

# 5

## Aplicaciones del efecto térmico

### Contenidos

- 5.1. Elementos de caldeo
- 5.2. Transmisión de calor
- 5.3. Inconvenientes del efecto térmico

### Objetivos

- Aplicar el efecto Joule para la fabricación de dispositivos capaces de aprovecharse de la corriente eléctrica.
- Distinguir entre cortocircuito y sobrecarga.
- Describir el funcionamiento del fusible y del interruptor automático, y seleccionar el calibre adecuado para cada aplicación.

Gracias al efecto térmico se pueden construir multitud de dispositivos de gran aplicación práctica, tales como lámparas incandescentes, elementos de caldeo, calefactores, termos eléctricos y fusibles.

### 5.1. Elementos de caldeo

Son resistencias preparadas para transformar la energía eléctrica en calor (Figura 5.1). Se utilizan para la fabricación de estufas, placas de cocina, hornos, planchas eléctricas, secadores, calentadores eléctricos de agua, soldadores, etcétera.

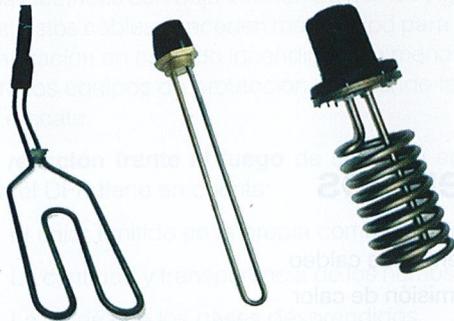


Figura 5.1. Resistencias calefactoras. (Cortesía de Aplicaciones térmicas Vitoria.)

El calor eléctrico presenta múltiples ventajas frente a otras formas de producir calor, como la ausencia de llama y gases de combustión, la limpieza y la facilidad para controlar y regular su funcionamiento.

Los elementos de caldeo se fabrican, por lo general, con hilos de aleaciones metálicas resistivas cubiertos por materiales aislantes que soportan altas temperaturas.

El elemento básico de control de temperatura que suelen poseer la mayoría de los aparatos calefactores es el termostato. Con este dispositivo prefijamos la temperatura de funcionamiento del aparato. Una vez alcanzada dicha temperatura, el termostato abre el circuito y desconecta el calefactor hasta que la temperatura vuelve a descender, momento en el cual se vuelve a cerrar el circuito. De esta forma, abriendo y cerrando el circuito de alimentación del calefactor se consigue mantener la temperatura prefijada (Figura 5.2).

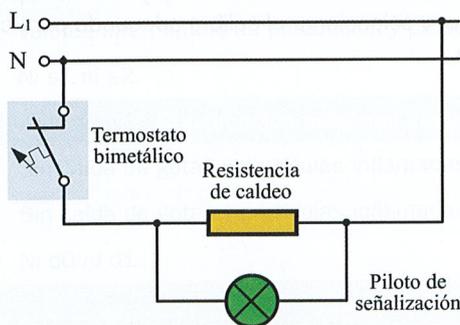


Figura 5.2. Esquema del control de temperatura por termostato.

Los termostatos pueden ser de varios tipos; los más utilizados son los bimetalicos y los electrónicos.

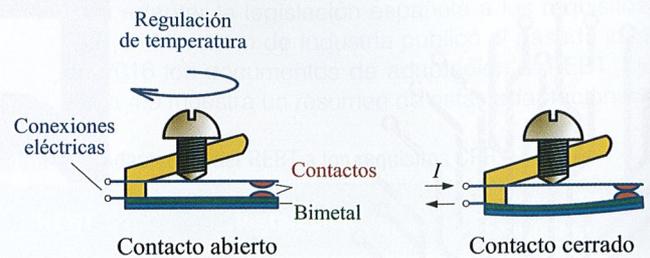


Figura 5.3. Termostato bimetalico.

En la Figura 5.3 se puede apreciar la composición de un termostato bimetalico. El elemento fundamental es el bimetal, que está fabricado a base de unir dos metales de muy diferente coeficiente de dilatación. Al calentarse, una de las láminas tiende a estirarse más que la otra y provoca un arqueamiento del bimetal. Este movimiento puede aprovecharse para abrir o cerrar un contacto eléctrico.



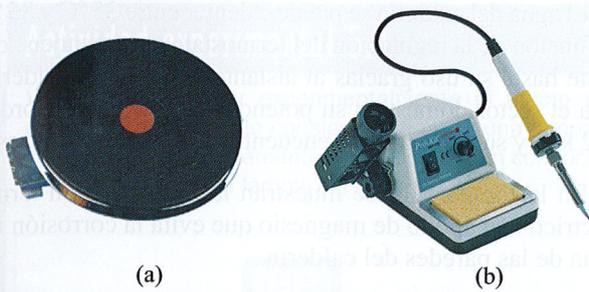
Figura 5.4. (a) Termostato bimetalico. (b) Termostato electrónico programable.

Los termostatos no solo son útiles para prefijar la temperatura, por ejemplo, el aire de una habitación o del agua de un termo eléctrico, sino también como elemento de seguridad en los calefactores, ya que así nos aseguramos de que la temperatura de funcionamiento de los aparatos nunca alcance valores peligrosos. Por ejemplo, los secadores de pelo llevan integrado un pequeño termostato en el interior del aparato; así nos aseguramos de que, aunque el motor que ventila la resistencia de caldeo deje de funcionar, la temperatura de las resistencias calefactoras no podrán alcanzar temperaturas peligrosas, ya que en este caso el termostato abre el circuito de alimentación hasta que se reponga la temperatura.

### 5.2. Transmisión de calor

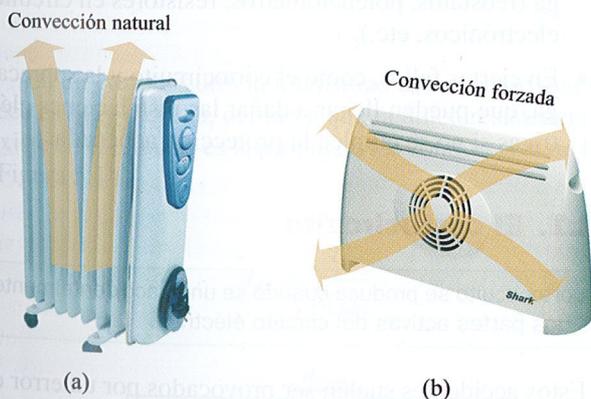
La energía calorífica generada en un punto se transmite desde las zonas de más altas temperaturas a las más bajas. Esta transmisión puede conducirse de tres formas diferentes:

- **Conducción:** el calor se transmite por contacto íntimo entre dos materiales, como por ejemplo en los metales. Una aplicación práctica podría ser la transmisión de calor por contacto directo entre una sartén y una placa eléctrica de cocina, o soldador eléctrico de estaño (Figura 5.5).



**Figura 5.5.** Conducción térmica. (a) Placa eléctrica. (b) Soldador eléctrico de estaño.

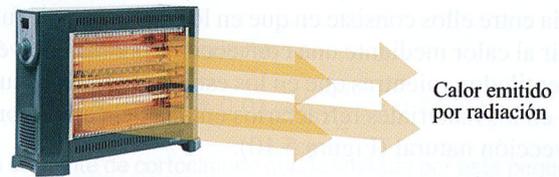
- **Convección:** todos los gases y líquidos, cuando se calientan se dilatan y disminuyen de densidad, lo que hace que tiendan a desplazarse. Así, por ejemplo, un radiador eléctrico, que transmite calor por convección (convector), calienta el aire que entra en contacto con su superficie, lo que hace que este ascienda y se mueva por toda la estancia que hay que calentar. Gracias a este fenómeno funcionan multitud de aparatos de calefacción, como los radiadores eléctricos, que consiguen que se produzca una circulación natural de aire cálido por toda la estancia sin que la temperatura de los aparatos de calefacción sea peligrosamente elevada. También existe la posibilidad de acelerar el paso de aire por el aparato de calefacción mediante un ventilador (convección forzada) (Figura 5.6).



