

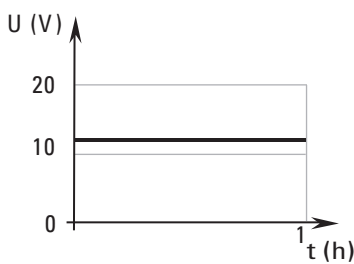
3.c_ Distribución de corriente alterna, protección de las personas e instalaciones

Autor: Agustín Rela

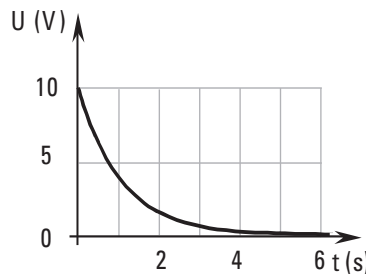
Tensión continua, alterna, y otras.

Cuando la tensión eléctrica, o la corriente, mantienen constantes su valor absoluto y su signo, se dice que son continuas. Por ejemplo, la tensión de una pila o de una batería es continua, y lo mismo ocurre con la corriente que circula por las lamparitas o por los artefactos que se alimentan con ellas. Si en cambio esas magnitudes cambian con el tiempo, se dice que son variables. Si la variación se puede representar con una senoide, entonces en ese caso la tensión (o la corriente) se llama alternada, o alterna.

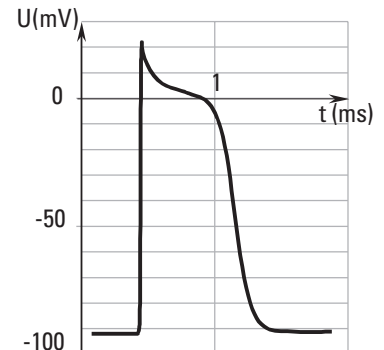
Tensiones diversas representadas en función del tiempo



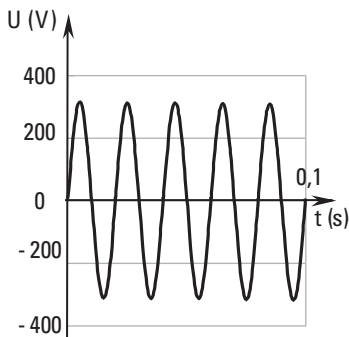
(a) Batería de automóvil (caso ideal; en la práctica la tensión disminuye a medida que la batería se descarga)



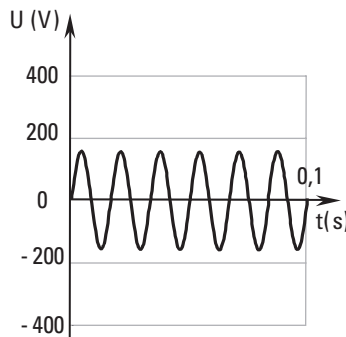
(b) Capacitor de un microfaradio que se descarga sobre un resistor de un megohm



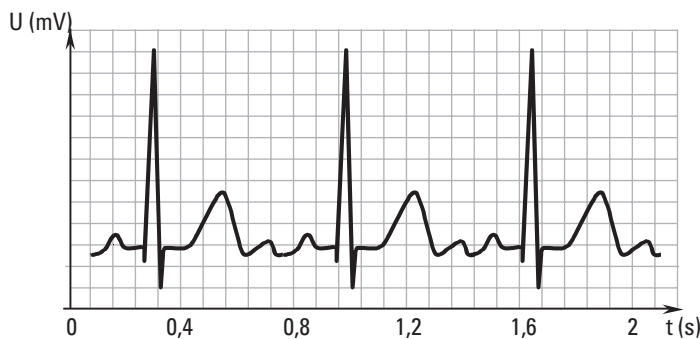
(c) Respuesta de una célula nerviosa a un estímulo



(d) Tomacorriente argentino o alemán



(e) Tomacorriente estadounidense o brasileño

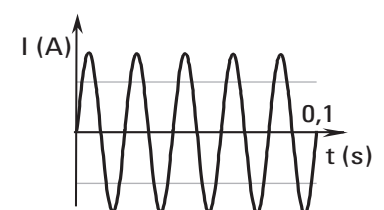


(f) Electrocardiograma

En castellano corriente alterna y corriente continua se abrevian ca y cc. En inglés, ac y dc. Por ejemplo 220 V ca, 110 V ac, ó 12 V dc. En una fuente de tensión continua la polaridad es siempre la misma, y hay un polo, contacto o terminal que es siempre el positivo, y el otro negativo. En alterna, en cambio, no hay un polo positivo o negativo, porque la polaridad cambia cien veces por segundo; pasa de positiva a negativa y de negativa a positiva cincuenta ciclos por segundo (o hertz) en la Argentina, y sesenta en el Brasil.

