodos, tal y como acabamos de

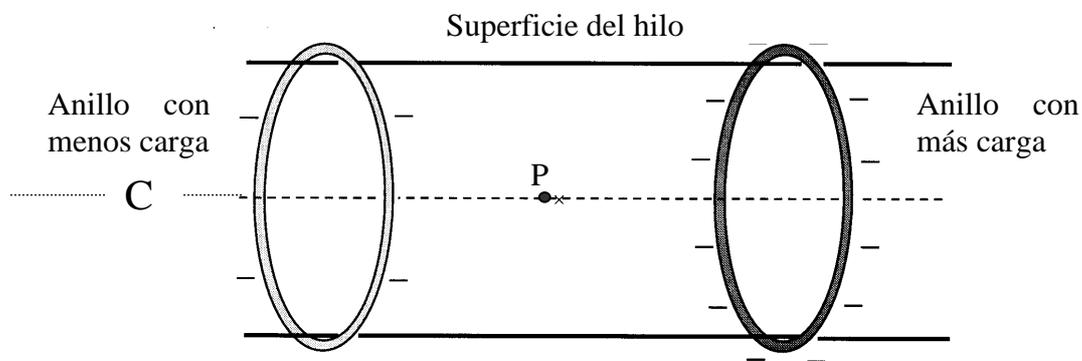
ver. Consideremos, por tanto, un caso sencillo de circuito eléctrico en nuestro análisis, para una situación estacionaria.



A.17 La carga superficial en los alambres conductores del circuito tiene la forma de un tubo hueco rodeando al conductor.



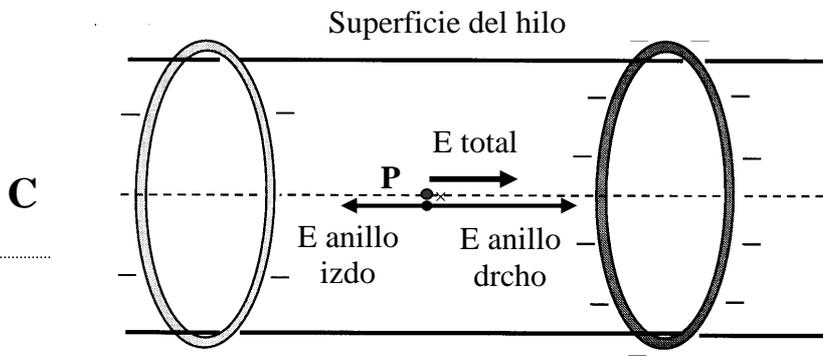
Consideremos ahora, dos anillos muy finos de este tubo de carga, ambos, justo a la derecha del punto C de la figura anterior:



- Dibuja el vector campo eléctrico, debido sólo a los dos anillos considerados, en el punto P señalado entre ambos.
- Dibuja asimismo el campo eléctrico y la velocidad de desplazamiento, en otro punto del interior del conductor (en esta ocasión, situado a la izquierda del punto C), teniendo en consideración únicamente la contribución de los anillos de carga más próximos al punto.
- Bajo esta perspectiva, razona si el campo eléctrico en el interior del hilo dependerá de la cantidad superficial de carga o bien de la diferencia (gradiente) de carga, de los anillos situados a uno y otro lado del punto en cuestión.
- Justifica la distribución superficial de cargas dada en el circuito completo.

Comentario:

Una mayor cantidad de carga en el anillo a la derecha del punto P considerado, nos lleva a considerar un campo eléctrico (superposición del creado por ambos anillos), hacia la derecha.



Si los anillos cercanos al punto tuvieran, hipotéticamente, la misma carga, (podría ser incluso una cantidad de carga enorme) entonces no habría campo, debido a tal circunstancia, en el interior de los alambres. Es entonces la diferencia en la cantidad de carga en los anillos próximos al punto (el gradiente de carga en la superficie de los alambres), lo que determina la intensidad del campo eléctrico.

Para justificar la distribución de cargas de la figura que se presenta, podemos argumentar que, puesto que si el campo creado por las cargas de las placas disminuye con la distancia, entonces en C, deberá ser más pequeño que en E y A. De esa manera, el campo creado por la distribución superficial de cargas en el alambre deberá ser mayor en C (que en E y A) para que, en la situación estacionaria, podamos decir que tiene el mismo valor en todos los puntos del circuito. Este campo en C se justifica, como se ha señalado, en base a un gran gradiente de carga en el entorno a dicho punto, lo contrario que ocurriría en puntos cercanos a las placas de la batería (pequeña variación de carga respecto a la de las placas). De hecho las distribuciones de carga en la superficie de los alambres, en relación con el campo total que actúa sobre los portadores, (en situación estacionaria) son mucho más importantes que el campo que crean las cargas de la batería. Básicamente es así, debido a su proximidad para cualquier zona del alambre conductor.



A.18 Consideremos una sección recta del alambre en la que el número de electrones que entran por segundo es superior al saliente.

- Razona cualitativamente, en base a este modelo, de qué manera se alcanzará el equilibrio estacionario.
- Reconstruye el esquema teórico del apartado anterior para el caso en el que el número de electrones que entran por segundo sea menor que el saliente.

Comentario:

Para una corriente de electrones que entra a una sección del conductor mayor que la que sale de él, obtendremos una mayor concentración de carga negativa en su interior, repeliendo cada vez más la carga que pretende entrar, de manera que se van igualando la corriente de entrada y la de salida.



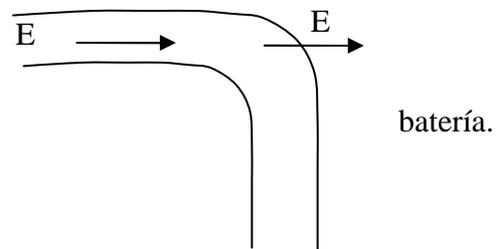
Esta cadena de acontecimientos (*feedback*) implica una autorregulación hasta que las corrientes de entrada y salida se hacen iguales, volviéndose a restablecer el estado estacionario.



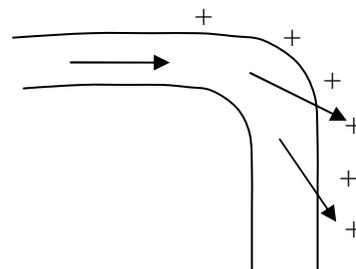
A.19 Razona, de acuerdo con este modelo, de redistribución de carga superficial que ocurriría si doblamos un alambre por el que circula una corriente, ¿Seguirán el campo y la corriente la dirección del hilo?