**Figura 5.6.** Convector. (a) Radiador eléctrico por convección natural. (b) Calefactor eléctrico por convección forzada.

- **Radiación:** este tipo de transmisión se produce por ondas y es similar a la que se produce por el Sol. De esta forma de transmisión se aprovechan elementos calefactores como, por ejemplo, las estufas de rayos infrarrojos, placas solares de alta temperatura, hornos eléctricos. El uso de este tipo de aparatos para la calefacción eléctrica debe realizarse con las debidas medidas de seguridad, ya que las temperaturas que alcanzan suelen ser elevadas y podrían ocasionar accidentes como quemaduras o incendios (Figura 5.7).

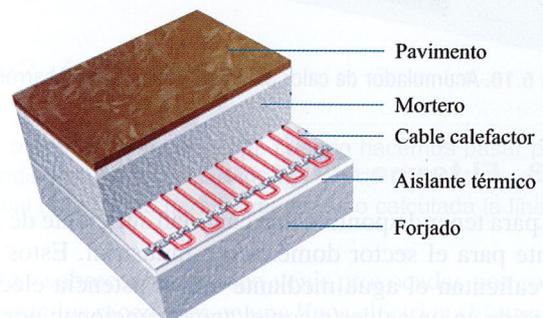
Aprovechando estas formas de transmisión del calor también se construyen otros sistemas de calefacción, como los suelos y techos radiantes y la calefacción por acumulación.



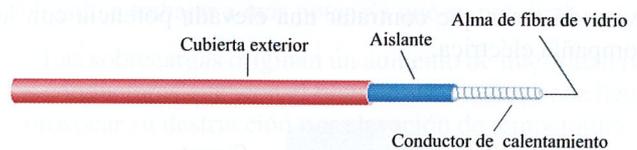
**Figura 5.7.** Radiación.

### 5.2.1. Calefacción por suelos y techos radiantes

Se construyen a base de cables calefactores de baja resistencia eléctrica (Figura 5.9) que se instalan debajo del suelo o en el techo. Este tipo de calefacción es un sistema de radiación a baja temperatura que suele utilizarse como apoyo y en combinación con otro tipo de calefacción. La calefacción por suelo radiante resulta, por ejemplo, muy confortable para caldear suelos de aseos y baños (Figura 5.8).



**Figura 5.8.** Calefacción por suelo radiante.



**Figura 5.9.** Composición de un cable calefactor.



Consulta en el REBT la Instrucción Técnica ITC-BT 45 sobre la instalación de cables y folios radiantes en viviendas.

### 5.2.2. Calefacción por acumulación

Este tipo de calefactores eléctricos están constituidos por materiales de tipo refractario que hacen posible la acumulación de grandes cantidades de calor durante su conexión a la red eléctrica, para posteriormente poder ceder este calor cuando sea necesario sin tener por qué estar conectadas las resistencias eléctricas. Su principal aplicación es la de poder

## 5. APLICACIONES DEL EFECTO TÉRMICO

acumular el calor por la noche, donde es posible contratar con la compañía eléctrica la tarifa nocturna y beneficiarse de un precio del kWh mucho más bajo.

Se fabrican de dos tipos, estáticos y dinámicos. La diferencia entre ellos consiste en que en los dinámicos se fuerza a salir al calor mediante una convección forzada a través de un ventilador, mientras que en los estáticos el calor acumulado en los materiales refractarios emana del calefactor por convección natural (Figura 5.10).

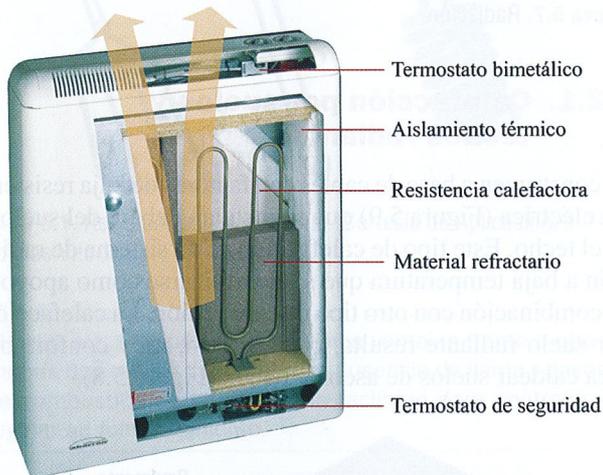


Figura 5.10. Acumulador de calor estático. (Cortesía de Abarrón.)

### 5.2.3. El termo eléctrico

Sirve para tener disponible una cantidad suficiente de agua caliente para el sector doméstico e industrial. Estos aparatos calientan el agua mediante una resistencia eléctrica sumergida en un calderín con el agua. Funcionan por acumulación, lo que les permite disponer de una gran cantidad de agua caliente con una potencia eléctrica moderada, evitando tener que contratar una elevada potencia con la compañía eléctrica.

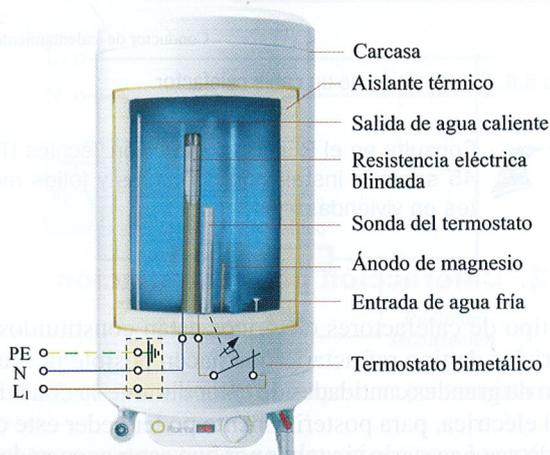


Figura 5.11. Partes de un termo eléctrico. (Cortesía de Rointe.)

El agua del calderín se puede calentar entre 35 °C y 85 °C en función de la regulación del termostato y se mantiene caliente hasta su uso gracias al aislante térmico del calderín. Para el sector doméstico su potencia eléctrica es del orden de 2 kW y su capacidad se encuentra entre 50 y 200 litros.

En la Figura 5.11 se muestran las partes de un termo eléctrico con ánodo de magnesio que evita la corrosión interna de las paredes del calderín.



Consulta en el REBT la Instrucción Técnica ITC-BT 45 del REBT sobre la instalación de aparatos de caldeo.

## 5.3. Inconvenientes del efecto térmico

El efecto térmico se vuelve indeseable cuando no es esperado. Este caso se da:

- En el calentamiento de conductores en las líneas eléctricas, lo que condiciona la sección de los conductores en función de la intensidad de la corriente que los atraviesa.
- En los conductores que forman los bobinados de transformadores, motores y generadores, lo que limita su potencia nominal.
- En resistencias que tienen la misión de limitar corriente y tensión al ser conectadas en serie con la carga (reostatos, potenciómetros, resistores en circuitos electrónicos, etc.).
- En ciertos fallos, como el cortocircuito y la sobrecarga, que pueden llegar a dañar las instalaciones eléctricas si no se emplea la protección adecuada.