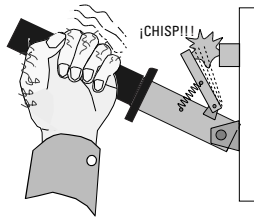


El nombre del conjunto musical australiano AC-DC con un rayo en el medio alude la corriente alterna y continua, y quizá sea una metáfora para significar la adaptación universal.

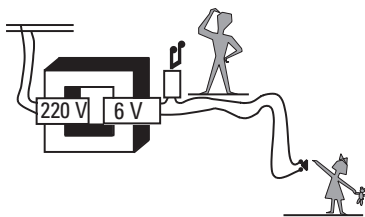


En la Argentina la corriente cambia de sentido cien veces por segundo.

¿Por qué alterna?



Antigua llave interruptora de corriente continua. Las piezas pequeñas quedan encajadas en las pinzas fijas, y sus resortes las separan velozmente cuando la manija ya ha recorrido un ángulo suficiente, de ese modo se reduce la duración de las chispas o arcos.



Transformador actual de campanilla, de 220 V ca 6 V ca. La entrada del transformador (bobina primaria o devanado primario) se conecta a 220 V. La baja tensión que aparece en el secundario se aprovecha para hacer sonar una chicharra cuando se aprieta un pulsador. La baja tensión que se emplea en esa función evita riesgos a quien apriete el botón en la calle un día de lluvia. En 1930 y cuando la distribución eléctrica era de tensión continua, no se podía usar un transformador (que sólo funciona con alterna) y había que emplear grandes pilas para los timbres, que cuando se descargaban la gente decía que se habían secado; de ahí el tango Yira, yira de Enrique Santos Discépolo: *Cuando estén secas las pilas de todos los timbres que vos apretás, o sea: cuando ya nadie te haga caso.*

Baja, media y alta tensión

En el ambiente eléctrico se usa la siguiente clasificación:

- 0 a 1000 V: baja tensión
- >1000 a 72.500 V: media tensión
- >72.500 V: alta tensión
- > 500.000 V: muy alta tensión

Las primeras aplicaciones de la electricidad se hicieron con pilas y baterías de corriente continua. La tensión de la energía eléctrica que se comenzó a distribuir a principios del siglo xx en industrias, calles y viviendas también era continua. Uno de sus problemas es que era difícil de interrumpir con un interruptor. Las llaves para encender y apagar la luz eran de grandes piezas de porcelana con perillas giratorias y resortes, que interrumpían bruscamente el circuito. Una llave actual de tecla, si se usara en continua, quedaría con una chispa encendida que fundiría la llave y caminaría después por los cables, con riesgo de incendio. La corriente alterna, en cambio, se interrumpe sola cien veces por segundo y no forma chispas duraderas aunque los contactos se separen con lentitud.

Pero la de evitar o reducir las chispas no es la principal ventaja de la corriente alterna, sino la posibilidad de transformarla en aparatos llamados *transformadores*.

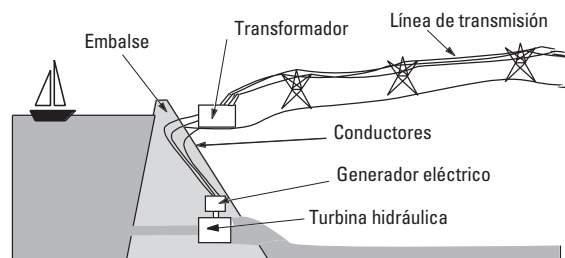
Transformar la energía eléctrica significa reducir su tensión y aumentar su corriente (o lo inverso), de modo que el producto de la tensión por la corriente, o sea la potencia, se mantenga constante ¹.

Puesto que $P = V \cdot i$, si P es constante y aumentamos V , tiene que disminuir i .

Los transformadores sólo funcionan con corriente alterna; se queman si se los conecta a fuentes de tensión continua.

Otra ventaja de los transformadores es la de poder transmitir la energía con mucha tensión y poca corriente; eso economiza millones de toneladas de cobre en los conductores.