Comentario:

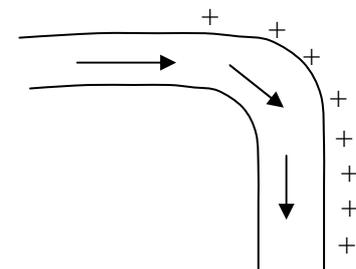
Al doblar el alambre los portadores de carga (consideremos por hacerlo más fácilmente comprensible, positivos) tenderían a continuar su movimiento en línea recta, debido al campo de la



Por tanto, van acumulándose, como se visualiza en la propia figura, en la zona doblada. El campo existente se modifica como consecuencia de las cargas acumuladas en la zona doblada del alambre adaptándose, conforme se acumulan las cargas, a la forma del conductor.



En la situación final, el campo debido a las cargas en la superficie hace posible que se reoriente el flujo de cargas en conformidad con la forma que adopta el conductor. Cálculos publicados en revistas de investigación indican que un solo electrón extra acumulado en el pliegue es suficiente para que la corriente continúe a través de la forma que proporciona el hilo.



La propia naturaleza eléctrica de los diversos materiales que pueden emplearse como conductores, determinan la movilidad de los portadores de carga y su velocidad de desplazamiento por el alambre conductor. No es, sin embargo, el único factor que altera el valor de la corriente en los conductores

(para una diferencia de potencial determinada). En lo que sigue, analizaremos la resistencia que oponen los conductores al paso de corriente

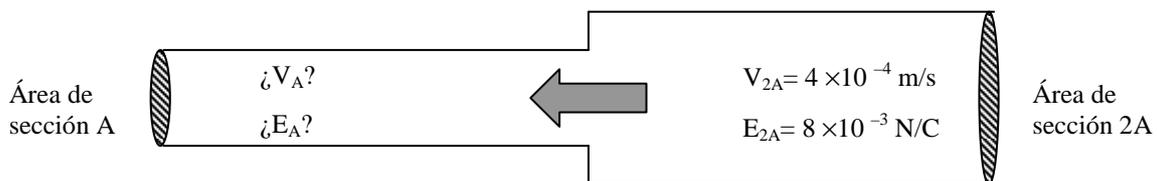


A.20 Supongamos un cable de cobre de sección no uniforme, como el de la figura, dónde la flecha señala el sentido de movimiento de los electrones. Establece el sentido del campo en el interior del cobre.

En el estado estacionario, ¿cuánto valen v_A y E_A ? Razona sobre ello.

Realiza una breve discusión, acerca de lo que supondría que ambas zonas del cable fueran de material diferente.

¿Asocias el estrechamiento del conductor con alguna característica de los materiales?



Comentario:

Operativamente, la corriente de electrones deberá ser igual, en situación estacionaria:

$$i_A = i_{2A} \Rightarrow nAv_A = n 2Av_{2A}$$

El campo en la región gruesa deberá ser menor, lo que hace posible que su velocidad asimismo sea menor (mitad).

Modificar el material implica que el número de electrones libres por unidad de volumen sería diferente y, en consecuencia, velocidad y campo no guardarían la misma proporcionalidad en ambos materiales.

A.21 En un circuito con batería, en la situación inicial, se dispone exclusivamente de un alambre grueso por el que circula una corriente estacionaria. Imagina que instantáneamente pudiéramos cambiar parte de él por otro alambre del mismo material, pero de menor sección. a) Razona lo que ocurriría en la zona estrecha (lo que podríamos considerar como un resistor) y en sus proximidades hasta alcanzarse, de nuevo, el estado estacionario. b) ¿Cuándo finalizará el proceso de redistribución de carga en la superficie del resistor? c) Una vez logrado el estado estacionario ¿qué sucede con el campo y la velocidad de desplazamiento en ambas regiones?

Comentario:

Justo en el momento de modificar el alambre, la menor sección en el resistor nos llevaría a una disminución en la corriente de electrones, en una situación semejante a la actividad anterior, con una acumulación de carga negativa en la

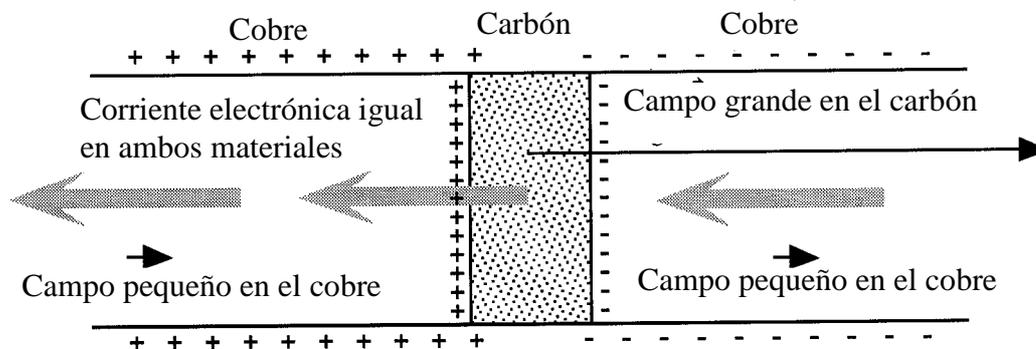
entrada al resistor. Por razones análogas cabe esperar una acumulación de cargas positivas en la salida al resistor. Ello origina en el resistor (debido al gradiente de carga tan elevado en sus extremos) un campo eléctrico intenso hacia la derecha en consonancia con una elevada velocidad en la zona, mayor, por supuesto, que en otras zonas del alambre en las que no haya cambios. De esa manera la corriente de electrones será la misma en todo el alambre, restableciéndose el estado estacionario. Entonces, campo y velocidad serán inversamente proporcionales a la sección del conductor.

En definitiva, el feedback es un mecanismo automático de reajuste en la distribución superficial de carga que se activa hasta restablecer en el alambre el campo eléctrico necesario para alcanzar el estado estacionario.



A.22 Otro interesante caso de resistor, es aquél constituido por un material de baja conductividad (carbón, algunos metales con pequeña movilidad...). En la figura, se representan la distribución superficial de carga, el campo eléctrico y la velocidad de desplazamiento en el resistor y fuera de él. Explica, lo más detalladamente que puedas, el significado de los valores relativos de estas magnitudes en las dos regiones.

Compara los resultados obtenidos en esta actividad y la anterior, para establecer con carácter general lo que sucede (campo y velocidad de portadores) en los resistores.



Comentario:

En las actividades anteriores, analizamos, según el modelo de redistribución de carga en los alambres, la presencia de resistores. La condición de corriente estacionaria propicia que para el mismo material, a una menor sección, los electrones discurran con una mayor velocidad debido a la acumulación de carga en la superficie de contacto de ambos materiales (existe un elevado gradiente de carga en ella) y, por tanto, una mayor fuerza eléctrica sobre los electrones. El campo en la región, debido a la batería y al gradiente superficial de carga, deberá ser mayor, lo que hace posible que su velocidad, asimismo, sea mayor.

Aquí consideramos que el carbón es peor conductor que el cobre, por lo que cabe suponer que su movilidad será menor que. Teniendo en cuenta que las

velocidades son iguales en ambos materiales, tendremos un mayor campo eléctrico en el carbón que en el cobre.



