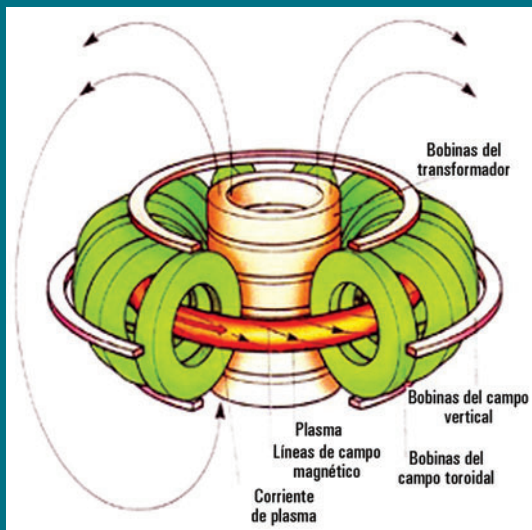
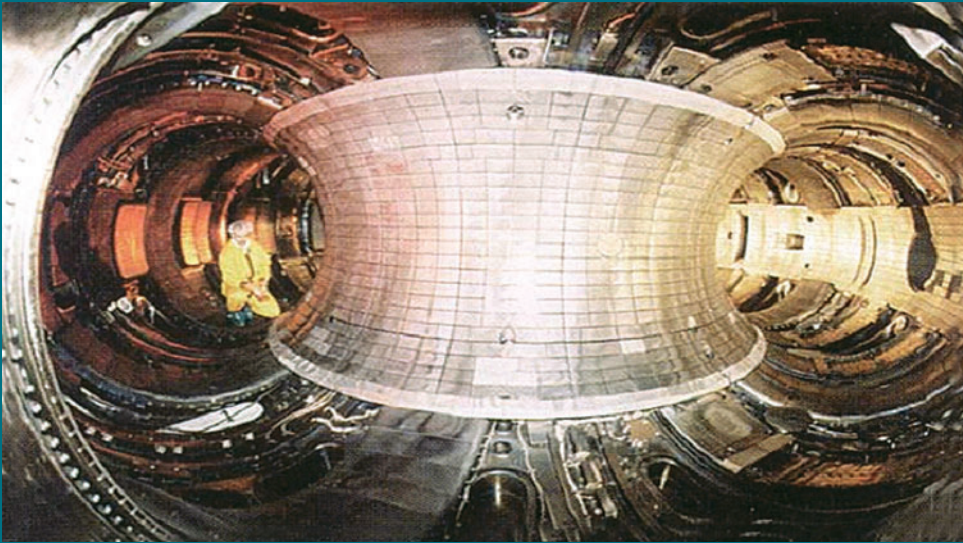


Fundamentos de electrodinámica



● Reactor experimental de fusión en la China, destinado a la obtención de energía eléctrica a partir de una reacción nuclear que transforma hidrógeno en helio. Para mantener en su sitio el chorro de plasma de hidrógeno a cien millones de grados, en rojo en el esquema, por las bobinas circularon doscientos mil amperes durante los tres segundos que duró la primera prueba, en 2006. Esa clase de reacción nuclear, semejante a la que ocurre en el Sol, no deja residuos peligrosos.

Fundamentos de electrodinámica

● Corriente eléctrica

La electrodinámica es el estudio de las corrientes eléctricas, o sea el del movimiento de las cargas.

Una corriente es el desplazamiento de cargas de cualquier clase; por ejemplo electrones en un conductor, en un líquido, en un gas o en el vacío, o bien protones en los mismos medios. También son corrientes los movimientos de cualesquiera iones¹ positivos o negativos.

La corriente eléctrica se mide y expresa en *ampere*. Un ampere es la corriente en la que se transfiere un coulomb por cada segundo que transcurre. Si designamos la carga transferida (en coulomb) con la letra Q , el intervalo de tiempo (en segundos) con Δt , y la corriente (en ampere) con I , tenemos:

$$I = \frac{Q}{\Delta t} \qquad 1A = \frac{1C}{1s}$$

Para la corriente se usa I , porque esa magnitud se llama también *intensidad* de corriente, o intensidad a secas. La letra A es el símbolo de la unidad de corriente, el ampere, la C lo es de la unidad coulomb de carga,² y la letra s simboliza el segundo de tiempo. El triángulo o delta mayúscula griega equivale a nuestra D , y significa diferencia, variación o intervalo. Un ampere es un coulomb por segundo,³ y un coulomb, un ampere segundo.