Si se pretendiera generar y distribuir la energía eléctrica con una tensión de sólo 220 V, los conductores deberían ser de sección gigantesca. Por ejemplo, Atucha genera aproximadamente medio gigawatt ($0,5 \cdot 10^9$ W). Si dividimos eso por 220 V resulta una corriente de más de dos millones de amperes. Para que a lo largo de un recorrido de cien kilómetros nos lleguen al menos 200 V a casa, la caída de tensión en las líneas debería ser de 20 V, y la resistencia del conductor estaría limitada entonces a $20 \text{ V} \div 2 \cdot 10^6 \text{ A} = 10^{-7} \Omega$. Un cable de cobre de un metro de largo y un milímetro cuadrado de sección tiene $0,017 \Omega$ de resistencia, y si fuera de 100 km de largo (200 km, ida y vuelta, para dos cables) su resistencia sería de 3400Ω , valor 34.000 millones de veces mayor el admisible. Necesitamos, así, conductores de 34.000 millones de milímetros cuadrados: ¡cables de cobre de siete metros de diámetro! Es mejor, se ve, transmitir en alta tensión.



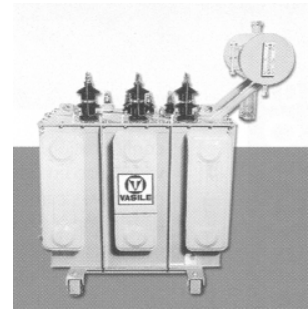
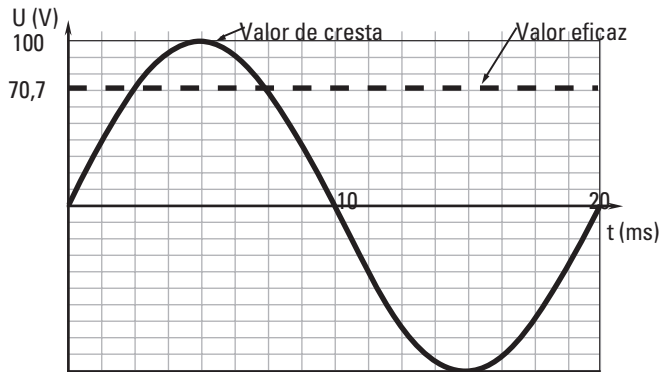
La energía se genera en las centrales a partir de otra de sus formas, por ejemplo la hídrica o la nuclear. Se hacen girar generadores que, por limitaciones tecnológicas de los aislantes actuales, deben generar tensiones no mucho mayores de 20.000 V, con corrientes muy grandes que circulan por gruesos tubos de aluminio. A pocos metros de distancia, un transformador eleva la tensión a 500.000 V y reduce 25 veces la corriente, que ahora puede circular por cables livianos. En la ciudad de destino otro transformador baja la tensión a 33.000 V o a 13.200 V. En cada grupo de manzanas, o edificio importante, hay más transformadores que reducen la tensión a los 220 V que usamos en nuestras casas.

¹ En rigor la potencia de salida de un transformador es algo menor que la de a entrada, porque un poco de energía se pierde en forma de calor en esa máquina.

Tensión y corriente eficaces

Cuando se dice, por ejemplo, 220 V cc, el valor de 220 V corresponde al de la tensión eléctrica en cualquier instante, puesto que es siempre la misma. Si se trata, en cambio, de 220 V ca, la tensión varía con el tiempo, y el valor de 220 V no se refiere al máximo de la senoide, ni a su promedio (que sería cero), sino a *la raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de las tensiones instantáneas*. Ese valor se llama tensión eficaz en castellano, y rms en inglés (de *root mean square*, raíz del cuadrado medio).

El valor eficaz, multiplicado por la raíz cuadrada de dos, da el valor máximo en una senoide pura. Una tensión alterna de 311,127 V de valor máximo (de pico, o de cresta) aplicada a un resistor, hace que el resistor disipe la misma potencia que si se le aplicara una tensión continua de 220 V. Este valor es la tensión eficaz. El cociente entre el valor de cresta y el eficaz es igual a la raíz cuadrada de dos.

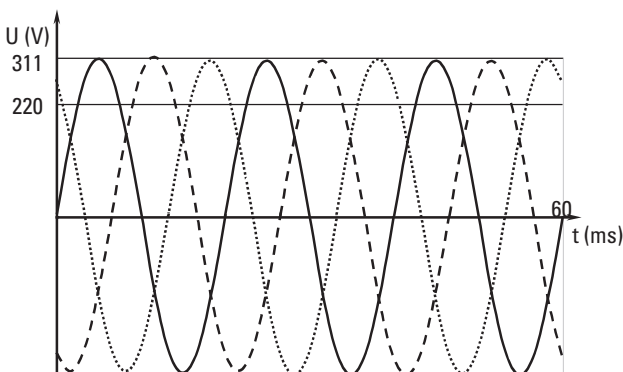


Transformador de distribución, que transforma los 13.200 V de la entrada en 220 V de salida.