A.23 Completa la siguiente tabla, indicando cuáles son las características de un hilo metálico conductor, según se encuentre en equilibrio electrostático o en estado estacionario.

	Estado estacionario	Equilibrio electrostático
Ubicación del exceso de carga		
Movimiento de los electrones libres		
Campo eléctrico en el interior del metal		

5. ¿Cuál es la influencia de la naturaleza del material y de sus dimensiones, en la corriente eléctrica que circula por él? Ley de Ohm

No existe una regla única, para explicar la dependencia entre el flujo de corriente a través de un material y la diferencia de potencial establecida a través de él. Esto es debido, a que las corrientes pueden pasar a través de una gran variedad de sustancias con características bien diferentes, en cuanto a su composición, estado en que se encuentran...En consecuencia, veremos que dicha relación puede depender de otros factores, como la temperatura a la que se encuentre el material.



A.24 Como ya se ha visto en actividades anteriores, la intensidad de corriente se puede escribir como $I = qnAv = qnAuE$. En la parte derecha de esa expresión hay magnitudes que pertenecen a tres tipos de categorías, a saber: propiedades del material, geometría del conductor y el propio campo eléctrico ¿Podrías decir las magnitudes que pertenecen a cada categoría?

Comentario:

Veamos, n y u hacen referencia a propiedades del material, A tiene que ver con la geometría del material y el propio campo eléctrico E que es debido, en principio, a la fuente (batería).

De $I = qnAv = qnAuE = (qnu) E A = \sigma E A$ con σ la conductividad del material.



Si hacemos $I/A = \sigma E$ evitamos que la magnitud correspondiente dependa de la geometría. Entonces de $I = \iint_A \vec{J} d\vec{A}$ y considerando corriente estacionaria, es decir, que J es constante con el tiempo en todo punto, obtendremos $I/A = J = \sigma E$ conocida como ley de Ohm en forma local, pues es aplicable para puntos del interior del conductor en la que las magnitudes (corriente y densidad de corriente) dependen sólo de las propiedades inherentes al material.



A.25 Teniendo en cuenta que en estado estacionario la densidad de corriente se puede expresar con carácter vectorial como $\vec{J} = qn\vec{v}$. ¿Estarías de acuerdo en que dicho vector tiene siempre la dirección y el sentido del campo eléctrico y, por tanto, el de la corriente, sea cual sea el signo de las cargas que consideremos se están moviendo? Compruébalo (utiliza la fuerza sobre los portadores) para ambos tipos de carga.



A.26 De acuerdo con las conclusiones de la actividad anterior, relaciona el sentido de la corriente eléctrica con la diferencia de potencial que pudiera haber en diferentes zonas de un cable conductor.

Comentario:

Se intenta que los estudiantes relacionen la corriente, o la densidad de corriente, con el movimiento de cargas positivas en el sentido de los potenciales decrecientes (o en el sentido del campo) en coherencia con la conocida relación entre campo y gradiente de potencial.



A.27 Considera que disponemos de un hilo conductor de sección transversal constante A , longitud L , composición uniforme y una diferencia de potencial entre sus extremos ΔV .

a) Demuestra que la intensidad de corriente se puede expresar como:

$I = \frac{|\Delta V|}{L/\sigma A}$. Puedes utilizar la relación entre ΔV y \vec{E} ya vista en capítulos

anteriores, así como que encontrándonos en estado estacionario, entonces:

$$I = J A.$$

b) Suele ser práctico aglutinar en un mismo parámetro las propiedades de un material y su geometría. ¿Encuentras en la expresión anterior algo que pudiera ser la 'resistencia eléctrica'?



A.28 En la actividad anterior se ha llegado a la conclusión de que: $I = (\Delta V)/R$; a esa expresión se le suele denominar ley de Ohm. Parece evidente que la expresión anterior, matemáticamente, es idéntica a $\Delta V = IR$.

A la vista de ello, un estudiante afirma que: “El paso de una intensidad de corriente I por un resistor, que tenga una resistencia R , produce entre los extremos de dicho resistor una diferencia de potencial, ¿estarías de acuerdo con él? Materiales óhmicos y no óhmicos.

Comentario:

Es frecuente, entre los estudiantes, considerar la corriente eléctrica como la causa de que se establezca una diferencia de potencial entre los puntos por los que circula. Es conveniente eliminar esta idea y de ahí la necesidad de afrontarla.



Ha debido quedar establecido en la explicación del profesor que, para los materiales óhmicos a una temperatura dada, la resistencia es constante y no depende del valor de la corriente, ni de la diferencia de potencial establecida: $(\Delta V)/I = R = \text{constante}$. En todo caso, convendría precisar que en los materiales no óhmicos la relación $(\Delta V)/I = R$ es correcta; lo que no es cierto es que ese cociente (que coincide numéricamente con la resistencia del material) sea constante. Llegados a este punto, es conveniente representar gráficas para diferentes materiales.



A.29 ¿A qué se deben las descargas eléctricas en el cuerpo humano: a la corriente o al voltaje? Efectos fisiológicos.

Comentario:

La naturaleza eléctrica de los impulsos nerviosos explica la sensibilidad del cuerpo a las corrientes eléctricas externas. Se trataría de que los estudiantes conozcan, a través de búsqueda bibliográfica, sobre los efectos que pueden producir en el organismo de los seres vivos distintas intensidades, en función de la resistencia que opone el cuerpo al paso de corriente.

6. Análisis energético del circuito. Baterías ideales y reales

Las baterías permiten trabajar con flujos continuos de carga muy grandes, en base a diferencias de potencial muy pequeñas. En concreto, las pilas voltaicas proporcionan uno de los vínculos esenciales entre la física y la química, ya que la energía proporcionada surge de la ruptura y formación de enlaces químicos que se dan entre los electrodos y el electrolito.

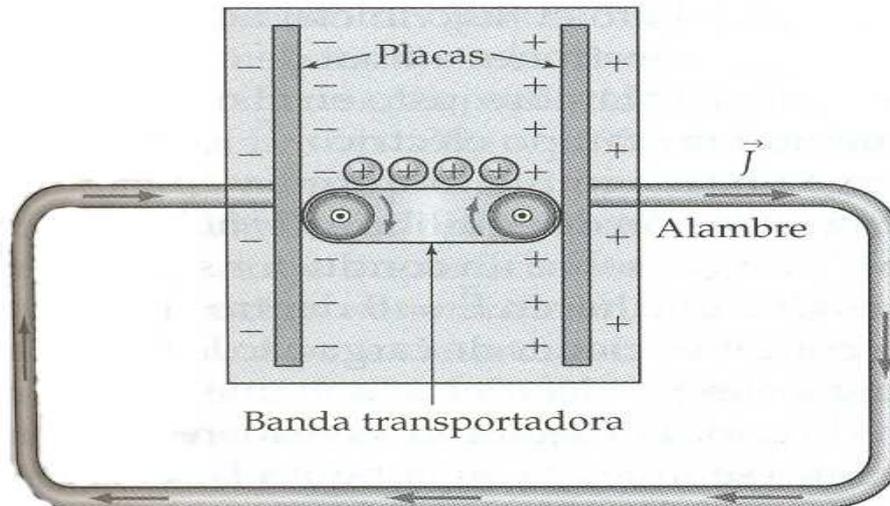
Comenzaremos por considerar inicialmente baterías ideales para, a partir de ellas, establecer las baterías reales. Una batería ideal, sería aquélla que mantiene una diferencia de potencial constante entre electrodos, independientemente del flujo de carga entre ellos.