### 5.3.1. El cortocircuito

El cortocircuito se produce cuando se unen accidentalmente las dos partes activas del circuito eléctrico.

Estos accidentes suelen ser provocados por un error en el montaje de la instalación, un fallo de un aislamiento que separa las partes activas o por una falsa maniobra (Figura 5.12).

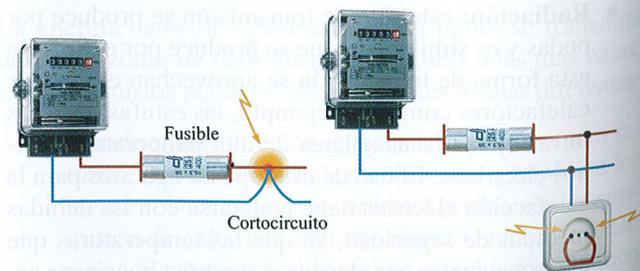


Figura 5.12. Ejemplos de cortocircuito accidental.



### Actividad experimental 5.1

Vamos a comprobar experimentalmente el efecto del cortocircuito. Para ello consigue una pila y una lámpara y conéctalos. Seguidamente une mediante un conductor los terminales de la lámpara (Figura 5.13).

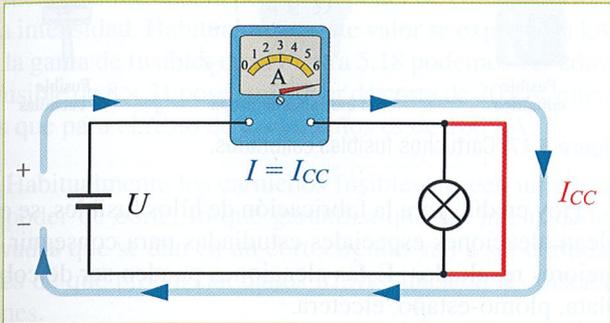


Figura 5.13.

Se podrá observar cómo la lámpara se apaga, ya que toda la corriente eléctrica tiende a derivarse por el conductor de menos resistencia que el filamento. Mediante un amperímetro comprueba el valor de la corriente.

Esta experiencia se puede realizar porque la pila no es capaz de suministrar una corriente muy grande, ya que de haber provocado un cortocircuito, por ejemplo, en una base de enchufe de la red eléctrica, la corriente habría alcanzado valores muy elevados y peligrosos para los conductores eléctricos.

En un cortocircuito la intensidad de corriente que aparece es muy elevada, debido a que la única resistencia que existe en el circuito es la propia de los conductores de línea (Figura 5.14).

$$I_{cc} = \frac{U}{R_{Línea}}$$

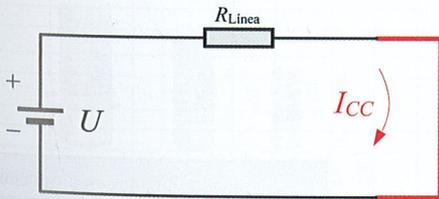


Figura 5.14.

### Actividad resuelta 5.1

Determina la intensidad de cortocircuito que aparecerá en una toma de corriente si la energía proviene de un transfor-

mador de distribución de 230 V y la línea de alimentación consiste en un conductor de cobre de 4 mm<sup>2</sup> de sección con una longitud total de 100 m.

**Solución:**

La resistencia del conductor es:

$$R_L = \rho \frac{L}{S} = 0,01786 \frac{100}{4} = 0,447 \Omega$$

La corriente de cortocircuito queda limitada por esta pequeña resistencia:

$$I_{cc} = \frac{U}{R_L} = \frac{230}{0,447} = 514,5 \text{ A}$$

¿Cuál sería la intensidad de cortocircuito si la sección del conductor hubiese sido de 25 mm<sup>2</sup>?

En el caso de que la resistencia del cortocircuito sea muy baja o cuando trabajamos con tensiones elevadas, pueden llegar a establecerse miles de amperios. Si esta fuerte intensidad no se corta inmediatamente, los conductores se destruyen por efecto del calor ( $Q = 0,24 \cdot R_{Línea}^* \cdot I^2 \cdot t$ ) en un corto periodo de tiempo (a veces no llega a unos pocos milisegundos).

### 5.3.2. La sobrecarga

Se produce una sobrecarga cuando hacemos pasar por un conductor eléctrico más intensidad de corriente que la nominal (intensidad para la que ha sido calculada la línea).

Las sobrecargas pueden venir provocadas por conectar demasiados receptores en una línea eléctrica (Figura 5.15), por un mal funcionamiento de un receptor que tiende a un mayor consumo eléctrico o por un motor eléctrico que es obligado a trabajar a más potencia que su nominal.

Las sobrecargas originan un aumento de intensidad por los conductores que, con el tiempo suficiente, puede llegar a provocar su destrucción por elevación de temperatura.

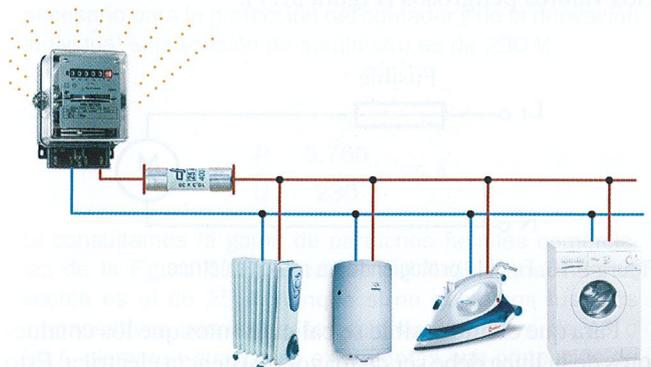


Figura 5.15. Sobrecarga causada por conectar a una línea un exceso de receptores.

## 5. APLICACIONES DEL EFECTO TÉRMICO

Para medir una sobrecarga hay que tener en cuenta dos factores:

- El número de veces que se supera la intensidad nominal.
- El tiempo que dura la sobrecarga.

Una sobrecarga provoca daños cuando estos dos factores son considerables. Así, por ejemplo, si provocamos una sobrecarga en un conductor de dos veces su intensidad nominal durante unos pocos segundos, seguro que el conductor no sufre daños. Sin embargo, si el tiempo es de horas, esta sobreintensidad puede llegar a dañar seriamente los aislantes del conductor.

### 5.3.3. Protección de los circuitos contra cortocircuitos y sobrecargas

Los excesos de temperatura de un conductor lo pueden destruir inmediatamente. Este es el caso del cortocircuito (corriente muy elevada que no puede durar mucho tiempo porque destruye todos los elementos de la instalación que se encuentran a su paso). Las sobrecargas tardan más en dañar el conductor. Aun así, los excesos constantes de temperatura de los materiales aislantes hacen que se envejecen con más rapidez, limitando la vida útil del conductor (los aislantes sometidos a altas temperaturas acaban volviéndose quebradizos y perdiendo parte de sus propiedades aislantes).

Para la protección contra cortocircuitos y sobrecargas se emplean los fusibles y los interruptores automáticos.

### 5.3.4. Fusibles

Un fusible está compuesto por un hilo conductor de menor sección que los conductores de la línea. En caso de una sobrecarga o cortocircuito, la intensidad se eleva a valores peligrosos para los conductores de la línea, y el fusible, que es más débil, se funde debido al efecto Joule, e interrumpe el circuito antes de que la intensidad de la corriente alcance esos valores peligrosos (Figura 5.17).

