

Cómo prender una lámpara con la estufa

La mayor parte de la energía eléctrica en la Argentina se produce a partir de la energía térmica que genera la combustión de gas natural. Sin embargo, una fracción mayoritaria de dicha energía no se convierte en energía eléctrica sino que se disipa en el ambiente como *calor residual*. La *termoelectricidad* da una alternativa para recuperar una fracción de esa energía perdida, ya que permite generar electricidad a partir del calor residual y de esa manera preservar recursos no renovables como los hidrocarburos.

Los aparatos electrónicos, que consumimos y desechamos junto con las baterías que los alimentan, pueden contener elementos nocivos para la salud como el mercurio y el plomo o, en muchos casos, elementos poco abundantes o caros (oro, platino, tantalio, entre otros). Para cuidar el ambiente, y el bolsillo, es importante tener en cuenta que muchos de estos componentes electrónicos pueden ser reciclados.

En esta nota elaboramos una práctica dirigida a docentes y estudiantes avanzados de nivel secundario, que permitirá trabajar el concepto de termoelectricidad (ver CIENCIA HOY, 160) y la problemática de los desechos electrónicos y su reciclado. Parte de la práctica se basa en armar un circuito electrónico sencillo conocido como 'ladrón de joules'. Los elementos

necesarios para la práctica son económicos y varios de ellos se pueden obtener recuperando componentes electrónicos de una lámpara fluorescente. El circuito permitirá encender una lámpara tipo LED utilizando una celda termoelectrica o una pila común gastada: sí, una pila que normalmente desechamos.

¿Termo qué?

La termoelectricidad es un fenómeno que permite, en algunos materiales, obtener electricidad a partir de una fuente de calor. Si se tiene un trozo de material, como el que esquematiza la figura 1, y sus extremos se someten a temperaturas diferentes, se producirá una diferencia de potencial eléctrico (voltaje) entre ellos, es decir, se comportará de forma análoga a una pila. Dicho voltaje (V) es aproximadamente igual al producto entre el coeficiente de Seebeck (S), que caracteriza al

material, y a la diferencia de temperatura (T_1-T_2) entre ambos extremos: $V \cong S (T_2-T_1)$

El coeficiente de Seebeck varía de un material a otro, pero en general el voltaje (o tensión) que se logra producir es muy pequeño. El voltaje típico producido en los materiales termoelectricos más comúnmente utilizados (compuestos de bismuto y telurio) cuando la diferencia de temperatura es de unos 60°C es unas cien veces menor que el voltaje de 1,5 voltios que tiene una pila común AA. Las celdas termoelectricas, o módulos Peltier (ver recuadro 'Celda termoelectrica'), permiten alcanzar voltajes mayores. Aun así, el voltaje obtenido con una celda convencional es insuficiente para prender una lámpara

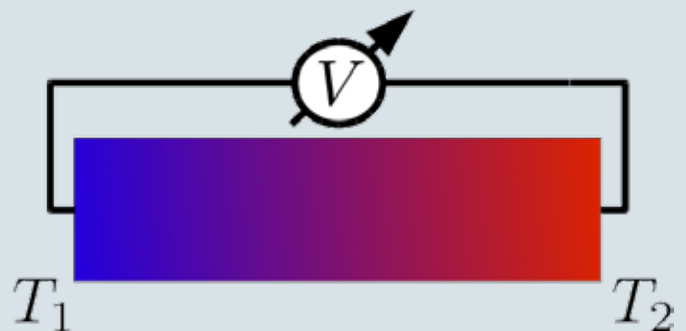


Figura 1. Trozo de material termoelectrico que genera un voltaje V entre sus extremos frío y caliente, a temperaturas T_1 y T_2 .

¿DE QUÉ SE TRATA?

Iluminados por los residuos: una aplicación termoelectrica que permite producir luz a partir del calor residual y de los componentes de una lámpara quemada y una pila agotada.