A.30 Consideremos una batería mecánica ideal (resistencia interna nula) en circuito abierto, es decir sin encontrarse conectada.

Indica las fuerzas existentes en el interior de la batería y la relación entre ellas a lo largo del tiempo.

Conectemos, a continuación la batería al circuito cerrado de la figura:



- ¿Ha cambiado la relación entre las fuerzas en el interior de la batería?
- Calcular el trabajo realizado por el campo que hay en el alambre, para llevar un electrón desde la placa negativa a la positiva a través del hilo de longitud total L . Recordar que el campo eléctrico en el interior del hilo, es uniforme.
- ¿Cambiaría el resultado si en el alambre de la misma longitud L , tuviéramos más pliegues o recodos?
- ¿Cuál es el trabajo realizado por el campo eléctrico, cuando un electrón completa el circuito y pasa desde la placa positiva a la negativa por el interior de la batería, para finalmente regresar a la positiva por el hilo? Recordar el carácter conservativo del campo eléctrico.

Comentario:

Debería de proporcionarse una información en base a consideraciones del tipo siguiente:

Consideremos la batería en circuito abierto y descargada. El dispositivo mecánico llevará electrones desde la placa positiva a la negativa, a través de la fuerza ejercida por el motor. Según se vayan cargando las placas aparecerá entre ellas, cada vez con mayor intensidad, un campo electrostático, origen de una fuerza que se opone a la anterior, hasta que ambas alcanzan una situación de equilibrio (máxima carga en placas).



Cuando se conecta la batería en el circuito, si no hay resistencia en el interior de la batería (batería ideal), ambas fuerzas se compensarán, alcanzándose en el circuito el estado estacionario.

La diferencia de potencial entre terminales establece un campo eléctrico en el conductor y un flujo de corriente a través de él. El aumento de energía potencial de los electrones, al pasar entre placas a través de la batería ideal, se compensa con la disminución de energía potencial manifestado por los mismos, al pasar por el cable.

El cálculo del trabajo realizado por E para llevar un electrón por el cable de longitud L, será $(qE)L$, con el campo constante a lo largo de todo el alambre, mientras el trabajo realizado por el mecanismo de la batería para llevarlo por su interior una distancia s, es $F_{NC} s$. Conviene reparar que en estado estacionario la energía del sistema no cambia y, por tanto, en el circuito cerrado de la figura: $(qE)L = F_{NC} s$.

Con pliegues o recodos no cambiaría el resultado, pues, por efecto del feedback, el campo sería siempre uniforme y paralelo al hilo.

Consideremos a partir de ahora baterías reales (según un modelo mecánico de paso de carga entre terminales, que se realiza a través de una correa de transmisión), donde, al contrario que en las baterías ideales, la d.d.p. entre los terminales de la batería depende numéricamente de la resistencia (interna) que tiene la propia batería al paso de las cargas.

A.31 Disponemos de una batería real (es decir, el movimiento de electrones provoca una fuerza de fricción en sentido contrario a su movimiento), dentro de un circuito cerrado.

- Dibuja las fuerzas sobre los electrones, haciendo una valoración de su magnitud y estableciendo cuál es la fuerza neta sobre ellos.
- ¿Cómo se repone la carga eléctrica que pasa entre ambas placas?

Comentario:

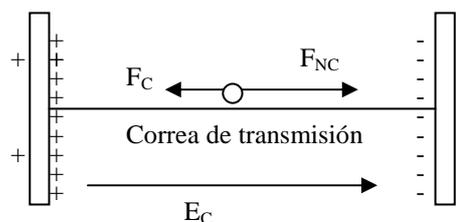
Al transportar la batería (a través de su correa de transmisión) los electrones desde la placa + a la placa -, estos se encuentran sometidos a dos fuerzas.

La fuerza conservativa ejercida por las placas cargadas sobre los electrones y la fuerza no conservativa debida a la acción del motor. Ambas se oponen:



$$F_{\text{neta}} = F_{NC} - F_C = F_{NC} - q E_C$$

En general la fuerza no conservativa resulta ser algo mayor que la fuerza conservativa, debido a la fricción del mecanismo.



La carga eléctrica que pasa entre placas se repone a través de la corriente por los alambres, en situación estacionaria.



A.32 Haciendo uso de la ley de Ohm con carácter local ($\vec{J} = \sigma \vec{E}$) y del resultado obtenido en la actividad anterior, calcula:

- El campo eléctrico conservativo en la batería.
 - La diferencia de potencial entre las placas de la batería.
- Concepto de fem de la batería

Comentario:

De $J = \sigma E = \sigma (F_{\text{neto}} / q) = \sigma (F_{\text{NC}} / q - E_C) = I / A$, obtenemos despejando el campo:

$$E_C = (F_{\text{NC}} / q) - (I / A \sigma)$$

De $\Delta V_{\text{bat}} = E_C s$, y sustituyendo en la expresión anterior:

$$\Delta V_{\text{bat}} = (F_{\text{NC}} s / q) - (sI / A \sigma)$$

y entonces: $\Delta V_{\text{bat}} = \text{fem} - I r_{\text{int}}$ quedando descrita la fem de una batería



A.33 a) ¿Cuál debería ser el tamaño de las placas de una batería de automóvil, sabiendo que necesita para el arranque una gran intensidad de corriente y, por tanto, una pequeña resistencia interna?

b) ¿Por qué con el paso del tiempo las baterías se vuelven inservibles?

c) Para comprobar que la batería de un automóvil se encuentra en condiciones defectuosas, se procede a medir la tensión en sus bornes en situación de funcionamiento (por ejemplo con las luces encendidas). Razona si es correcta o no, esta afirmación.

Comentario:

Se observa, que cuanto menor sea la resistencia interna pasa una mayor intensidad de corriente. Esto es absolutamente necesario para el motor de arranque de los automóviles, que necesita de una gran corriente. Es conveniente, por tanto, que la batería del coche tenga unos grandes electrodos metálicos (gran sección A), para que su resistencia interna disminuya en el transporte de iones.