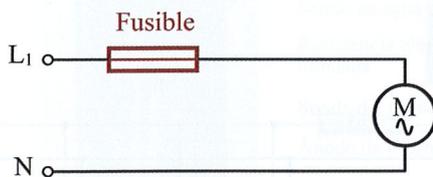


Figura 5.16. Fusible protegiendo un motor eléctrico.

Para que el hilo fusible se caliente antes que los conductores de la línea debe ser de mayor resistencia eléctrica. Esto se consigue con un hilo de menor sección o con un hilo de mayor coeficiente de resistividad. Por otro lado, este hilo

debe tener un punto de fusión más bajo que los conductores de línea que protege.



Figura 5.17. Cartuchos fusibles calibrados.

Hoy en día, para la fabricación de hilos fusibles, se emplean aleaciones especiales estudiadas para conseguir los mejores resultados. Estas aleaciones pueden ser de cobre-plata, plomo-estaño, etcétera.

Cuando un hilo fusible se funde, las gotas de material en estado líquido se proyectan, lo que puede producir quemaduras y accidentes, incluido peligro de incendio. Por esta razón, los hilos fusibles se deben colocar en el interior de recipientes herméticamente cerrados, dando así lugar a los llamados cartuchos fusibles. La Figura 5.18 muestra el aspecto de una gama de cartuchos fusibles comerciales de diferente tamaño, así como sus calibres en amperios.

Cuando el fusible conduce una intensidad de corriente muy elevada, el hilo fusible se funde como si se tratara de una pequeña explosión. Las partículas del hilo se convierten prácticamente en gas metálico que hace que la zona donde se produce sea favorable a la conducción de dicha corriente. En estos casos puede generarse un arco eléctrico entre los contactos del fusible y producirse así una continuación del cortocircuito hasta la destrucción de la instalación. Para evitar este fenómeno, los hilos fusibles se sitúan dentro de una cámara de extinción cuya función es apagar el arco de forma rápida y efectiva. Cuanto mayor sea la corriente de cortocircuito, más difícil será apagar el arco.

Tamaño	U	kA	Calibrados en amperios													
			2	4	6	10	16	20	25	32	40	50	63	80		
8 x 31	380	20														
10 x 38	500	100														
14 x 51	500	100														
22 x 58	500	100														

Figura 5.18. Gama de cartuchos comerciales calibrados en amperios.



El poder de corte de un cartucho fusible es la intensidad que el fusible es capaz de cortar en caso de un cortocircuito a su tensión nominal.

Así, por ejemplo, si se estima que en una instalación eléctrica la corriente de cortocircuito es de 30.000 A (30 kA), el cartucho fusible deberá poseer un poder de corte superior a esta intensidad. Habitualmente este valor se expresa en kA. En la gama de fusibles de la Figura 5.18 podemos ver cómo el fusible de 8 × 31 posee un poder de corte de 20 kA, mientras que para el resto de los tamaños es de 100 kA.

Habitualmente los cartuchos fusibles poseen un elevado poder de corte, lo que garantiza que las intensidades elevadas que se dan en un cortocircuito van a ser cortadas antes de que produzcan daños irreversibles en las instalaciones.

Una de las ventajas de los cartuchos fusibles es que están calibrados en amperios. El calibre de un fusible nos indica la intensidad que puede pasar por él sin fundirse.

Cuando en una línea se supera esta intensidad, el fusible corta el circuito. La rapidez con que lo hace está en función de lo alta que sea la intensidad del fallo, tal como se muestra en las curvas de fusión facilitadas por los fabricantes.

En la Figura 5.19 se dan las curvas de fusión de los cartuchos fusibles de una cierta gama comercial. En el eje (X) se representan los valores de la intensidad. En el eje (Y) aparecen representados los tiempos de respuesta del fusible. Para averiguar este tiempo, basta con trazar una recta, perpendicular al eje X, desde la intensidad del fallo hasta la intersección con la curva correspondiente al calibre del fusible.

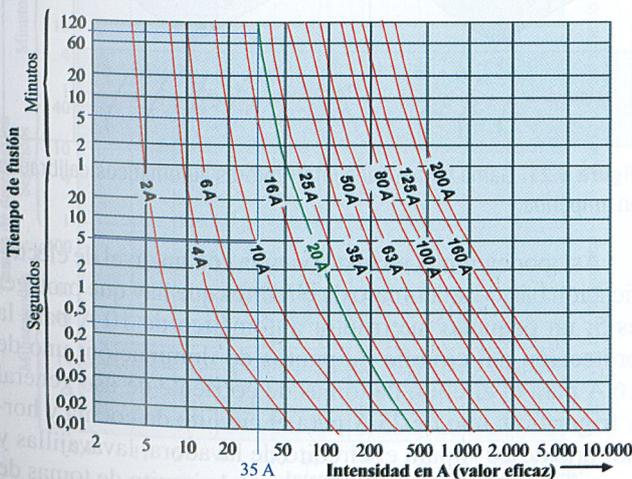


Figura 5.19. Curvas de fusión de una gama de cartuchos fusibles comerciales.

Así, por ejemplo, se puede apreciar que para una intensidad por el circuito de 35 A, el fusible de 2 A corta el circuito en un tiempo inferior a 0,01 segundos, el fusible de 6 A lo hace en un tiempo de 0,3 segundos, el de 10 A en 5 segundos, el de 16 A en 5 minutos, el de 20 A en 90 minutos, y por encima de 35 A no llega nunca a fundirse.

Otra de las características de los cartuchos fusibles calibrados es que son *selectivos*, lo que significa, tal como hemos podido apreciar en el ejemplo, que siempre funde más rápido aquel fusible que posee el menor calibre. Esto tiene una gran importancia en instalaciones con muchas ramificaciones, ya que ante un cortocircuito se consigue separar rápidamente de la red solamente la zona afectada y, además, en el tiempo más breve posible. Además no se perturba innecesariamente el servicio de energía al resto de los consumidores.

En la Figura 5.20 se muestra un ejemplo de la selectividad de los fusibles. En el caso de que aparezca un cortocircuito en el punto A de la instalación, el fusible que actuará será solo el de 10 A, ya que su tiempo de fusión es inferior al de los cartuchos fusibles de 25 y 50 A que se encuentran más cerca de la línea general de alimentación.

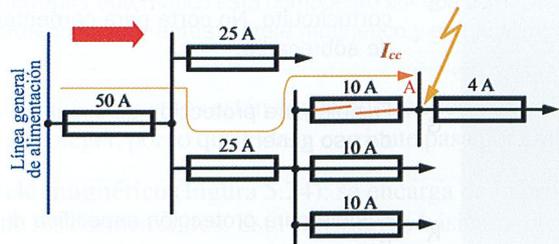


Figura 5.20. Selectividad de los cortacircuitos fusibles.

### Actividad resuelta 5.2

La potencia máxima que se prevé para la electrificación de una vivienda es de 5.750 W. Determina el cartucho fusible necesario para la protección del contador y de la derivación individual si la tensión de suministro es de 230 V.

Solución:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{5.750}{230} = 25 \text{ A}$$

Si consultamos la gama de cartuchos fusibles comerciales de la Figura 5.18, el calibre del fusible que más se acerca es el de 25 A. Aunque si no queremos fusiones intempestivas podríamos seleccionar un calibre de 40 o 50 A, siempre y cuando no exista antes una protección de menos calibre.

Se fabrican cartuchos fusibles de fusión extrarrápida, rápida y lenta, dependiendo de las características de la instalación a proteger. Así, por ejemplo, para la protección de dispositivos electrónicos con semiconductores son más adecuados los fusibles extrarrápidos; por el contrario, es mejor utilizar fusibles lentos para la protección de motores, ya que en el momento del arranque hacen circular una corriente muy elevada (punta de arranque) que desaparece en cuanto el motor alcanza sus revoluciones nominales.