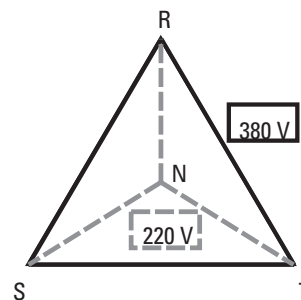
Alimentación monofásica y trifásica

Por razones relacionadas, otra vez, con el ahorro de conductores, la energía eléctrica de baja tensión se distribuye, en la Argentina, con cuatro cables llamados neutro, fase R, fase S y fase T. (En otros países hay variantes, y nombres diferentes para las fases.) La tensión entre cualquiera de las fases y el neutro es de 220 V eficaces; y entre dos de las fases, de 380 V eficaces. (El valor exacto de la tensión de fase es 219,393 V, que se obtiene al dividir 380 V por la raíz cuadrada de tres.)

A la distribución domiciliaria del neutro y una fase, se la llama monofásica, y a la del neutro y las tres fases, trifásica, o fuerza motriz, porque con ella se facilita el funcionamiento de motores grandes.



Aunque la tensión eficaz de cada fase con respecto al neutro es siempre de 220 V, la tensión instantánea es diferente en cada fase. Las tres tensiones instantáneas suman cero en todo instante, y lo mismo ocurriría con las tres corrientes si fueran idénticas; eso permite ahorrar un conductor de cada tres, con respecto a la distribución monofásica.

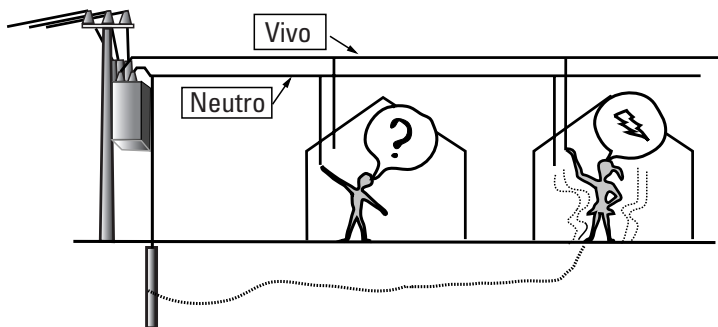


El esquema triangular muestra geoméricamente la relación que existe entre las tres tensiones de fase RN, SN y TN, y las tres tensiones llamadas de línea, RS, ST, TR.

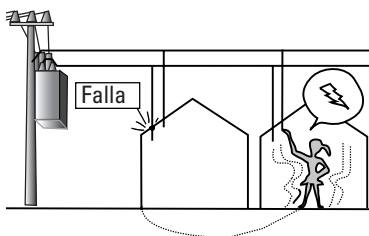
En otros países, además de usar sus propias frecuencias de 50 ó 60 Hz, tienen particularidades propias de distribución trifásica. En el Brasil, por ejemplo, usan una tensión de línea de 220 V, y de fase 127 V.

Vivo y neutro

La compañía de distribución conecta a tierra, a propósito, uno de los conductores de alimentación en cada manzana, barrio, o edificio grande. Eso hace que el planeta entero se comporte, eléctricamente, como la prolongación de ese conductor de alimentación. Así, si tocamos el polo que no está a tierra y estamos descalzos o con los zapatos húmedos, nos pasará corriente por el cuerpo, con grave riesgo, igual que si nos hubiéramos enchufado como un artefacto. En cambio, si tocamos el polo que está a tierra, no sufriremos la molestia. (No hagan la prueba, por precaución.)



El cable conectado a tierra por la compañía se llama neutro; el otro, vivo. Nuestro planeta actúa como un enorme conductor unido a la fuente de tensión. Si estamos sobre tierra y tocamos el vivo, nos da corriente.



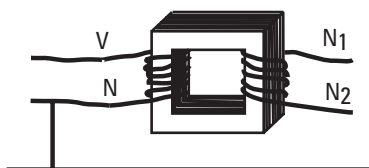
Caso supuesto de que la compañía eléctrica no conecte ninguno de los cables a tierra. La persona que toque un cable puede igualmente sufrir una descarga, si el otro cable está accidentalmente a tierra. El cuerpo del sujeto tiene un punto conectado a un polo y sus pies al otro, a través de tierra.