La diferencia de potencial obtenida en bornes de la batería viene dada por la expresión:

$$\Delta V_{\text{bat}} = \text{fem} - I r_{\text{int}}$$

de tal manera que la fem no varía; pero si lo hace la resistencia interna de la batería que, con el paso del tiempo, va aumentando hasta que eventualmente se hace tan grande que la diferencia de potencial que proporciona la batería, es insuficiente para el funcionamiento del circuito, en el que se haya inmersa. Para comprobar la batería, debemos de tener en cuenta la diferencia de potencial en bornes y no la fem; por lo que necesitamos valorar el producto $I r_{\text{int}}$ para poder estimarla.



A.34 Cuando la batería de un automóvil se descarga, es habitual observar que, para volverla a cargar, se efectúa su conexión a través

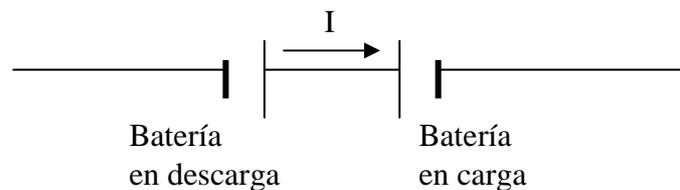
de cables a la batería de otro automóvil.

a) Ayudándote de algún esquema o dibujo, explica cómo efectuarías las conexiones.

b) ¿Qué sucedería ante una conexión incorrecta de las baterías? Para comprenderlo mejor, puedes dar a las baterías sus valores típicos y calcular la intensidad de corriente en tal caso.

Comentario:

La batería en buen estado evidentemente deberá estar descargándose y la batería en mal estado, cargándose:



La batería en descarga lanza a los portadores de carga a la batería a cargar, de tal forma que al entrar en ésta última disminuyen su energía potencial, al almacenarse precisamente en ella, dicha cantidad de energía.

Una conexión incorrecta implica que ambas baterías tienen unidos sus bornes de distinto signo; es decir, ambas están descargándose (o cargándose). Cargándose ambas no pueden encontrarse, porque alguna debe proporcionar la corriente que pase por el circuito y que posibilite una disminución de energía potencial de los portadores, que se acumule en la batería a cargar. Descargándose tampoco, ya que la energía en ambas baterías aumentaría a costa de disminuir la energía almacenada en ellas.

En cualquier caso las fem se sumarían en vez de restarse, con lo que la corriente sería enormemente elevada, pudiendo explotar ambas baterías produciéndose un chaparrón de ácido hirviente.

$$\text{Típicamente: } I = \sum \varepsilon / \sum \text{ resistencias} = 12 + 11 / 0.05 = 460 \text{ A}$$



7. ¿Cómo aplicar, de manera comprensiva, las leyes de Kirchhoff en circuitos sencillos?

Las leyes de Kirchhoff que se emplean en circuitos eléctricos, en realidad no constituyen otra cosa que las leyes de conservación de la carga aplicada a un nodo y de la conservación de la energía para cargas que se desplacen a lo largo de una trayectoria cerrada. Vamos a aplicarlas aquí, como ejercicio, a la unión de varios condensadores que han sido previamente cargados, para que desprovistas de sus aspectos más operativos y reducidas a lo más elemental (se

prescinde de la resistencia de los alambres) nos ayuden a profundizar en su significado.



A.35 Dos condensadores de capacidades C_1 y C_2 se conectan en serie a un generador de V voltios.

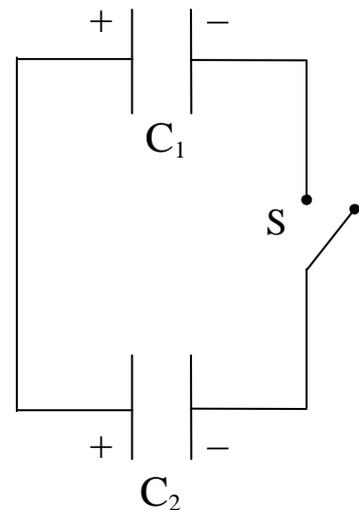
Una vez cargados, se desconectan del generador y se disponen de la forma que indica la figura.

Cerramos el interruptor S , que los une.

¿Habrá movimiento de cargas en el circuito si

$C_1 = C_2$?

En caso afirmativo, ¿en qué sentido?



Comentario:

Pensamos de nuevo en poner en claro, cuál es la causa de la corriente eléctrica en circuitos con condensadores. Se deberá incidir en el criterio de potenciales y que en el caso de estar conectados como en la figura, no debe haber corriente eléctrica, ya que ambos condensadores tienen la misma diferencia de potencial entre placas. Es conveniente también discutir el resultado en función de los campos marginales creados por las placas de cada condensador en los alambres (al respecto, ver actividad A.24 de la lección de condensadores).

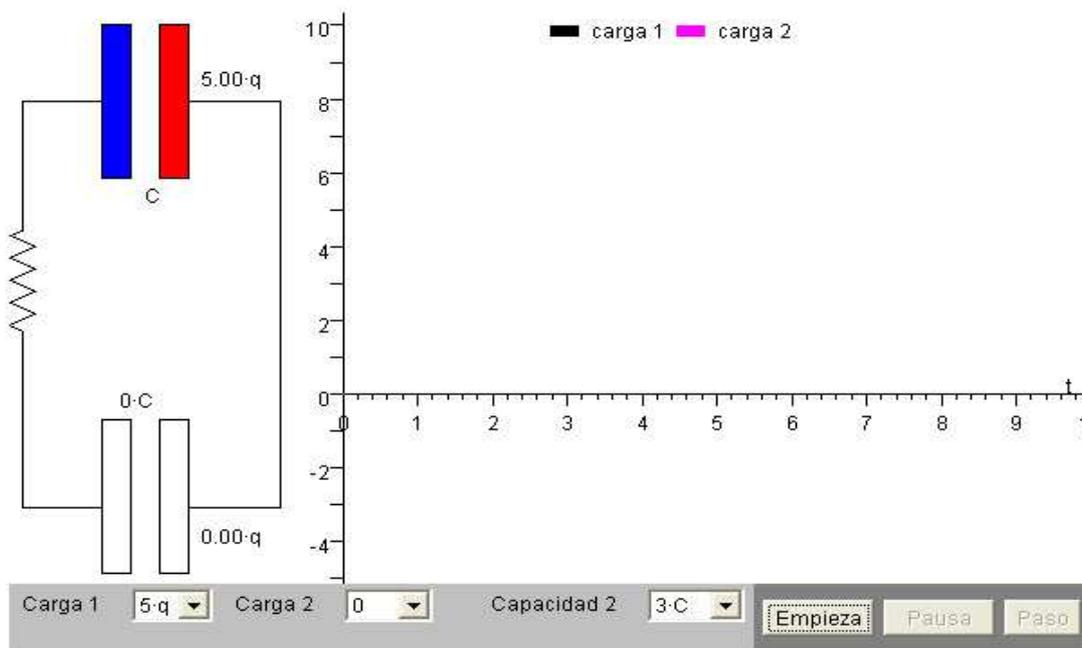
Los campos eléctricos se oponen y como son iguales nos lleva a considerar que no habrá movimiento de cargas.