La clasificación de los cartuchos fusibles en función de su tiempo de fusión está dada por dos letras, la primera minúscula y la segunda mayúscula (Tabla 5.1).

De esta forma, existen fusibles de tipo gG, gL, gR, aG, aR, etc. Así, por ejemplo, los fusibles **gL** son de uso general y son adecuados para la protección de líneas y conductores eléctricos, los **aM** se adaptan muy bien a la protección de motores y los **gR** son idóneos para la protección de dispositivos electrónicos con semiconductores.

Tabla 5.1. Nomenclatura de fusibles

Primera letra	g	Fusible limitador de corriente. Corta corrientes de cortocircuito y de sobrecarga.
	a	Fusible limitador de corriente. Corta solo en caso de corriente de cortocircuito. No corta para corrientes de sobrecarga.
Segunda letra	G	Fusible para protección de circuitos de uso general.
	K	Fusible para protección específica de líneas.
	M	Fusible para protección específica de circuitos de motores.
	R	Fusible de actuación rápida o ultrarrápida para protección de circuitos con semiconductores de potencia.

Los fusibles resultan muy seguros en la protección de cortocircuitos, pero presentan el inconveniente de que son difíciles de reponer.

Al fundirse el fusible queda inutilizado, por lo que hay que encontrar otro de las mismas características y realizar la operación de recambio. En muchas ocasiones esta operación resulta engorrosa y, si no se hace por un especialista, puede ser hasta peligrosa. Además, los fusibles reaccionan muy lentamente ante las sobrecargas. Por ejemplo, un fusible

de 16 A tarda 5 minutos en fundirse cuando se lo somete a un paso de corriente de sobrecarga de 30 A, según las curvas de la Figura 5.19. En ciertas aplicaciones este tiempo puede ser suficiente para destruir alguna parte vulnerable de la instalación.

### 5.3.5. Los interruptores automáticos

Los interruptores automáticos, también conocidos con el nombre de disyuntores, están sustituyendo en muchas aplicaciones a los fusibles, ya que protegen bien contra los cortocircuitos y actúan ante las sobrecargas más rápido y de una forma más selectiva. Así, por ejemplo, en las viviendas se instala un cuadro de mando y protección con varios interruptores automáticos. Cada uno de estos dispositivos protege de las sobrecargas y cortocircuitos a cada uno de los circuitos independientes de la vivienda. En la Figura 5.21 se muestra el aspecto de una gama comercial de interruptores automáticos, junto con sus características más relevantes.

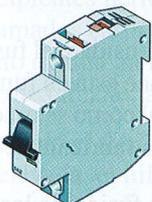
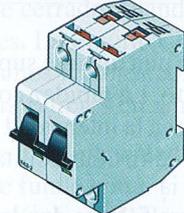
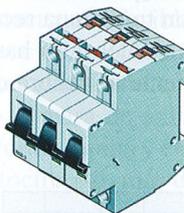
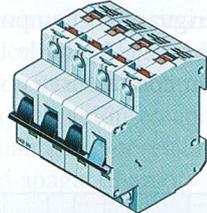
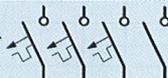
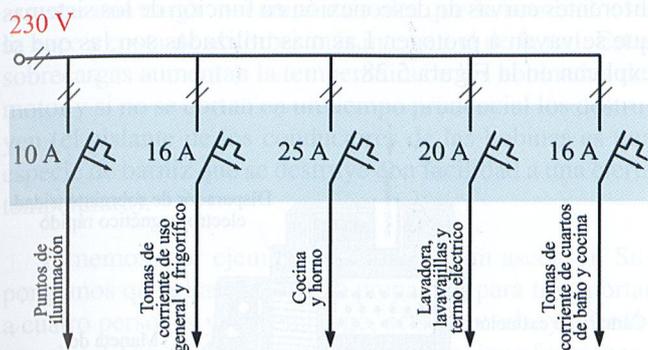
Interruptores automáticos hasta 63 A Poder de corte 6.000 A		Calibre
		0,5 A
Unipolar 	Bipolar 	1 A
		2 A
Tripolar 	Tetrapolar 	3 A
		4 A
		6 A
		10 A
		16 A
		20 A
		25 A
		32 A
		40 A
		50 A
		63 A

Figura 5.21. Gama comercial e interruptores automáticos calibrados en amperios.

Así, por ejemplo, en una vivienda con un nivel de electrificación básico, el número de circuitos que hay que proteger es 5: un pequeño interruptor automático de 10 A para la protección del circuito de puntos de iluminación; uno de 16 A para el circuito de tomas de corriente de uso general y frigorífico; uno de 25 A para el circuito de cocina y horno; uno de 20 A para el circuito de lavadora, lavavajillas y termo eléctrico, y uno de 16 A para el circuito de tomas de corriente de los cuartos de baño, así como para las bases auxiliares del cuarto de cocina (Figura 5.22).

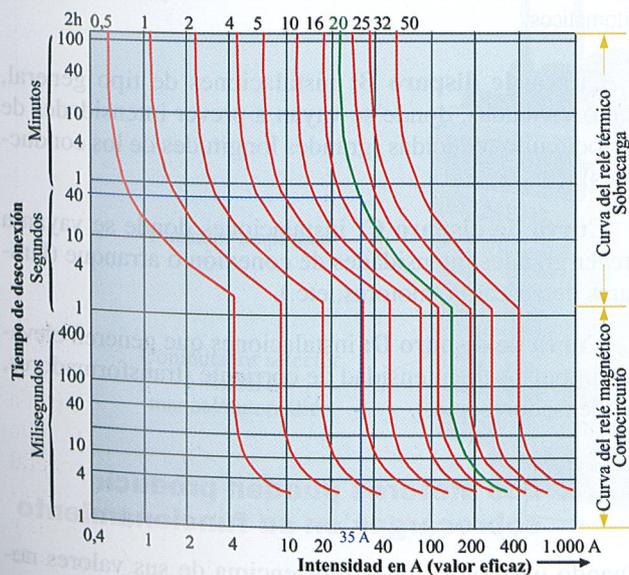


**Figura 5.22.** Interruptores automáticos protectores de los circuitos independientes de una vivienda de grado de electrificación básica.

Los interruptores automáticos tienen la ventaja de que una vez que han abierto el circuito por sobrecarga o cortocircuito se pueden reponer manualmente con rapidez (una vez que se haya reparado la causa del fallo) y sin necesidad de utilizar recambios, como ocurre en el caso de los fusibles.

Al igual que los fusibles, los interruptores automáticos se fabrican calibrados en amperios. El calibre nos indica los amperios que pueden pasar por el interruptor de una forma permanente sin que este abra el circuito; superada esta intensidad, el interruptor realiza la apertura del circuito. El tiempo de respuesta dependerá de las veces que se supere la intensidad nominal del interruptor. Para intensidades de sobrecargas este tiempo puede ser desde unos pocos segundos a unos pocos minutos. Para intensidades de cortocircuito la respuesta es mucho más rápida, del orden de milésimas de segundos.

En la Figura 5.23 se muestra, como ejemplo, el aspecto de las curvas de disparo de los interruptores automáticos.



**Figura 5.23.** Curvas de disparo de una gama comercial de interruptores automáticos.

Los diferentes calibres de los interruptores automáticos también son selectivos.

Una de las desventajas que presentan los interruptores automáticos frente a la protección que brindan los fusibles es que su poder de corte suele ser inferior al de estos últimos.