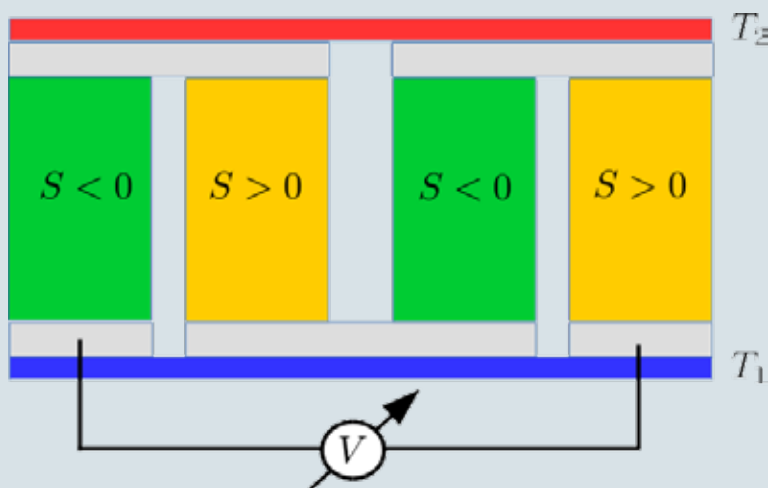
CELDA TERMOELÉCTRICA

Una celda termoeléctrica o Peltier está compuesta por numerosos termopares conectados como se muestra en la figura. Cada uno de ellos está formado por dos materiales distintos, con sus extremos en las caras de la celda, de poder termoeléctrico complementario: uno con S positivo y el otro con S negativo. Al establecer una diferencia de temperatura entre las caras, los pequeños voltajes generados por cada termopar se suman entre sí, produciendo un voltaje total mayor. Dos celdas económicas y fáciles de conseguir, como TEC1-12706 y SP1848, contienen más de cien termopares, lo que permite lograr voltajes cercanos al voltio entre sus terminales eléctricos.

Las propiedades de la celda pueden ensayarse con un voltímetro o un tester. Hay que conectar los terminales de la celda a los del voltímetro y apoyar la celda sobre una superficie metálica. Al apoyar la mano sobre la cara superior de la celda se verá aumentar el voltaje. Si se apoya la celda sobre la cara opuesta, el mismo procedimiento producirá un voltaje de magnitud similar pero de signo contrario. Este modo de operación corresponde al de 'generación de electricidad' a partir de una fuente de calor (el calor del cuerpo).

Alternativamente, el módulo Peltier puede emplearse para enfriar o calentar un objeto apoyado a una de sus caras. Si se conectan los terminales a una pila AA, se genera una diferencia de temperatura entre ambas caras de la celda que se percibe fácilmente con los dedos. Invertiendo la pila, es decir al generar una corriente

eléctrica en sentido inverso, se observa que las caras fría y caliente también se invierten. Este modo de operación corresponde al de 'refrigeración o calefacción' a partir de una fuente eléctrica como la pila.



Esquema de dos termopares conectados eléctricamente en serie y térmicamente en paralelo. T_1 y T_2 indican las caras a temperaturas fría y caliente respectivamente y la V encerrada en un círculo indica el voltaje generado. Los rectángulos verdes indican el material cuyo coeficiente de Seebeck es menor a cero y los amarillos el material cuyo coeficiente es mayor que cero. Los rectángulos grises representan el material metálico que conduce la electricidad y el calor.



Figura 2. Circuito 'ladrón de joules' que permite encender un LED mediante una celda termoeléctrica (Peltier). Al generar electricidad, el cable rojo del Peltier es el positivo si la cara más fría es la que tiene la etiqueta (en este caso 'SP1848').

tipo LED blanca que requiere de unos 3 voltios. De modo que en el recuadro de la página siguiente presentamos cómo armar un 'ladrón de joules', el circuito que permitirá superar ese inconveniente (figura 2). Finalmente, en el último recuadro brindamos una guía con indicaciones para recuperar componentes de una lámpara fluorescente que sirven para armar el mencionado circuito electrónico.

El experimento

Para poder generar electricidad con la celda termoeléctrica es necesario que sus caras estén a temperaturas diferentes. Es conveniente que la fuente de calor no esté a una temperatura muy elevada, porque las celdas no suelen soportar más de unos 150°C . Además, la tempera-

tura menor debe estar del lado correcto de la celda para lograr el voltaje de signo adecuado.

La figura 3 muestra cuatro ejemplos del experimento propuesto. Si colocamos la celda sobre un radiador (a unos 60°C) (figura 3a), el LED no se enciende porque la celda se calienta uniformemente y no hay diferencia de temperatura entre sus caras. Si la celda se coloca entre el radiador y un recipiente con agua y hielo, se logra una diferencia de temperatura suficientemente grande como para prender el LED (figura 3b). Alternativamente, se pueden usar como fuente fría una lata llena de hielo o un sobre de gel refrigerante sacado del congelador, y un recipiente con agua caliente sobre la cara opuesta de la celda (figuras 3c y 3d). Para poder encender el LED es importante establecer un buen contacto térmico entre las fuentes de calor y de frío y las caras