Si no se pusiera, como se hace, uno de los polos a tierra, esa conexión se haría de todos modos, y naturalmente, a través de las fallas de aislamiento de miles de artefactos conectados en el vecindario. Así, un día nos daría corriente un polo, otro día el otro polo, y a veces cualquiera de los dos si los tocamos, según cuántas fallas haya nuestras o de los vecinos. De este modo, en cambio, y con una conexión definitiva a tierra hecha por la compañía, se evitan esos efectos irregulares, impredecibles y más peligrosos que la existencia de un vivo y un neutro.

A veces se confunde el concepto de vivo y neutro con el de positivo y negativo. En las instalaciones eléctricas de los coches el positivo es, a la vez, el vivo, porque se conecta el polo negativo a la carrocería (eso equivale a la conexión de tierra para los artefactos y ocupantes del vehículo). Pero la corriente alterna no tiene una polaridad fija como una pila o una batería.

Instalaciones sin neutro ni vivo

En quirófanos, laboratorios, centros de lavado y lugares de alto riesgo, pero pequeños y separados, se ponen a veces transformadores aisladores de 220 V a 220 V. Con eso se obtienen a la salida dos contactos entre los cuales hay 220 volts eficaces, pero ninguno de ellos tiene tensión con respecto a tierra. o al menos así ocurre hasta que falle la aislación de algún aparato. Eso aumenta la seguridad local, siempre que se mantengan los artefactos en perfecto estado con un buen servicio de mantenimiento.



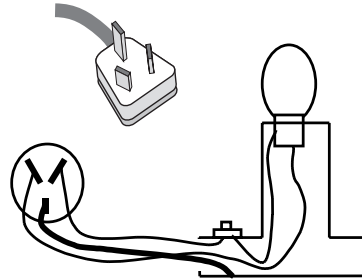
Transformador aislador de relación uno a uno. A la izquierda, la alimentación de 220 V tiene un vivo y un neutro; a la derecha hay dos neutros, o sea que la diferencia de potencial de cualquiera de esos dos conductores y tierra, es nula.

En diversas zonas se acostumbra hacer la distribución suburbana de energía eléctrica de media tensión con un sistema trifásico compuesto por sólo tres conductores, sin neutro. Cuando por alguna tormenta cae una rama de un árbol sobre una línea, el servicio continúa, y cuando para la lluvia se puede hacer la reparación sin haber hecho sufrir interrupciones a los usuarios. (Una segunda falla en otra de las líneas no será soportada a la vez, y en ese caso habría que interrumpir indefectiblemente el servicio.)

Choques eléctricos

La corriente eléctrica aplicada al cuerpo provoca la contracción involuntaria de los músculos, y puede causar la parálisis del diafragma o del corazón.

Una corriente de cincuenta microamperes no se siente; una de doscientos da cosquillas alarmantes; un miliampere nos hace sentir una fuerte y molesta sacudida, y 50 miliamperes podrían matar a una persona joven y sana.



Electrocución

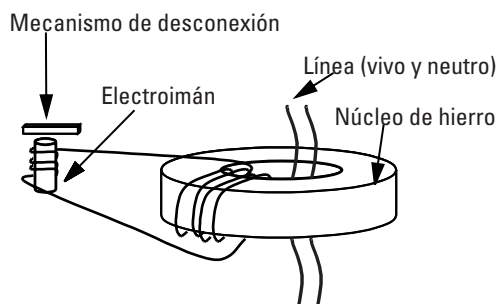
La palabra electrocutar proviene de electrocute (de electric y execute) en alusión a la ejecución en la silla eléctrica de los condenados, que regía en los Estados Unidos cuando se creía que la muerte por descarga eléctrica era rápida e indolora.

Tomacorrientes y fichas de conexión de tres contactos. Son la mejor protección que existe contra las sacudidas eléctricas. La pata central y más larga conecta a tierra las partes metálicas del artefacto. Esa pata es la primera en conectarse en el enchufe, y la última en salir; con eso se asegura que la cubierta del aparato esté siempre a tierra y no nos dé corriente aunque falle la aislación de algún cable. La ficha tiene que tener su pata central conectada, y hace falta un cable de tres conductores (no es suficiente poner esa ficha en el extremo de un cable de dos conductores). También es necesario que el tomacorriente tenga conectada a tierra su conexión central.

En una instalación reglamentaria, la conexión de tierra de los tomas es totalmente independiente del neutro, y se efectúa con un alambre sin aislación y más grueso que los otros.