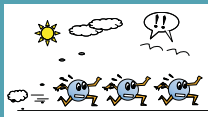
● Historia de la corriente

El hombre está familiarizado con las corrientes eléctricas desde la antigüedad más remota, a través de las descargas de electricidad estática acumulada, entre ellas el rayo. Pero los primeros experimentos con corrientes eléctricas estables los hicieron Giuseppe Galvani (1737–1798) y Alessandro Volta (1745–1820).

¹ Recordemos que un ion es cualquier partícula con carga eléctrica.

² La C de coulomb no se debe confundir con la C de capacitancia, tratada en el capítulo 1. Puesto que hay más magnitudes y unidades físicas que letras de todos los alfabetos de lenguas vivas y muertas, es inevitable usar la misma letra para cosas diferentes. El contexto permite distinguir los significados sin incurrir en errores.

³ La palabra *por*, en este caso, significa *por cada*. Algunos, para evitar confusiones, dicen *coulomb* sobre segundo; pero nadie dice, por ejemplo, que paga por un servicio cien pesos sobre mes, o que visita a sus padres una vez sobre semana.



- Una corriente de un ampere equivale al pasaje de 6,24150975 trillones de electrones (o bien protones) por segundo.

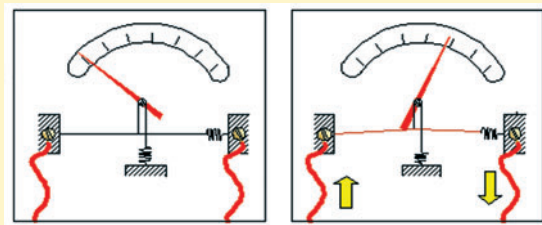


● ALGUNAS CORRIENTES, EN AMPERE

| | |
|-----------------|----------|
| Rayo | 30.000 |
| Central | 20.000 |
| Cables de torre | 1.000 |
| Barrio | 3.000 |
| Edificio | 400 |
| Tostadora | 5 |
| Lámpara | 0,5 |
| Mosquitero | 0,1 |
| Peligrosa | 0,03 |
| Dolorosa | 0,001 |
| Molesta | 0,0001 |
| Nervio | 0,000002 |

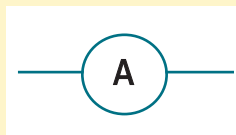
• Medición de corrientes

Los instrumentos o aparatos destinados a medir la corriente eléctrica, o sea los que indican cuántos ampere (o fracciones de ampere) circulan por un conductor, se llaman *amperímetros*. También se usan los nombres miliamperímetro, microamperímetro, nanoamperímetro o kiloamperímetro, según la escala o rango de uso de cada uno. Estos aparatos aprovechan algún efecto de la corriente eléctrica, por ejemplo el de hacerle fuerza a un imán,⁴ el de calentar el alambre por el que circula, o el de generar una diferencia de potencial, o tensión (en este caso llamada *caída de tensión*), en el conductor por el que circula la corriente; entonces la medición de corriente se realiza en este caso indirectamente, a través de una medición de tensión.



- **Amperímetro térmico.** Cuando circula corriente por el alambre horizontal, se calienta, se dilata (aumenta su longitud), se afloja y permite que gire la aguja, fija a una rueda pequeña rodeada por un hilo tenso.

Se desea que el acto de medir altere muy poco la magnitud que se mide. Así pues, un amperímetro debería ser muy parecido a un simple trozo de buen conductor. Para tener presente ese concepto, el símbolo que se emplea para representar un amperímetro es una **A** encerrada en un círculo, del que salen dos conductores gruesos diametralmente opuestos.

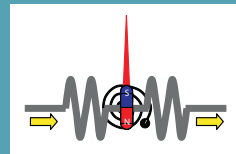


Si por alguna razón se quitase un amperímetro de su sitio, habría que conectar entre sí los cables que había en sus tornillos de conexión, o bornes, para que la corriente pueda seguir circulando con la misma facilidad con que lo hacía a través del instrumento, o mayor. Un buen amperímetro no se debe oponer al paso de la corriente; la resistencia⁵ que le opone debe ser mínima.

El cero de un amperímetro puede estar a la izquierda de la escala, o en otro sitio, si se lo usa para medir corrientes de sentidos opuestos.



- Amperímetro que indica la carga y descarga de una batería de coche. Tiene una bobina de pocas vueltas de alambre muy grueso de cobre, un imán y un resorte. Según el sentido de la corriente, el imán se inclina hacia un lado o hacia el opuesto. (abajo, el esquema).