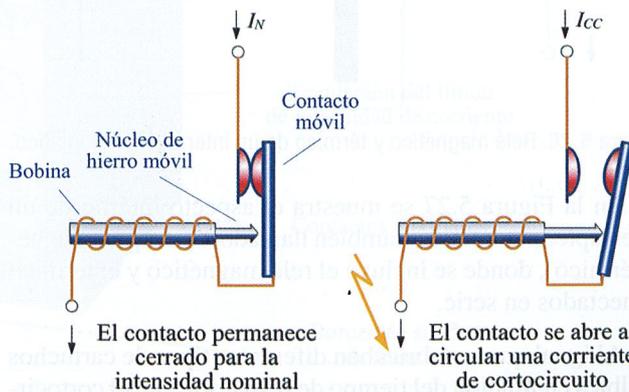
Para conseguir apagar el arco que se produce en la desconexión entre los contactos del interruptor, los automáticos disponen de una cámara de extinción del arco. Así, por ejemplo, los pequeños interruptores automáticos suelen tener un poder de corte de 1,5; 3; 4,5; 6; 10; 15; 20; y 25 kA, frente a los 40 o 100 kA que alcanzan con facilidad los cartuchos fusibles. Por esta razón, aunque los interruptores automáticos se utilizan para la protección de todo tipo de receptores y líneas, es aconsejable la instalación de un fusible general de protección que garantice la desconexión en el caso de que un interruptor automático no sea capaz de cortar una corriente demasiado elevada.

### 5.3.6. Funcionamiento de un interruptor automático

El interruptor automático está compuesto por dos dispositivos de protección diferentes: el relé magnético y el relé térmico.

Estos dos elementos están conectados en serie con el circuito a proteger, por lo que toda la corriente pasa por ambos.

**Relé magnético** (Figura 5.24): se encarga de la protección de los cortocircuitos. Está constituido básicamente por una bobina de poca resistencia eléctrica. En su interior hay un núcleo de hierro que en posición de reposo se encuentra separado de su centro. Mientras la intensidad de corriente que atraviesa la bobina sea la nominal, el interruptor permanece cerrado. Cuando la intensidad crece rápidamente, hasta valores de cortocircuito, la bobina crea un campo magnético suficientemente fuerte como para succionar el núcleo móvil que, a su vez, provoca la apertura del interruptor.



**Figura 5.24.** Relé magnético.

**Relé térmico** (Figura 5.25): se encarga de la protección de las sobrecargas. La corriente se hace pasar por un elemento bimetálico similar al de un termostato. Cuando la intensidad se eleva a valores considerados de sobrecarga, la lámina bimetálica se calienta por efecto Joule, por lo que se deforma y actúa sobre el sistema de apertura del interruptor.

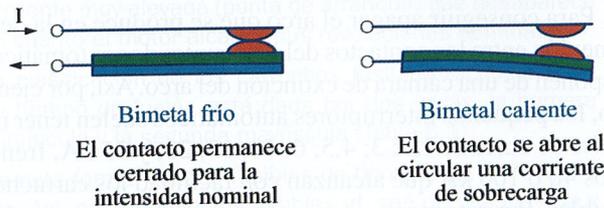


Figura 5.25. Relé térmico.

El relé térmico garantiza la protección de las sobrecargas mucho mejor que el fusible.

Así, por ejemplo, un automático de 20 A tardaría 40 segundos en cortar el circuito cuando se dé una sobrecarga de 35 A, según las curvas de la Figura 5.23. Recuerdese que un cartucho fusible de 20 A tardaba en fundir 90 minutos en esta misma situación.

En un interruptor automático se conectan en serie el relé magnético y el térmico, de tal forma que, en el caso de que fluya por él una corriente de cortocircuito o una de sobrecarga superior a la del calibre del mismo, este produzca la desconexión (Figura 5.26).

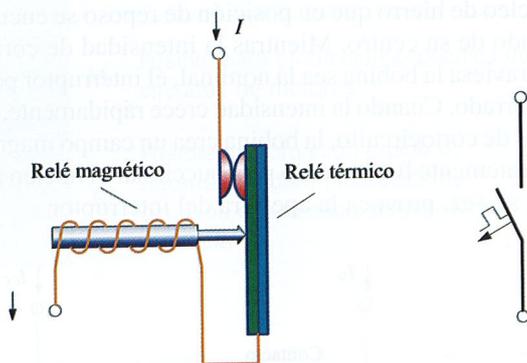


Figura 5.26. Relé magnético y térmico de un interruptor automático.

En la Figura 5.27 se muestra el aspecto interno de un interruptor automático (también llamado interruptor magnetotérmico), donde se incluye el relé magnético y el térmico conectados en serie.

Al igual que se fabricaban diferentes tipos de cartuchos fusibles en función del tiempo de respuesta ante el cortocircuito, los interruptores automáticos también se fabrican con

diferentes curvas de desconexión en función de los sistemas que se vayan a proteger. Las más utilizadas son las que se explican en la Figura 5.28.

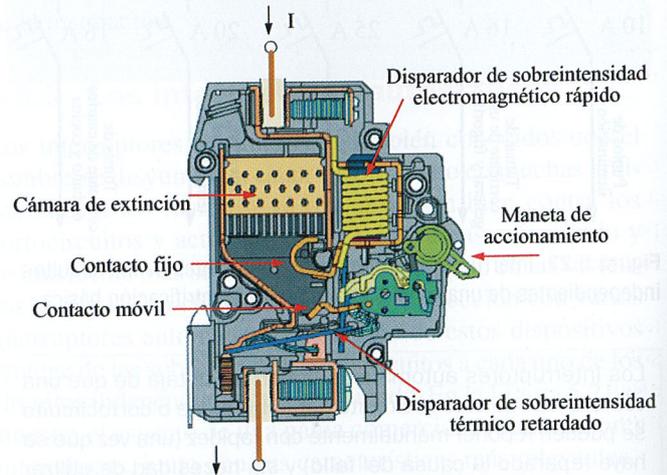


Figura 5.27. Aspecto interno de un interruptor automático.

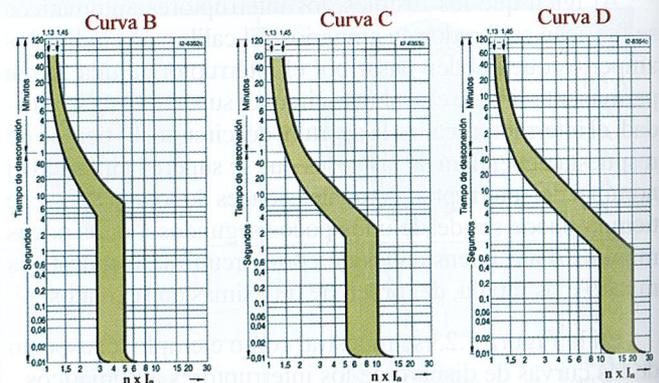


Figura 5.28. Curvas de desconexión de los interruptores automáticos.

**Curva de disparo B:** instalaciones de tipo general, como viviendas, donde se vayan a prever intensidades de cortocircuito reducidas (grandes longitudes de los conductores).

**Curva de disparo C:** instalaciones donde se vayan a prever grandes intensidades de conexión o arranque (lámparas de descarga, motores, etc.).

**Curva de disparo D:** instalaciones que generen elevados impulsos de intensidad de corriente (transformadores, condensadores, etc.).