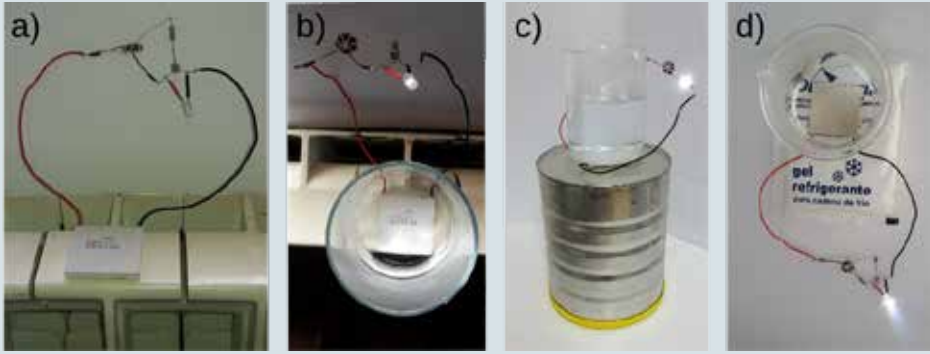


Figura 3. Empleo de distintas fuentes en el experimento propuesto. a) Peltier sobre un radiador a unos 60°C (solo fuente caliente): el LED no se enciende. b) El LED se enciende si se pone un recipiente con agua y hielo sobre el Peltier de la imagen a). c) Peltier sobre una lata con agua congelada y encima un recipiente con agua caliente a unos 80°C. d) Similar a c), sobre un gel refrigerante recién sacado del congelador.

de la celda, por ejemplo, aplicando una gota de aceite de cocina sobre las caras de la celda.

La investigación científica busca desarrollar nuevos materiales termoeléctricos con una menor resistencia eléctrica (disminuye las pérdidas por efecto Joule), una menor conductancia térmica (evita la transferencia de calor no aprovechado de la cara caliente a la fría) y con coeficientes de Seebeck más altos (se generan voltajes mayores). Si además se logra bajar el costo de dichos materiales, podría generalizarse su uso para reducir las pérdidas de energía y reducir costos. **■**

■ LADRÓN DE JOULES ■

Presentamos aquí cómo armar y ensayar un circuito electrónico que permite utilizar una celda termoeléctrica (Peltier) para encender un LED blanco.

El inconveniente de los Peltier es que el voltaje obtenido entre sus terminales es muy pequeño. Un circuito oscilante conocido como 'ladrón de joules' (LDJ) permite generar pulsos periódicos de mayor voltaje que encenderán el LED. Se lo denomina así porque permite extraer energía aún de pilas usadas que no pueden ser utilizadas en dispositivos electrónicos convencionales. Tiene pocos componentes, que son económicos e incluso pueden ser recuperados de desechos electrónicos (ver último recuadro). La figura muestra los elementos necesarios, que se detallan a continuación:

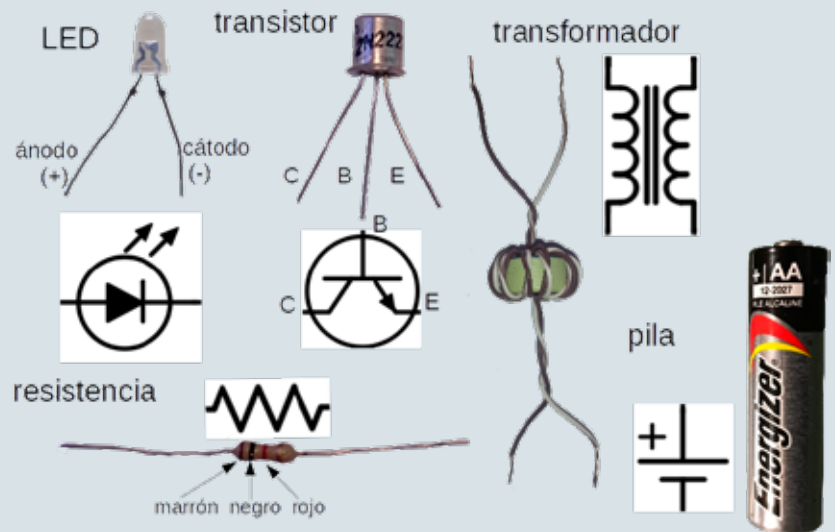


Figura a. Componentes utilizados en el armado del circuito 'ladrón de joules'.