- **Shunt** para medir corrientes de centenares de ampere, que pasan por los terminales grandes. Entre los pequeños se produce una caída de algunos milivolt, fáciles de medir.

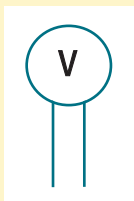
• Medición de tensiones

Los instrumentos para medir la tensión o diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos se llaman *voltímetros*. Los hay de muy diversos tipos. Los más comunes

⁴ Los efectos magnéticos de las corrientes se estudian en los capítulos 8 y 9; aquí anticipamos una referencia a ese fenómeno.

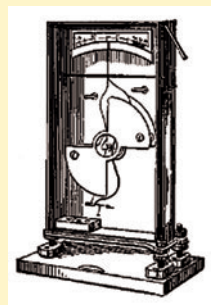
⁵ Enseguida hablaremos con mayor precisión de la resistencia eléctrica.

y antiguos, que todavía se usan, se parecen a los amperímetros, pero en vez de equivaler a un alambre grueso que deja pasar la corriente sin ninguna dificultad, ofrecen, al contrario, mucha resistencia, por lo que las corrientes que los atraviesan son débiles (idealmente nulas), y por eso no alteran mayormente las condiciones de los circuitos o aparatos a los que se conectan. Para reforzar esa idea, se los representa con una **V** encerrada en un círculo, del que salen dos conductores delgados por abajo.



Si por alguna razón se retirase un voltímetro de donde está conectado, simplemente se lo saca, no hay que hacer ninguna conexión como cuando se quita un amperímetro.

Hay voltímetros que realmente no toman ninguna corriente eléctrica, con lo que su presencia no altera en absoluto lo que se mide. Algunos necesitan de pilas, o una alimentación auxiliar. Otros, que hoy son aparatos de museo, no requieren energía extra, por ejemplo el de la figura. Dos piezas conductoras fijas en forma de ocho se conectan a un punto de medición, otra aislada de ellas y de la misma forma es móvil, y resulta atraída por las otras, de acuerdo con la tensión entre ambas.⁶ El retorno a la posición neutra se consigue por gravedad.



Los voltímetros actuales más comunes, aun los muy baratos, miden tensiones con métodos que se tratarán más adelante en los capítulos de electrónica. En términos sencillos, lo que hacen es cargar un capacitor con una carga estándar determinada. Un circuito compara la tensión que alcanzó el capacitor, con la que se está midiendo. Si es inferior, se agrega automáticamente al capacitor otra carga igual, con lo que su tensión se duplica. Si ese duplo sigue siendo inferior a la tensión medida, se repite el procedimiento, hasta que se alcanza la igualdad. Un contador registra la cantidad de veces que hubo que agregar carga, y ese número, quizá corregido con factores de escala, es la tensión medida, que indica una pantalla digital.

Un *circuito* es cualquier conjunto de elementos, conectados entre sí, y por los que circula corriente eléctrica.

● Conexión en serie

La conexión de la figura se llama *circuito serie*. Por todos los cuerpos pasa la misma corriente. Es la conexión que se usa, por ejemplo, en las guirnaladas de luces

⁶ Si hay una tensión, o diferencia de potencial, entre las placas fijas y la móvil, significa que costaría cierto trabajo desplazar una carga de prueba desde una a las otras. Por tanto, entre ellas tiene que existir un campo eléctrico de cierta intensidad. Entonces las cargas de las placas fijas tienen polaridad opuesta a las cargas de la placa móvil. Por lo tanto, se atraen.



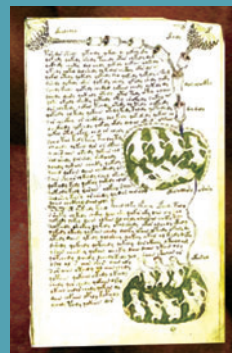
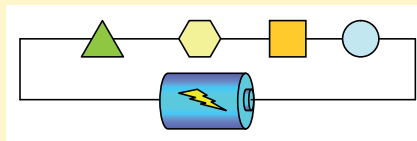
- Económico *multímetro* digital, que sirve como amperímetro y voltímetro, entre otras funciones. Necesita pilas.