A.36 En la actividad anterior, una vez cerrado el interruptor que une los condensadores. a) ¿Habrá movimiento de cargas en el circuito, si $C_1 > C_2$? ¿En qué sentido?

b) Considera $C_1 = 2C_2$ para una carga en placas de ambos condensadores de $3Q$, siendo Q un número cualquiera de cargas. Razona la situación de equilibrio en función de las leyes de conservación de la carga y de la energía.

c) Ve al fislet 'Asociación de condensadores', y elige algún valor de C_1 entre los permitidos. Modifica los valores de la carga inicial en los condensadores y comprueba el sentido de la corriente y la situación de equilibrio final para diferentes elecciones de carga.



Comentario:

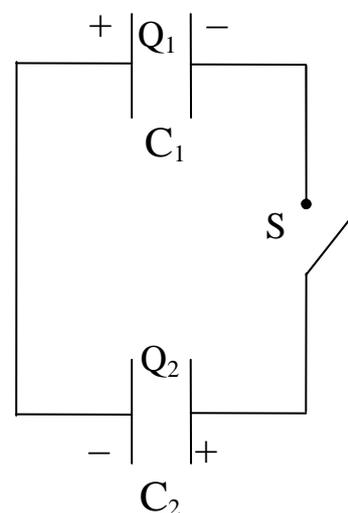
Añadimos otra variable a la situación inicial, al plantearse que los voltajes de los condensadores son, en este caso, diferentes. El sentido de la corriente se establece al valorar que V_2 es mayor que V_1 en la agrupación serie, con lo que la corriente será horaria. Se encuentra de acuerdo con la actividad A.24 de la lección de condensadores, donde se veía el campo eléctrico creado por los condensadores en el exterior de ellos, en concreto en el alambre próximo. Para $C_1 > C_2$, y ambos condensadores con la misma carga, el campo creado por el segundo condensador (horario) será más intenso que el del primero (antihorario), por lo que será decisivo para establecer una corriente horaria en el circuito. A la ley de conservación de la energía (ley de mallas) se le suma ahora la aplicación de la ley de conservación de la carga (ley de nudos), que en situaciones de mayor dificultad (como la que se afronta a partir de la siguiente actividad), se constituyen en básicas para la comprensión de circuitos eléctricos. En este caso tendremos $6Q$ en total, para distribuir proporcionalmente a las capacidades, y si $C_1 = 2C_2$, entonces pasará Q desde el condensador inferior al superior, para alcanzarse el equilibrio con $4Q$ para el primer condensador y $2Q$ para el segundo condensador.



A.37 Dos condensadores de capacidades C_1 y C_2 se conectan en serie a un generador de V voltios.

Una vez cargados, se desconectan del generador y se disponen de la forma que indica la figura (como en la A.35 pero con la polaridad en la conexión cambiada). Cerramos el interruptor S , que los une.

¿Habrá movimiento de cargas en el circuito si $C_1 = C_2$?



En caso afirmativo, ¿en qué sentido?

Comentario:

La misma carga en ambos condensadores nos lleva a una recombinación de carga entre placas (ver asimismo criterio de campo) hasta que ambos quedan descargados en la situación final de equilibrio. De esa manera, al no haber caídas de potencial, se cumple la ley de mallas.



A.38 Consideremos dos condensadores de capacidades C_1 y C_2 . Han sido cargados de forma independiente con fuentes de tensión diferentes, de valores V_1 y V_2 voltios respectivamente.

Una vez cargados, se disponen de la forma que indica la figura.

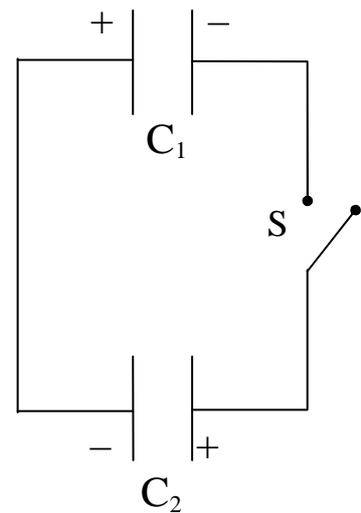
Cerramos el interruptor S , que los une.

a) ¿Habrá movimiento de cargas en el circuito? En caso afirmativo, ¿en qué sentido?

b) Considera el caso particular en que $C_1 = 2 C_2$ y que, como consecuencia del voltaje proporcionado, sea $Q_1 = 5Q$ y $Q_2 = 2Q$, siendo Q un número cualquiera de cargas. Razona acerca de la situación de equilibrio en base a las leyes de conservación de la carga y de la energía.

c) Ve al fislet anterior y comprueba tus repuestas en la simulación, no sólo para este caso sino para otros valores de capacidad y carga que la simulación te permita elegir.

d) ¿Qué sucederá en el caso particular en que ambos condensadores de capacidades diferentes, C_1 y C_2 , hayan sido cargados bajo el mismo voltaje y unidas sus placas de diferente signo? ¿Crees que pasará corriente por el circuito? Compruébalo en el fislet.



Comentario:

Para el apartado a) no se cumple, en principio, la ley de conservación de la energía, lo que llevaría a establecer una corriente en el circuito.

Para el apartado b), interesa que los estudiantes razonen a nivel microscópico (carga a carga). Veamos:

Al pasar Q cargas + (sentido antihorario) desde C_1 hasta C_2 tendríamos $4Q$ para el primer condensador y Q para el segundo, con lo que las caídas de potencial en ambos condensadores serían diferentes.

Al pasar otras Q cargas + desde C_1 hasta C_2 nos encontramos con $3Q$ para el primer condensador y el segundo condensador quedaría descargado, las caídas de potencial en ambos condensadores siguen siendo diferentes.



Finalmente al pasar otras Q cargas $+$ en el mismo sentido tendremos $2Q$ para el primer condensador y Q para el segundo. Repárese en que el segundo condensador ha cambiado la polaridad de sus placas, en este último movimiento de cargas. Ahora, las caídas de potencial en ambos condensadores son iguales (cargas proporcionales a capacidades y además la suma de ellas en el circuito será cero: la polaridad es la adecuada). Por supuesto que se preserva la ley de conservación de la carga, debido al punto de vista microscópico adoptado en el paso de cargas entre las placas de los condensadores en contacto eléctrico.

Abordamos ahora, los fundamentos en los que se basan los aparatos de medida más comunes bajo un punto de vista doble: por un lado, como aplicación de las leyes de conservación y por otro, bajo un punto de vista más relacionado con la metodología didáctica.

8. ¿Modifican los aparatos de medida las magnitudes características de los circuitos eléctricos?

Los aparatos de medida que más se emplean en circuitos eléctricos son los amperímetros y voltímetros. Ambos aparatos están constituidos básicamente por un galvanómetro, que presenta su propia resistencia al paso de corriente. Como consecuencia, tanto amperímetros como voltímetros al intercalarlos en el circuito, influyen en la medida modificando los valores que deseamos tomar. Es razonable, por tanto, que nos planteemos minimizar estos efectos.