Protector diferencial

Hay interruptores, llamados diferenciales, que cortan instantáneamente la corriente si se produce una fuga de corriente a tierra, sea por un artefacto defectuoso o porque alguien está sufriendo una descarga. Actúan sólo si la fuga es importante (de otro modo estarían actuando permanentemente por las inevitables pequeñas fugas de muchos artefactos). No eliminan el riesgo de choque, pero lo reducen y salvan muchas vidas. Funcionan gracias a que, cuando hay corriente a tierra, aparece una diferencia entre la corriente que entra a la casa por el vivo, y la que sale por el neutro (o a la inversa, en el otro medio ciclo). Esa diferencia magnetiza un anillo de hierro y genera una corriente que hace funcionar un gatillo que dispara la interrupción instantánea de la llave, sin que transcurran más que unas pocas milésimas de segundo desde que ocurre la anomalía hasta que se corta el suministro. El protector diferencial no protege a la persona que introduzca un dedo en cada agujero del enchufe mientras permanece aislada de tierra.



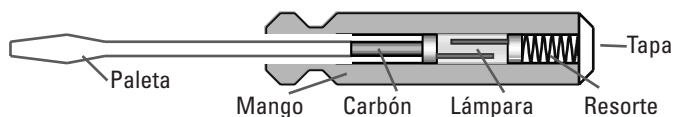
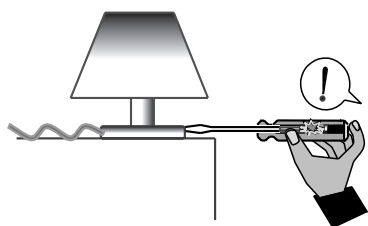
Interruptor diferencial

Corta el suministro en caso de que la corriente que entra a la casa difiera de la que sale en más de 30 mA por causa de una fuga de corriente a tierra.



Comprobación de la puesta a tierra

Para comprobar si un artefacto está puesto a tierra se utiliza un buscapolos de neón, que suele estar combinado con un destornillador y venden en las ferreterías y casas de electricidad. Se puede utilizar, también, un buscapolos electrónico, que se adquieren en casas de electrónica. Los hay luminosos y sonoros, y funcionan con pilas. Son tan sensibles, que detectan el polo vivo sin necesidad de tocar ningún cable ni artefacto; alcanza con acercarse ese instrumento a unos centímetros del artefacto que queremos controlar: si le falta la conexión a tierra, el detector encenderá, o sonará.



La falta de puesta a tierra y las fallas de aislación de un artefacto se pueden detectar con un **buscapolos**. Su lámpara de gas interna enciende aunque estemos aislados del suelo, puesto que nuestro calzado actúa como un capacitor en serie que se carga y se descarga con cada cambio de la polaridad de la tensión alterna. La pieza de carbón que hay dentro del buscapolos es para proteger a quien lo usa. La lámpara es de gas para que encienda con muy poca corriente. Hay que tocar la tapa metálica para que funcione.

Protección de las instalaciones contra excesos de corriente

Existen dos anomalías tan frecuentes en las instalaciones eléctricas, que los reglamentos imponen que las deban soportar sin mayores consecuencias. Una de ellas es la *sobrecarga*. Consiste en que, por haber demasiados artefactos de elevado consumo conectados a la vez, la corriente que circula por la instalación resulta excesiva para el grosor de los cables, y los calienta demasiado. Esta clase de anomalía ocurre, por ejemplo, cuando hay dos o tres estufas eléctricas encendidas, alguien se está secando el cabello a la vez, otro hace tostadas y, al mismo tiempo, arranca la heladera.

El otro inconveniente es el *cortocircuito*, que ocurre cuando se tocan por accidente los dos conductores de alimentación. Casi siempre eso ocurre por la aislación defectuosa de los cables de un artefacto. La corriente es muy elevada en este caso, mucho más que en una simple sobrecarga.

Tanto la sobrecarga como el cortocircuito recalientan los cables, o los funden, con daños materiales y a veces personales.