- Multímetro de aguja, o analógico. Cuando se usa como voltímetro o amperímetro, no requiere pilas. Su costo es semejante al de uno digital.

de adorno. Si se quema una lámpara de una guirnalda, se apagan todas.⁷

En una conexión en serie la corriente en cada elemento es en cada instante la misma. Las tensiones pueden ser diferentes, pero la suma de las tensiones de todos los elementos conectados en serie a una pila, iguala la tensión de la pila.



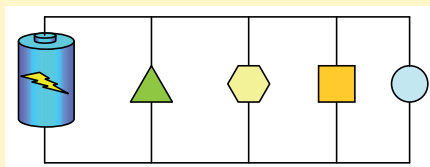
- En el palacio de Salomón (siglo X a.C.) el agua se recogía de los tejados, pasaba por filtros y después por piletas en serie. La que no se usaba había que dejarla correr, para provecho de los demás. Por costumbre hoy seguimos llamando *agua corriente* la que se sirve en paralelo; el agua que no se usa queda encerrada, y no hay que dejarla correr.



- Bypass quirúrgico, o paso paralelo, en una arteria parcialmente obstruida.

• Conexión en paralelo

La figura ilustra un *circuito paralelo*. Es el que se usa en las casas para enchufar los artefactos. Si se apaga uno, los demás siguen funcionando.



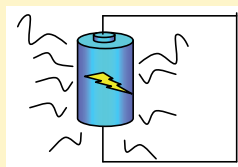
En una conexión en paralelo, la tensión en cada elemento es la misma. Las corrientes pueden ser diferentes, pero la suma de las corrientes de todos los elementos conectados en paralelo a una pila, iguala la corriente que suministra la pila.

La conexión en paralelo también se llama *shunt*, derivación, y baipás (o *bypass*).

Los circuitos que combinan conexiones en serie y en paralelo se llaman circuitos *serie-paralelo*.

• Cortocircuito

Un cortocircuito es la conexión directa del positivo con el negativo de una pila, o entre los contactos de un enchufe.⁸ *Cortocircuitar* es poner algo en cortocircuito, y también unir entre sí los bornes de cualquier aparato, aunque no sea una fuente de energía. Por ejemplo, antes de tocar un capacitor conviene cortocircuitarlo, para que se descargue y no nos dé una sacudida.

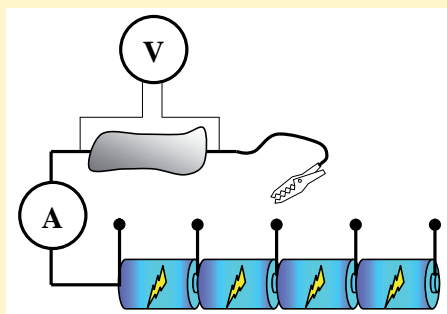


⁷ A algunas guirnaladas les ponen, en paralelo con cada lámpara, un *termistor*, componente que se calienta cuando se quema una; con eso disminuye la resistencia que ofrecía al paso de la corriente, y permite que siga circulando, para mantener encendidas las otras lámparas.

⁸ Los cortocircuitos son, en general, indeseables. En ellos las pilas se calientan, y a veces se rompen y dejan salir líquidos corrosivos. En los enchufes y en las baterías de coches pueden haber chispas, fusión de cables e incendio de las vainas aislantes. Para reducir ese riesgo en las instalaciones, en caso de cortocircuito la alimentación se desconecta automáticamente.

● Ley de Ohm

La *ley de Ohm*, llamada así en homenaje a Georg Simon Ohm (1789-1854), establece que para un cuerpo dado, la corriente y la tensión son directamente proporcionales, o sea que si la tensión en volt aumenta al doble, la corriente en amperes también se duplica.



● Cada pila tiene una tensión de 1,5 V. Según la posición de la pinza cocodrilo, al cuerpo gris se le aplican 0; 1,5; 3; 4,5 y 6 volt. Si ese cuerpo cumple la ley de Ohm, las corrientes estarán en la misma proporción.

La representación gráfica de la tensión en función de la corriente, o de ésta en función de aquella, para un cuerpo que satisface la ley de Ohm, es entonces una recta que pasa por el origen. La pendiente de esa recta, o sea la constante de proporcionalidad entre la tensión y la corriente, se llama *resistencia eléctrica*; se designa con R y se expresa en ohm, cuyo símbolo es la omega griega mayúscula. Tenemos entonces:

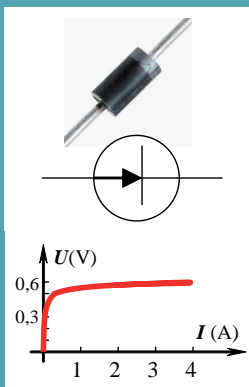
$$R = \frac{U}{I} \qquad 1\Omega = \frac{1V}{1A}$$

R es la resistencia en ohm; U , la tensión en volt; e I , la corriente en amperes. En el ejemplo del gráfico, cuyos valores están inventados, la resistencia del cuerpo vale 15 ohm.