### 5.3.7. Los motores pueden producir sobrecargas en su funcionamiento

Cuando un motor trabaja por encima de sus valores nominales se dice que está sometido a una sobrecarga. En otras palabras, cuando nosotros exigimos a un motor que



arrastrare una carga mecánica más alta que la nominal, este lo hace a costa de absorber más intensidad de la red. Estas sobrecargas aumentan la temperatura de los bobinados del motor y si no se cortan en un tiempo prudencial los destruyen (el aislante de los conductores de las bobinas es una especie de barniz que se destruye con facilidad a una cierta temperatura).

Tomemos, por ejemplo, el motor de un ascensor. Supongamos que el ascensor está preparado para transportar a cuatro personas y, sin embargo, se suben seis, y además pesadas. El motor que mueve el ascensor sigue funcionando, pero lo hace de forma forzada y a costa de absorber una mayor intensidad de corriente de la red. La única manera de cortar esta sobrecarga, antes de que el motor se sobrecaliente e incluso llegue a quemarse, es incorporar en el circuito un relé térmico especial para la protección de motores (Figura 5.29).

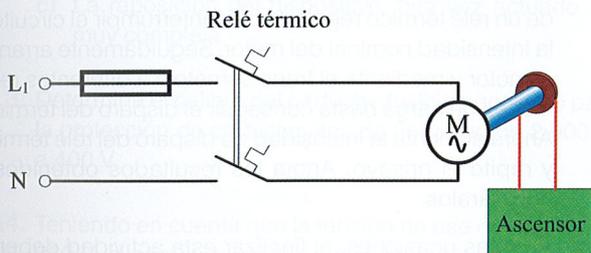
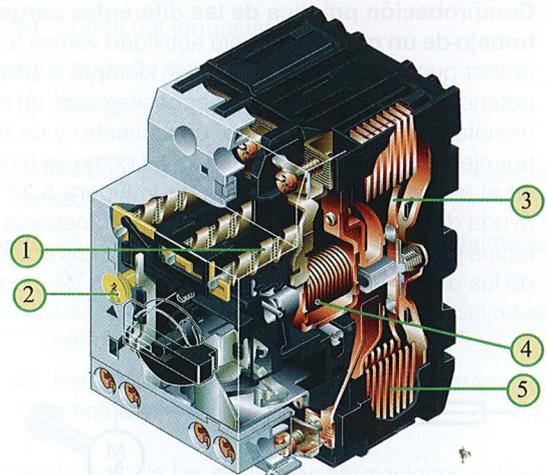


Figura 5.29. Relé térmico protegiendo un motor contra sobrecargas.

Para la protección de motores se fabrican interruptores térmicos especiales, como el que se muestra en la Figura 5.30 para motores trifásicos de corriente alterna. Este tipo de interruptores nos dan la posibilidad de poder regular la intensidad de desconexión.



1. Disparador de sobrecarga (bimetal)
2. Botón de regulación de intensidad de sobrecarga
3. Contactos
4. Disparador electromagnético de cortocircuito
5. Cámara de corte (apagachispas)

Figura 5.30. Relé magnetotérmico para la protección de motores trifásicos (Cortesía de Moeller.)

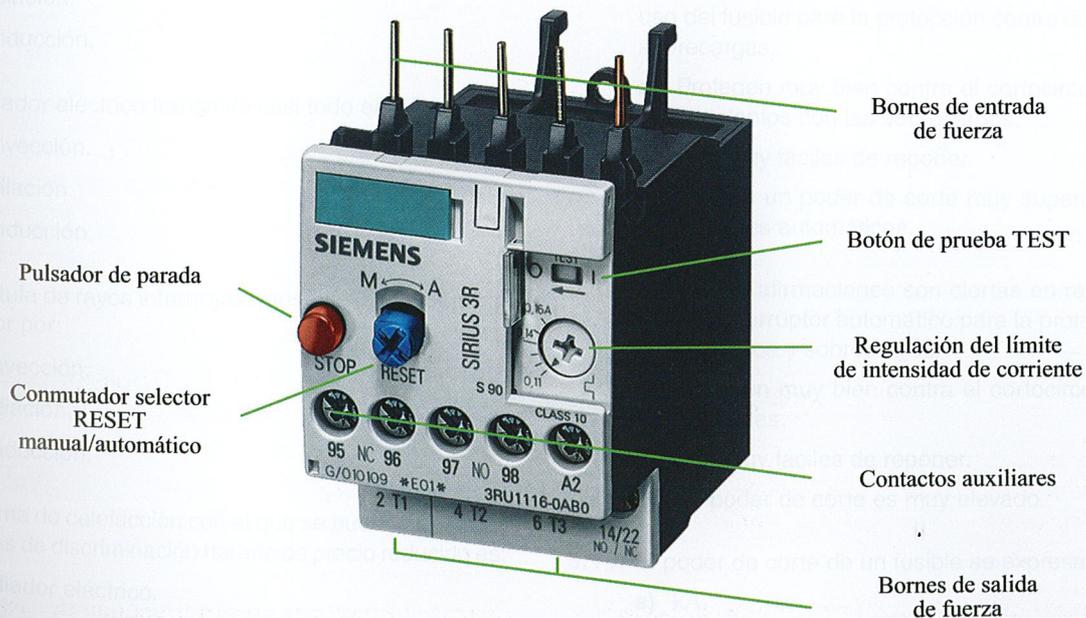


Figura 5.31. Relé térmico para protección de motores (Cortesía de Siemens).



## Comprobación práctica en el laboratorio

**5.1. Comprobación práctica de las diferentes cargas de trabajo de un motor.** Con esta actividad vamos a comprobar que los motores no trabajan siempre a la misma potencia. Para llevarla a cabo necesitaremos un motor monofásico, un amperímetro, un vatímetro y un freno, por ejemplo, de polvo magnético, tal como se muestra en el esquema de conexiones de la Figura 5.32. Con ayuda del profesor, arranca el motor y somételo a diferentes pares de frenado. Anota los resultados obtenidos de las diferentes lecturas de los aparatos de medida.

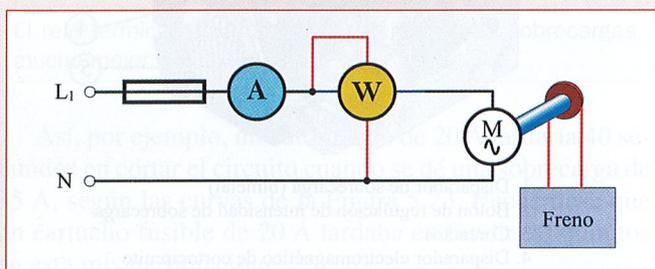


Figura 5.32.

Habrás podido comprobar que:

- El motor cuando arranca absorbe una intensidad de corriente muy elevada, que se va suavizando cuando se alcanzan las revoluciones nominales del mismo.

- Estando el freno desactivado el motor no arrastra carga alguna, exceptuando la suya propia, por lo que trabaja en vacío y tanto la intensidad de corriente como la potencia a la que trabaja son inferiores a las nominales (las características nominales aparecen indicadas en la placa de características del motor).
- Según se va sometiendo al motor a pares de frenado crecientes (trabajo en carga), la intensidad y la potencia van aumentando, pudiendo superar, incluso, valores muy superiores a los nominales (sobrecarga).

Una vez analizado el funcionamiento del motor para diferentes cargas de trabajo, alimenta el motor a través de un relé térmico regulado para interrumpir el circuito a la intensidad nominal del motor. Seguidamente arranca el motor y mediante el freno somételo a diferentes regímenes de carga hasta conseguir el disparo del térmico. Ahora aumenta la intensidad de disparo del relé térmico y repite el ensayo. Anota los resultados obtenidos y compáralos.