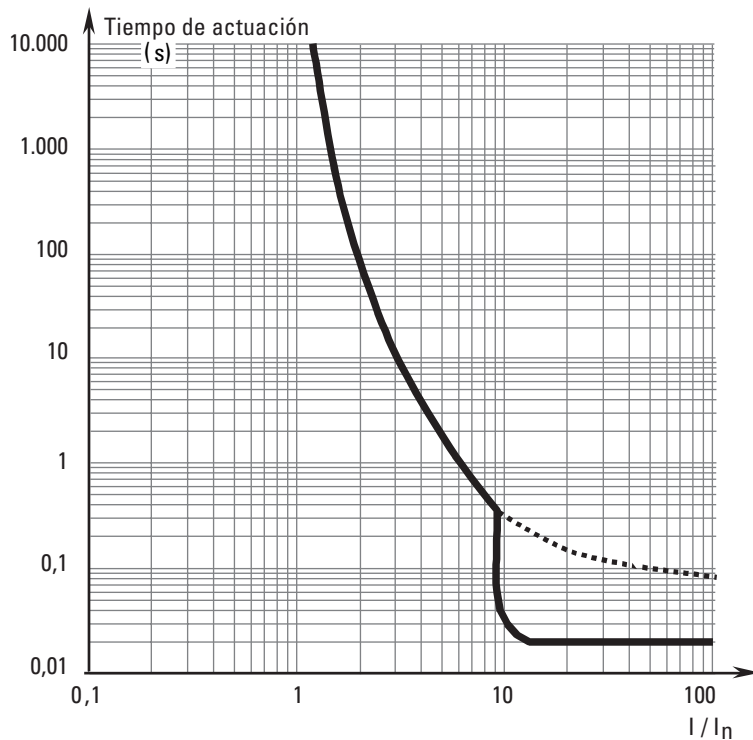
La electricidad llega a una casa mediante dos cables de cobre aislados en plástico, que pasan por un interruptor termomagnético. Ese interruptor corta automáticamente el suministro en caso de que la corriente que circula sea excesiva, lo que puede suceder por abuso de consumo o por fallas en la instalación. En casas antiguas se pueden encontrar, en vez de esas llaves, fusibles que cumplen igual función. Dentro de la casa tiene que haber otro interruptor adicional para poder cortar la electricidad cuando se hace una reparación, puesto que el interruptor de entrada es sólo para uso de la compañía eléctrica, y su accionamiento no le es permitido al usuario.

Para reponer un interruptor termomagnético que acaba de actuar, es necesario esperar a que se enfríe, bajar por completo la palanca y después subirla. Conviene, antes de eso, ubicar la causa de la falla; de otro modo, la protección volverá a actuar.

Hay quienes reparan los fusibles quemados con un alambre igual o más grueso. Esa práctica es peligrosa y puede dañar la instalación.

Carga y sobrecarga

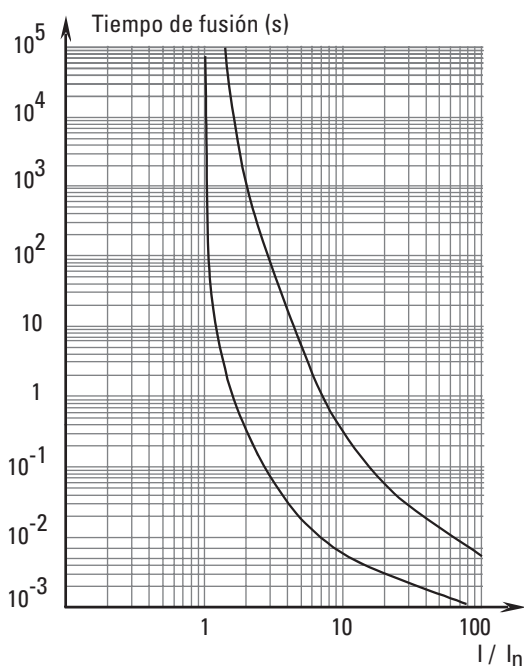
La palabra carga tiene dos significados en el ámbito eléctrico. Uno es el ya mencionado antes, la magnitud carga eléctrica que se mide en coulombs. Pero a veces se dice, por ejemplo, *despacho de carga*, para referirse a la energía eléctrica, o se dice que en un circuito hay demasiada carga (o que está muy cargado) con el significado de que hay muchos artefactos conectados y la corriente es, por eso, muy elevada. El contexto nos permite saber cuál de esos significados es el que vale en cada caso.



Interruptor termomagnético¹. Cuando está conectado y pasa una corriente mayor que la normal durante bastante tiempo, la llave interrumpe automáticamente el paso de energía, gracias a que el calentamiento consiguiente arquea una cinta compuesta por dos metales de diferente dilatación (bimetal). Si la corriente anormal es muy elevada (por ejemplo diez veces mayor que la normal (I_n)) el interruptor termomagnético corta casi instantáneamente el suministro sin esperar a calentarse, gracias a la acción de la corriente sobre un pequeño imán alojado en el interior de la llave. Por ejemplo, en el caso de la figura, si la corriente que circula es la normal (I_n), la llave no interrumpe nunca. Si la corriente es el doble de I_n , corta al cabo de un minuto; si es el triple, a los 10 segundos; si la corriente normal se supera en un factor 8, esa llave corta en menos de medio segundo; pero si la corriente supera diez veces el valor normal, interviene la parte magnética del mecanismo y el corte se produce en 20 milisegundos. La línea de puntos indica el tiempo en que actuaría el mecanismo térmico, si no estuviera el magnético.