La ley de Ohm no es una ley de la naturaleza, en el sentido que tiene esa palabra en física. Las leyes se cumplen siempre; en cambio hay cuerpos que no cumplen la ley de Ohm. Se la llama ley por costumbre en el ámbito eléctrico.

La resistencia se puede medir directamente con un óhmímetro, o con un multímetro que incluya esa función. Los medidores destinados a medir valores muy altos de resistencia, por ejemplo la de las instalaciones con respecto a tierra, se llaman megóhmetros, gigóhmetros y teróhmetros.⁹

⁹ Los prefijos mega, giga y tera significan, respectivamente, millón, mil millones y billón.



● Los diodos de silicio, muy usados en electrónica, cuya foto, símbolo y curva de tensión versus corriente muestra la figura, no cumplen la ley de Ohm.



● Megóhmetro para comprobar la aislación de instalaciones. La manivela acciona un generador que provee 500, 1.000 ó 1.500 V, a elección.

● Resistencia, conductancia, resistividad y conductividad

La inversa de la resistencia se llama conductancia; se designa con la letra **G**, y se expresa en siemens,¹⁰ en homenaje a Werner von Siemens (1816–1892), investigador eléctrico y fundador de la empresa Siemens & Halske en Alemania.

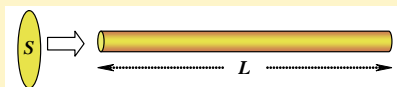
$$G = \frac{1}{R}$$

$$G = \frac{I}{U}$$

$$1S = \frac{1A}{1V}$$

Mientras que la resistencia eléctrica es una propiedad de un *cuerpo*, la resistividad es una propiedad de un *material*. Es como ocurre con el peso y el peso específico; por eso a la resistividad se la llama también resistencia específica.¹¹ Por ejemplo, se puede hablar de la *resistencia* del cuerpo humano entre las manos y los pies, la de un alambre de cobre de cierto diámetro y longitud; la de un amperímetro; la de un voltímetro, y la de una línea eléctrica. En cambio, hablamos de la *resistividad* del cobre, la del aluminio, la del tejido muscular humano, la de la tierra seca, y la húmeda. La relación entre la resistencia y la resistividad para un alambre de cierto material, es la siguiente:

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



R es la resistencia, en ohm, del alambre; **L** su longitud en metros; la letra griega **ρ**, que corresponde a la **r** de nuestro alfabeto latino, representa la resistividad del material, y se expresa en Ω.m, también en Ω.cm, o por comodidad en algunos casos, en Ω.mm².m⁻¹, que se lee: ohm milímetro cuadrado sobre metro. **S** es la sección transversal del alambre, en metros cuadrados.

En el ambiente electromecánico, la conductividad del cobre y otros metales se suele expresar en IACS. Cien IACS equivalen a 58 millones de siemens/metro, y es la conductividad de un cobre de buena calidad eléctrica. La sigla significa *international annealed copper standard*, norma internacional de cobre recocido. Por ejemplo, un alambre trafileado¹² de buen cobre de un metro de longitud y un milímetro cuadrado de sección, tiene una conductividad de cien IACS, ó 58×10⁶ S/m, una resistividad de 0,01724 Ω. mm².m⁻¹, una resistencia de 0,017241 Ω y una conductancia de 58×10⁶ S.

¹⁰ Escribimos el nombre de la unidad siemens con minúscula, porque es un sustantivo común; en cambio su símbolo es la S mayúscula, como el de todas las unidades cuyos nombres provienen del de personas. Así, los símbolos de metro, segundo y kilogramo son m, s y kg; en cambio los de volt, ampere, ohm y siemens son V, A, Ω y S.

¹¹ *Específico* significa concerniente o relativo a la especie.

¹² *Trafilear*, (de *a través e hilo*) es pasar un material por un agujero para hacer una barra o un alambre, como cuando se hacen churros de masa.