A.39 Galvanómetros: resistencia del galvanómetro y medidas a fondo de escala. Sensibilidad.

Comentario:

La parte más importante de todo multímetro analógico es el cuadro móvil del medidor básico. El tipo más común de medidor, se basa en el galvanómetro D'Arsonval: consta de una bobina de alambre muy fino montada de tal manera, que pueda girar sobre un pivote cuando se encuentra con un campo magnético proporcionado por un imán permanente. La bobina está unida a un resorte. En la posición de equilibrio, sin circular corriente por la bobina, la aguja se encuentra a cero.

Al pasar una corriente por la bobina, en presencia del campo magnético, actúa sobre ella una fuerza magnética que produce un momento que la obliga a girar, hasta que el resorte detiene su rotación a través de un momento de torsión proporcional al desplazamiento angular.

Cuanto mayor sea la corriente que pase por la bobina, mayor será la fuerza que actúa sobre ella y, por tanto, su giro hasta que se alcance el equilibrio. De esa

manera, la desviación angular de la bobina, y por consiguiente de la aguja, es una medida de la corriente.

El galvanómetro presenta dos características importantes que lo limitan, y que son, su propia resistencia R_g al paso de la corriente, que generalmente es muy elevada, debido al pequeño diámetro del hilo usado en la bobina (del orden de 10 a 1000 ohmios) y la intensidad de corriente necesaria para producir una desviación a fondo de escala (suele estar comprendida entre $5 \mu\text{A}$ y 10mA). La máxima desviación de la aguja, es precisamente la llamada desviación a fondo de escala.



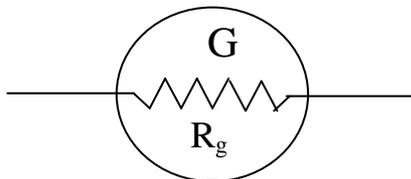
Con objeto de ampliar el rango de medidas del aparato se dispone de varias resistencias que pueden ser conectadas con el detector de corriente a través de un conmutador. De esa manera se puede cambiar la escala de medida del aparato, ofreciendo el aparato diferentes posibilidades en función de la medida a efectuar.

Normalmente se habla de gran sensibilidad de un aparato cuando está en condiciones de medir, para intensidades de corriente pequeñas.

La característica más importante de un aparato de medida, es que su introducción en el sistema no debe de alterar de manera apreciable el valor de la magnitud a medir.



A.40 Podemos representar simplificada un galvanómetro G , de la siguiente manera:

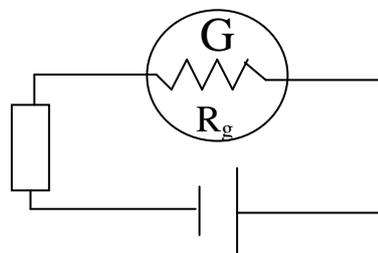


¿Cómo situarías un galvanómetro en un circuito, para medir la corriente eléctrica que pasa por una rama de él? Haz un esquema, que te ayude a razonar.

¿Cómo interesa que sea el valor de su resistencia para que la corriente se perturbe lo menos posible, al situar el aparato de medida?

Comentario:

De acuerdo con la descripción de la actividad anterior, deberá conectarse en serie con la rama en la que deseamos conocer la corriente, para que pase por ambos, (rama y galvanómetro), la misma intensidad.



La introducción del galvanómetro disminuye la corriente que pasa por la rama, al sumar una mayor resistencia en la malla. La resistencia del galvanómetro debe ser muy pequeña, para que altere en la menor medida posible la corriente que pasa por el propio galvanómetro y, por tanto, por el elemento dado. Debemos de

considerar que la intensidad del circuito disminuye, consecuencia del aumento de resistencia equivalente.

A.41 ¿Es posible conseguir, que la intensidad de corriente que pasa por el aparato de medida se altere aún menos, con respecto a lo ya descrito en la actividad anterior, durante la medición? Razónalo a partir del galvanómetro. Recuerda lo que sucedería con dos resistencias colocadas en paralelo, siendo una de ellas mucho menor que la otra.

De acuerdo con lo explicado acerca de las medidas a fondo de escala, describe otra ventaja en el dispositivo recién visto. Amperímetro

Comentario:

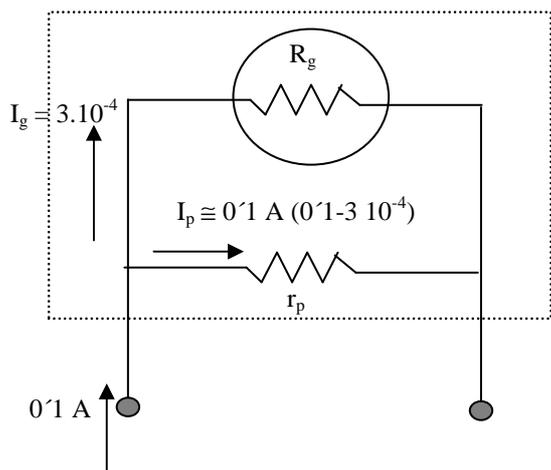
Idealmente, el galvanómetro deberá de tener resistencia cero para no alterar lo medido.

Al conectar al galvanómetro una resistencia pequeña r_p , (en comparación con la del galvanómetro) en paralelo con él, conseguimos que la resistencia equivalente disminuya, para de esa manera distorsionar lo menos posible la corriente del circuito. Entonces $r_p \ll R_g$. Esto es, básicamente, un amperímetro.



A.42 Disponemos de un galvanómetro de resistencia 15Ω para el que una corriente de $3 \cdot 10^{-4} \text{ A}$, proporciona su desviación a fondo de escala. Diseña, a partir de él, un amperímetro que mida a fondo de escala 0.1 A . ¿Cómo se podría diseñar un amperímetro multiescala?

Comentario:



Se habrá de colocar una resistencia en paralelo (llamada shunt) del valor señalado:

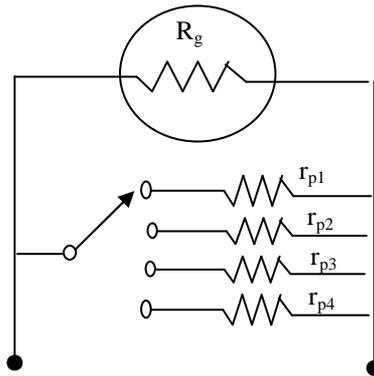


$$\Delta V = r_p I_p = R_g I_g$$

$$r_p \cong 45 \cdot 10^{-3} \Omega$$

Con esta disposición, además, se distorsiona en menor grado la medida por parte del amperímetro.