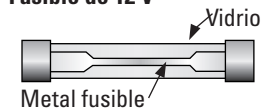


Tiempo de actuación de un fusible rápido y de uno lento¹

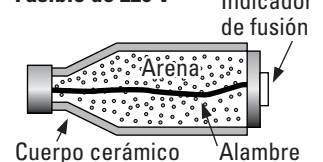


Fusibles. Tienen un alambre delgado alojado en un cilindro o cartucho especial que se funde cuando la corriente que circula es mayor que la normal durante un tiempo suficiente. Un fusible, de acuerdo con algunas normas internacionales actuales de fabricación, tiene que soportar el 100 % de la corriente normal indefinidamente, sin fundirse. Otras normas exigen en cambio que soporte el 80%, o el 75%, o sea que recomiendan que se elija un calibre de fusible mayor que el de la corriente normal. Esto complica la elección del fusible adecuado para cada aplicación. Los fusibles rápidos y ultrarápidos se usan en aparatos electrónicos; los lentos son más útiles para motores, que hacen circular mucha corriente cuando arrancan.

Fusible de 12 V



Fusible de 220 V



¹ La escala logarítmica de los gráficos facilita la representación de corrientes y tiempos muy dispares.

Protección de los artefactos e instalaciones contra excesos de tensión

Cuando hay tormentas eléctricas, o cuando se desconecta un motor, pueden aparecer tensiones anormales muy altas, de varios miles de volts, en la línea; eso puede afectar los aparatos electrónicos, principalmente las computadoras y los televisores. Una falla muy común es que ocurra un rayo en las inmediaciones, los cables aéreos telefónicos transmitan una tensión muy elevada a un módem, y éste resulta irreversiblemente dañado.

Para reducir los efectos de esos percances se pueden conectar *descargadores* entre los cables de la instalación, y entre ellos y tierra. Las casas de electrónica y de electricidad proveen los descargadores adecuados para cada aplicación. Hay, también, descargadores para las líneas de media tensión. Normalmente un equipo electrónico avanzado tiene sus propios descargadores, pero no siempre resultan suficientes en zonas suburbanas, donde las líneas son aéreas y no subterráneas, y quedan muy expuestas a las descargas atmosféricas.

Ejercicios

1. El polo vivo de una instalación eléctrica es
 - (a) el positivo
 - (b) el negativo
 - (c) el que está conectado a tierra
 - (d) el que no está conectado a tierra <<
2. La protección termomagnética sirve para
 - (a) evitar sacudidas eléctricas a las personas
 - (b) interrumpir la corriente en caso de cortocircuito o sobrecarga
 - (c) disminuir el consumo de energía eléctrica
 - (d) aumentar la duración de los artefactos
3. Un descargador sirve para
 - (a) evitar que caiga un rayo en una casa
 - (b) proteger los artefactos de tensiones excesivas <<
 - (c) evitar que circule una corriente grande por los cables
 - (d) reducir el costo de la energía que consume la vivienda
4. Si una persona está descalza sobre un piso húmedo y toca un artefacto que no está puesto a tierra y al que le falla además su aislación, y en el momento en el que lo hace actúa la protección diferencial, entonces
 - (a) esa persona no sufre sacudidas ni molestias
 - (b) la persona recibe una sacudida eléctrica, pero muy breve, y se interrumpe de inmediato el suministro <<
 - (c) la persona sufre una descarga de menor corriente que si no hubiera disyuntor
 - (d) si toca el aparato con la mano derecha sufre una descarga; con la izquierda no siente molestia

Bibliografía

Macaulay, D. y Ardley, N., **Cómo funcionan las cosas**, Buenos Aires, Editorial Atlántida, 1994.

Atractiva obra de divulgación sobre los detalles internos y el principio básico de funcionamiento de muchos artefactos.

Cerdeira, S., Ortí, E., Rela, A. y Sztrajman, J., **Física - Química**, Buenos Aires, Aique, 2000.

En esta obra destinada a la enseñanza media hay explicaciones más detalladas que aquí, acerca de diversos efectos electrostáticos y electrodinámicos.