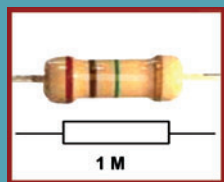
- Antiguamente, la unidad de conductancia, en vez del siemens, era el *mho*, ohm al revés, y se la representaba con una omega griega mayúscula invertida. Los tipógrafos pusieron, con toda razón, el grito en el cielo, y se cambió mho por siemens.



● ALGUNAS RESISTIVIDADES, EN OHM METRO.

| | |
|--------------|-----------------------|
| Plata | 1,59.10 ⁻⁸ |
| Cobre | 1,72.10 ⁻⁸ |
| Aluminio | 2,65.10 ⁻⁸ |
| Hierro | 9,71.10 ⁻⁸ |
| Estaño | 1,20.10 ⁻⁷ |
| Agua de mar | 0,2 |
| Carbón | 50 |
| Agua potable | 200 |
| Agua pura | 100.000 |
| Baquelita | 10 ¹⁰ |
| Madera seca | 10 ⁻¹¹ |
| Mica | 10 ⁻¹³ |
| Aire | 3.10 ¹³ |
| Vidrio | 10 ¹⁴ |
| Polietileno | 10 ¹⁴ |

● Tensión, corriente, resistencia y potencia



- Un elemento cuya única función es la de oponer resistencia al paso de la corriente se llama *resistor* (también se los llama *resistencias*). En la figura, uno de un megohm, y su símbolo. La línea marrón representa la primera cifra, un uno; la negra la segunda, un cero; y la verde, un factor de diez a la quinta. La línea dorada significa un cinco por ciento de tolerancia.

● CÓDIGO DE COLORES PARA RESISTORES.

| | | |
|------------|-------|--|
| Negro | 0 | |
| Marrón | 1 | |
| Rojo | 2 | |
| Anaranjado | 3 | |
| Amarillo | 4 | |
| Verde | 5 | |
| Azul | 6 | |
| Violeta | 7 | |
| Gris | 8 | |
| Blanco | 9 | |
| Dorado | ± 5% | |
| Plateado | ± 10% | |
| Sin banda | ± 20% | |

La precisiones mejores que el cinco por ciento, se indican con números impresos.

De la mecánica recordamos seguramente el concepto de *potencia*, magnitud física dada por el cociente entre la energía transferida en un cierto lapso, y el valor de ese tiempo. Por ejemplo, si se entregan 3.600 joule de energía en un tiempo de una hora, la potencia vale 3.600 J/h, o bien, si convertimos la hora en segundos, (3.600 J) / (3.600 s), o sea un J/s, un watt.

En el capítulo 1 interpretamos la tensión, o diferencia de potencial eléctrico, U , como cociente entre energía y carga, en J/C, o volt. Por otra parte, la corriente I es el cociente entre la carga y el tiempo, en C/s, o ampere.¹³ Entonces, del producto o multiplicación de la tensión por la corriente, resulta la *potencia eléctrica*:

$$U = \frac{\text{Energía}}{Q} \quad I = \frac{Q}{\Delta t} \quad UI = \frac{\text{Energía}Q}{Q\Delta t}$$

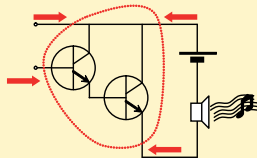
$$UI = \frac{\text{Energía}}{\Delta t} \quad \boxed{P = UI} \quad 1 \text{ W} = 1 \text{ V } 1 \text{ A}$$

Por ejemplo, si por una lámpara conectada a la red eléctrica domiciliaria de 220 V circula una corriente de 0,182 A, la potencia desarrollada es de 40 W, puesto que $40 \text{ W} = 0,182 \text{ A} \times 220 \text{ V}$.

Si aparte de lo dicho tenemos en cuenta que la tensión y la corriente se relacionan con la resistencia mediante la ley de Ohm, $R = U/I$, podemos expresar la potencia no sólo como el producto de la tensión por la corriente, sino también en función de la resistencia eléctrica. Resulta $P = U^2/R$, o bien $P = I^2.R$.