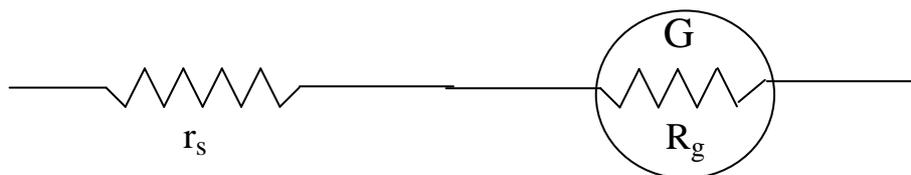
Si modificamos la resistencia equivalente al dispositivo (básicamente la resistencia paralelo) modificamos la escala del aparato. De esta manera empleando valores diferentes para r_p , por medio de un conmutador, podremos construir un amperímetro multiescala. El conmutador será del tipo cortocircuitado (contacta antes de abrir), para que el cuadro móvil esté unido al shunt incluso cuando se conmutan las escalas. De no ser así, el cuadro móvil recibiría toda la corriente en el momento de efectuar el cambio de escala, podría quemarse y quedar inutilizado.



A.43 Sintetiza, tratando de clarificar tus ideas, acerca de cómo construirías un amperímetro. Efectúa una valoración acerca de cómo deben ser las resistencias en el dispositivo, para medir corrientes adecuadas para situaciones diversas.



A.44 Un voltímetro, apto para medir diferencias de potencial, puede representarse como un galvanómetro G , en serie con una resistencia r_s .



a) ¿Cómo y por qué se implementa en el circuito, respecto a los dos puntos cuya diferencia de potencial deseamos medir?

b) ¿Cómo debe ser la resistencia r_s , para que la medida efectuada afecte lo menos posible a lo medido?

Comentario:

Se implementa en el circuito, en paralelo, entre los extremos del elemento cuya diferencia de potencial deseamos medir, con el objeto de que la d.d.p. entre los extremos de ambos (elemento a medir y voltímetro), sea la misma.



Un voltímetro ideal tiene una resistencia infinita, para que de esa manera no pase corriente a través de él. De hecho, a la resistencia serie r_s , se le llama multiplicador. Entonces, prácticamente, pasaría toda la corriente a través del elemento cuya d.d.p. queremos medir, sin modificar la introducción del voltímetro la medida a efectuar.



A.45 ¿Cómo podríamos convertir el galvanómetro anterior, (resistencia $R_g = 15 \Omega$ y desviación a fondo de escala para una corriente de $3 \cdot 10^{-4} \text{ A}$), en un voltímetro cuya máxima lectura fuera de 10 V ?
¿Cómo afecta el valor de la resistencia serie, a los datos obtenidos?

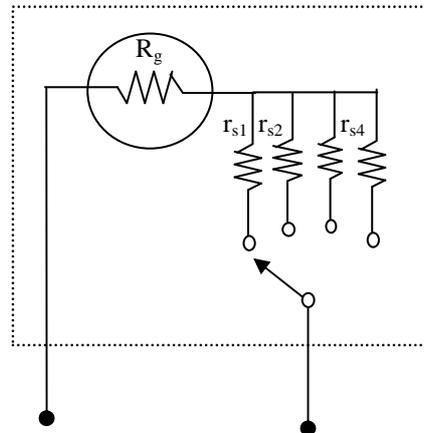
Diseña un voltímetro multiescala.

Comentario:

Colocaremos en serie con el galvanómetro una resistencia del valor que indicamos:

$$V_R = 10 = I_g (R_g + r_s) \text{ entonces, } r_s \cong 33318 \Omega$$

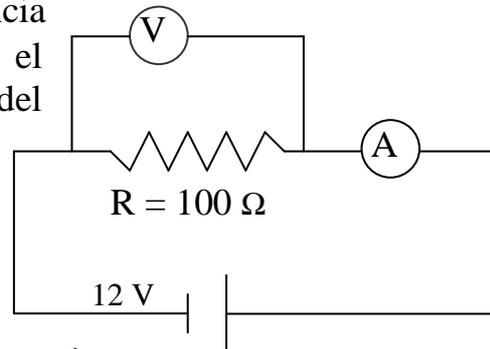
Al igual que se comentaba en el amperímetro, aquí también podemos diseñar un voltímetro multiescala por medio de varias resistencias multiplicadoras r_s y un conmutador que, en este caso, será no cortocircuitado. Al conmutar diferentes escalas, el voltímetro queda momentáneamente abierto. De no ser así, quedarían conectados (en el cambio de escala) dos multiplicadores r_s en paralelo, disminuyendo entonces su resistencia y haciendo que pase mayor corriente por el voltímetro. Esto produciría una sobrecarga del cuadro móvil, así como un mayor error en la medición.



Cuanto mayor sea la resistencia serie que elijamos, mayor será el margen de escala que nos proporciona el medidor.

A.46 Pretendemos medir una resistencia R (en realidad de 100Ω), mediante el circuito de la figura. La resistencia del voltímetro es de 2000Ω y la del amperímetro $0,002 \Omega$.

- a) ¿Qué error cometemos al calcular R como V/I , donde V es la medida del voltímetro e I es la medida del amperímetro?



- b) Diseña una distribución de voltímetro y amperímetro, ligeramente distinta a la anterior, que minimice el error cometido al calcular R como V/I .

Comentario:

En el circuito, V mide la caída de potencial entre los extremos de la resistencia; sin embargo, A mide la corriente por todo el circuito, incluyendo la que pasa por V .

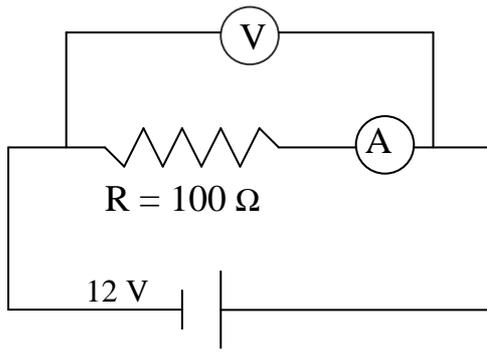
Midamos la corriente que detecta A :

$$I_A \cong 12 / 95,240 = 0,126 \text{ A y entonces si medimos } R \text{ como } V / I, \text{ tenemos:}$$

$$R = V / I = 12 / 0,126 = 95,240 \Omega \text{ que difiere del valor real de } 100 \Omega \text{ en aproximadamente un } 5\%.$$

Resultado lógico ya que al conectar el voltímetro, su resistencia es 20 veces mayor que R y se incrementa la corriente en un 5%





Esta es una distribución mejor que la de la figura propuesta en el enunciado, pues A mide ahora la corriente que pasa por R y por el mismo Amperímetro cuya resistencia es mínima, $0,002\Omega$. Ahora bien V mide la caída de potencial no sólo en R sino también en el Amperímetro.

Ahora el error cometido será aproximadamente del 0.002 % ya que la resistencia de A es sólo el 0.002 % de R.

El ejercicio se basa en el llamado método amperímetro-voltímetro para la medida de resistencias.