Como en otras ocasiones, al finalizar esta actividad deberás elaborar un informe-memoria sobre la actividad desarrollada, indicando los resultados obtenidos y estructurándolos en los apartados necesarios para una adecuada documentación de las mismas (descripción del proceso seguido, medios utilizados, esquemas y planos utilizados, cálculos, medidas, etc.).



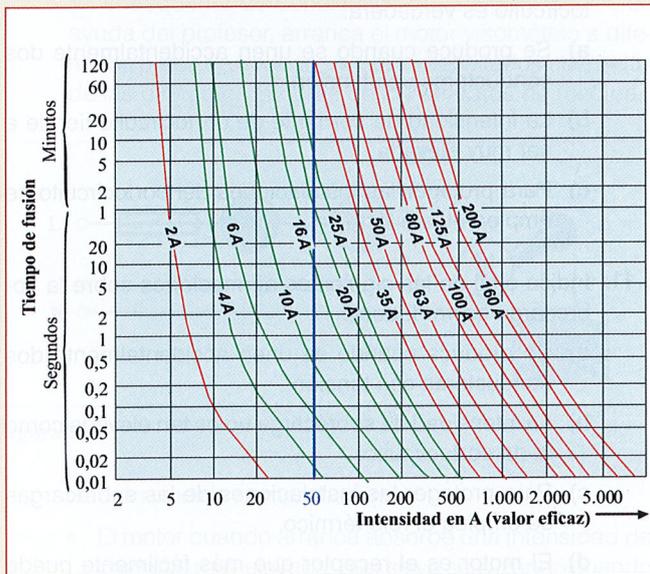
## Actividades de comprobación

- 5.1.** ¿Cómo se regula, habitualmente, la temperatura de los elementos de caldeo?
- Con el termostato.
  - Conectando resistencias en serie.
  - Con el termopar.
- 5.2.** Indica las ventajas de la utilización de los interruptores automáticos.
- Protegen adecuadamente en cortocircuitos y sobrecargas.
  - Protegen bien en cortocircuitos y no tan bien en sobrecargas.
  - La reposición del dispositivo, una vez actuado, es muy compleja.
- 5.3.** Determina el calibre del cartucho fusible necesario para la protección de cortocircuitos de un horno de 2.000 W a 400 V.
- 5.4.** Teniendo en cuenta que la tensión de uso doméstico es 230 V, averigua la potencia que se puede conectar en los diferentes circuitos de una vivienda de grado básico sin que actúen los interruptores automáticos.
- 5.5.** Una plancha para la ropa transmite casi todo el calor por:
- Convección.
  - Radiación.
  - Conducción.
- 5.6.** Un radiador eléctrico transmite casi todo el calor por:
- Convección.
  - Radiación.
  - Conducción.
- 5.7.** Una estufa de rayos infrarrojos transmite la mayor parte del calor por:
- Convección.
  - Radiación.
  - Conducción.
- 5.8.** El sistema de calefacción con el que se puede beneficiar de tarifas de discriminación horaria de precio reducido es:
- Radiador eléctrico.
  - Radiador por convección forzada.
  - Acumulador de calor.
- 5.9.** En un termo eléctrico para evitar la corrosión interna del calderín se emplea:
- Sonda del termostato.
  - Ánodo de magnesio.
  - Resistencia eléctrica blindada.
- 5.10.** Indica cuál de las siguientes afirmaciones sobre el cortocircuito es verdadera:
- Se produce cuando se unen accidentalmente dos conductores con tensión.
  - La intensidad de corriente de cortocircuito tiende a ser muy elevada.
  - Para proteger las instalaciones del cortocircuito se emplea el relé térmico.
- 5.11.** Indica cuál de las siguientes afirmaciones sobre la sobrecarga es verdadera:
- Se produce cuando se unen accidentalmente dos conductores con tensión.
  - La intensidad de sobrecarga no es tan elevada como la de cortocircuito.
  - Para proteger las instalaciones de las sobrecargas se emplea el relé térmico.
  - El motor es el receptor que más fácilmente puede producir sobrecargas.
- 5.12.** Indica qué afirmaciones son ciertas en relación con el uso del fusible para la protección contra cortocircuitos y sobrecargas.
- Protegen muy bien contra el cortocircuito, pero son muy lentos con las sobrecargas.
  - Son muy fáciles de reponer.
  - Poseen un poder de corte muy superior a los interruptores automáticos.
- 5.13.** Indica qué afirmaciones son ciertas en relación con el uso del interruptor automático para la protección contra cortocircuitos y sobrecargas.
- Protegen muy bien contra el cortocircuito y las sobrecargas.
  - Son muy fáciles de reponer.
  - Su poder de corte es muy elevado.
- 5.14.** El poder de corte de un fusible se expresa en:
- kA.
  - kW.
  - kj.

## 5. APLICACIONES DEL EFECTO TÉRMICO

**5.15.** En la Figura 5.33 se muestran las curvas de fusión de una gama de cartuchos fusibles comerciales. Determina cuál será el tiempo de fusión de los siguientes fusibles para una corriente de 50 A:

- Fusible de calibre 4 A.
- Fusible de calibre 6 A.
- Fusible de calibre 10 A.
- Fusible de calibre 16 A.
- Fusible de calibre 20 A.
- Fusible de calibre 25 A.

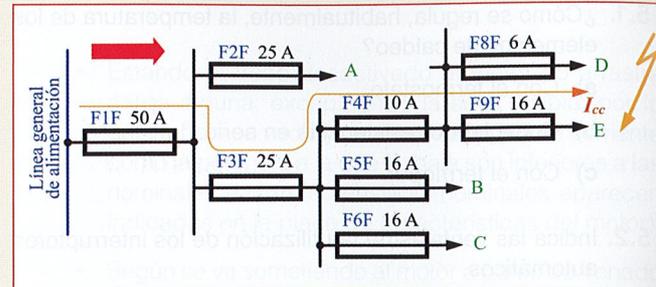


**Figura 5.33.**

**5.16.** En la Figura 5.34 se muestra el esquema correspondiente a un cuadro de protección con diferentes fusibles. La línea que alimenta al circuito E suministra energía a un motor de 5 A de intensidad nominal. En caso de cortocircuito en el circuito E:

- La línea del motor estará protegida, pero el fusible que cortará el circuito más rápido será el F4F de 10 A, dejando sin servicio eléctrico no solo al circuito E, sino también a todas las líneas que alimenta el fusible F4F, como por ejemplo la línea D.

- Es correcto, ya que el fusible de 16 A es suficiente para proteger una línea de 5 A.
- No se cumple con la selectividad de los cortocircuitos fusibles.



**Figura 5.34.**

**5.17.** En el cuadro de protección de la Figura 5.34, la línea que alimenta al circuito D suministra energía a un grupo de lámparas de 6 A de intensidad nominal. En caso de cortocircuito en el circuito D:

- Se cumple la selectividad de los fusibles, y cortará el circuito únicamente el fusible F8F que alimenta exclusivamente al circuito D.
- El calibre del fusible F8F es demasiado ajustado, y podría cortar el circuito de forma intempestiva sin que hubiese un cortocircuito.
- También se fundiría el fusible F4F, dejando sin servicio a los circuitos D y E.

**5.18.** ¿Qué tipo de fusible es más adecuado para la protección de motores?

- gL.
- gR.
- aM.

**5.19.** ¿Qué curva de desconexión de un interruptor automático es más adecuada para la protección de una instalación con motores eléctricos.

- B.
- C.
- D.