● Primera ley de Kirchhoff

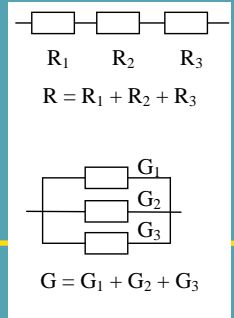
Esta ley, llamada así en honor del científico prusiano Gustav Kirchhoff (1824–1887), establece que en cualquier parte de un circuito, la suma de las corrientes que entran es igual a la suma de las corrientes que salen; o lo que es lo mismo, y si consideramos positivas las corrientes entrantes y negativas las salientes, la *suma algebraica de las corrientes es nula*. Por ejemplo, y sin necesidad de entender cómo funciona



¹³ J simboliza la unidad joule de energía; C, la unidad coulomb de carga; s, la unidad segundo de tiempo, y W es el símbolo de la unidad watt de potencia.

el circuito de la figura, las corrientes de los cuatro cables que entran a la zona punteada, suman cero. En particular, la línea punteada podría rodear sólo un punto de conexiones sin componentes; dicho punto es un *nodo* del circuito.

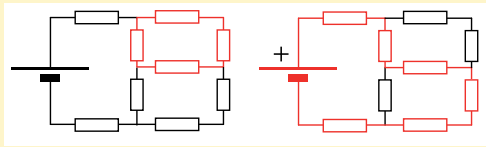
En el esquema, al menos una de las cuatro flechas tiene el sentido errado, puesto que si todas las corrientes fueran entrantes como se muestra, no podrían sumar cero.



- Los resistores en serie equivalen a un solo resistor cuya resistencia sea igual a la suma de las resistencias individuales. En los conectados en paralelo, las que se suman son las conductancias, o sea las inversas de las resistencias.

● Segunda ley de Kirchhoff

La segunda ley de Kirchhoff dice que la suma algebraica de todas las tensiones de una *mall*a siempre suman cero. Se llama *mall*a de un circuito cualquier camino



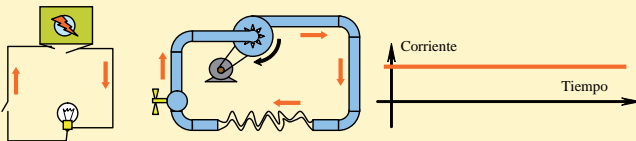
que parta de un punto, pase por conductores y componentes, y vuelva al mismo punto. Por ejemplo, en el circuito de la figura, que representa una pila conectada a un conjunto de nueve resistores en serie - paralelo, se indican en color dos de las seis mallas imaginables. En cualquiera de ellas la suma de tensiones vale cero.¹⁴

que parta de un punto, pase por conductores y componentes, y vuelva al mismo punto. Por ejemplo, en el circuito de la figura, que representa una pila conectada a un conjunto de nueve resistores en serie - paralelo, se indican en color dos de las seis mallas imaginables. En cualquiera de ellas la suma de tensiones vale cero.¹⁴

● Corriente continua y alterna

Las pilas proveen una tensión aproximadamente constante, y siempre de la misma polaridad; son de *tensión continua*, y la corriente con la que la pila alimenta los circuitos es también continua. En cambio la red domiciliaria de energía eléctrica provee *tensión alterna*, o alternada.¹⁵

Para comprender la diferencia entre la corriente continua y la alterna, recurrimos a un *modelo hidráulico*, en el que la corriente eléctrica se compara con la circulación de agua, y la tensión, con una diferencia de presión del líquido.



La corriente continua de una pila se asemeja a la circulación de agua en sentido constante, impulsada por una turbina rotativa. La alterna de la red es como agua



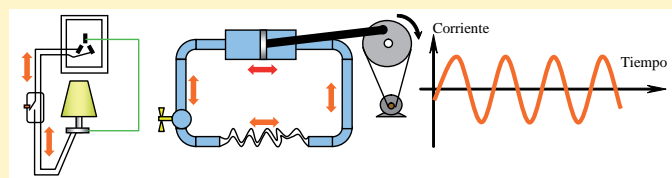
- En la mayoría de los coches, el polo negativo de la batería se conecta al chasis, o masa. En la red eléctrica domiciliaria va a tierra uno de los dos cables de alimentación, que se llama el *neutro*, porque su tensión con respecto a tierra es nula o muy pequeña. El otro es el *vivo*.

¹⁴Cuando al recorrer la mall se pasa por una pila de - a +, la tensión se considera positiva. En los componentes pasivos, y en el mismo sentido del recorrido, las tensiones son negativas; se las llama *caídas* de tensión.

¹⁵En el capítulo siguiente se explican las ventajas de la corriente alterna, con respecto a la continua que se usó hasta mediados del siglo pasado.

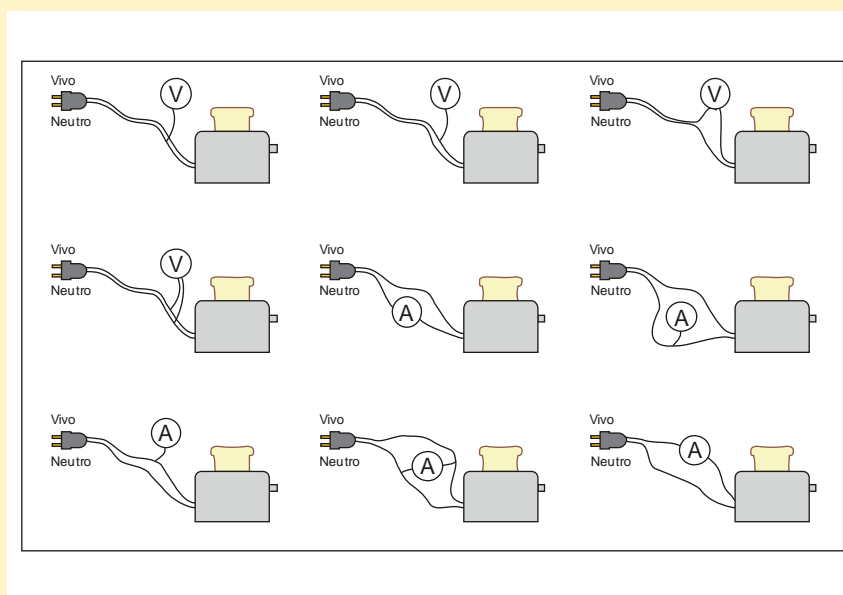
que circula en sentido cambiante, impulsada por una bomba alternativa.

Naturalmente, y como en todas las comparaciones, ésta tiene sus límites; por ejemplo dos corrientes de agua no se atraen, como sí lo hacen dos corrientes eléctricas.



PROPUESTAS DE ESTUDIO

4.1. ¿Cuáles de las siguientes conexiones sirven para medir la tensión aplicada a una tostadora, cuáles para medir la corriente que toma de la línea de alimentación, y cuál produce un cortocircuito?



4.2. ¿Qué potencia se desarrollaría en una persona que, por accidente, tomase contacto entre el vivo de la línea de alimentación de 220 V y tierra? ¿Y si el contacto accidental fuera con una línea de 7.620 V? (la resistencia del cuerpo es cercana a los 50.000 ohm).

4.3. ¿Qué resistencia tiene un calefón eléctrico de 3 kW y 220 V? ¿Cuánto vale la corriente?

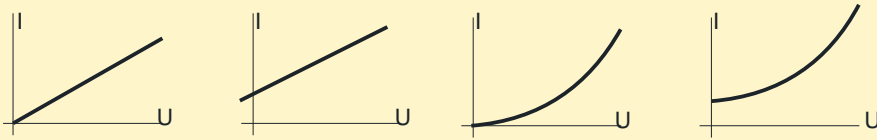


- Supuestos beneficios de las corrientes eléctricas, según creencias del siglo XIX. A la dama le aplican algunas decenas de voltios entre el cuello y los pies.



- El sitio <http://blog.makazine.com/archive/2006/04/5.html> describe cómo construir una poderosa batería eléctrica con cinco kilogramos de papas y algunos clavos.

4.4. ¿Cuál de estos gráficos representa mejor la ley de Ohm?



4.5. Se suele oír de periodistas, y hasta de funcionarios, frases como: “*Los que consuman menos de 400 kilowatt por bimestre no sufrirán aumentos de tarifas*”, o “*Se están consumiendo más kilowatt por hora*”. Analicen el acierto o error de semejantes expresiones.

● Otras fuentes

Sugerimos buscar en la Red con las palabras electrodinámica, electricidad y Tokamak.¹⁶ En <http://www.sapiens.itgo.com/documents/doc12.htm> muestran distintos tipos de voltímetros y amperímetros, y sus principios de funcionamiento.

¹⁶La palabra Tokamak es un acrónimo de **тороидальная камера с магнитными катушками**, *toroidal'naya kamera s magnitnymi katushkami*, en ruso cámara toroidal con bobinas magnéticas. Toroidal significa con forma de toro, cuerpo geométrico semejante a una cámara inflada, cuyo nombre proviene de una variante mexicana del juego del sapo de nuestro campo, que consistía en arrojar unas rosquillas de tela para ensartarlas en los cuernos de una cabeza de toro embalsamada.