- Un LED blanco. La pata más larga es el ánodo (+), la otra el cátodo (-). Confirmar que (i) al conectarlo a una pila AA el LED no se enciende; (ii) sí enciende al conectarlo a dos pilas AA cargadas conectadas en serie (tensión de 3 V), y (iii) no ilumina invirtiendo la polaridad, es decir, conectando el ánodo al terminal negativo de las pilas en serie.
- Un transistor, un componente con tres patas llamadas base (B), colector (C) y emisor (E). Actúa como válvula que controla, con la base, el flujo de corriente entre el colector y el emisor. Utilizamos un transistor tipo NPN: 2N2222, 2N3904, LB120A o similar.

- Una resistencia limita la corriente que ingresa a la base del transistor. Tiene dos terminales y bandas de color que codifican el valor de resistencia. Puede tener entre unos 10Ω y 10kΩ.
- Un transformador con núcleo toroidal de ferrita y dos bobinados de igual cantidad de vueltas. Cumple la doble función de almacenar energía en forma de flujo magnético y de controlar la operación del transistor como interruptor. Se puede fabricar arrollando unas diez vueltas de un par de alambres aislados alrededor del toroide (figura a).
- Una pila tipo AA de 1,5 voltios o similar. También se puede ensayar el circuito con una pila recargable o una pila 'gastada'.

La forma de conectar los distintos componentes se muestra en la figura b a): a la izquierda puede observarse el esquema del circuito, mientras que a la derecha se ve una foto de uno en operación. Los terminales de los distintos componentes pueden soldarse entre sí, o pueden unirse simplemente retorciéndolos juntos. En la imagen b b) se captura el momento en que estamos ensayando el circuito, alimentándolo con una pila AA. A la izquierda, se ve que el LED blanco conectado al LDJ está encendido, mientras que a la derecha un LED conectado en forma directa a la pila está apagado.

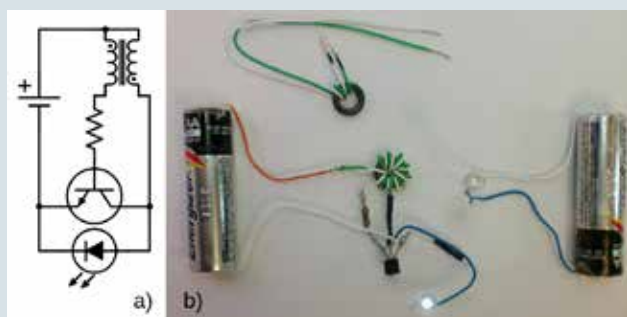


Figura b. Circuito LDJ. a) Diagrama del circuito electrónico con los símbolos definidos en la figura a. b) Circuito en funcionamiento: el LED alimentado por el LDJ está encendido, mientras que un LED similar alimentado por una pila de 1,5 voltios no emite luz. El núcleo de ferrita y el transistor LB120A de este LDJ se reciclaron según se indica en el último recuadro y arriba se observa un núcleo toroidal de ferrita en proceso de bobinado.

El LED se enciende porque el LDJ produce, a partir de un voltaje ‘pequeño’ y continuo provisto por la pila de 1,5 voltios uno mayor, que supera los 3 voltios necesarios para encender el LED. Dicho voltaje mayor no es continuo, sino que se trata de pulsos de muy corta duración que se repiten decenas o centenas de miles de veces por segundo en una secuencia prendido-apagado que es imperceptible para nuestros ojos. El LDJ es un tipo particular de circuito oscilador conocido como ‘oscilador de bloqueo’, pues la mayor parte del tiempo la circulación de corriente está ‘bloqueada’ por el transistor que actúa como válvula o interruptor. Si se dispone de un osciloscopio se puede medir la señal oscilante conectando la punta de prueba entre las patas del LED. En algunos casos, i hasta se puede detectar una interferencia en una radio AM!

Para entender intuitivamente el funcionamiento del ladrón de joules es posible utilizar una analogía hidráulica, es decir, describir el principio de funcionamiento del circuito electrónico utilizando elementos como tanques de agua y cañerías. El LDJ guarda alguna analogía con la bomba de ariete, que permite subir agua desde una fuente hacia alturas mayores, y que se describe en la figura c. En el LDJ, la pila juega el rol de la fuente y el transistor, el de la válvula, abriendo o cerrando el paso de la corriente. El toroide con un bobinado por el que circula corriente encuentra su análogo en la cañería con agua en movimiento. Mientras que cortar el paso

del agua por la cañería produce un pico de presión que empuja el agua a alturas mayores a la de la fuente, cortar el paso de corriente por el toroide produce un pico de tensión que permite llegar a voltajes más altos que el de la pila.

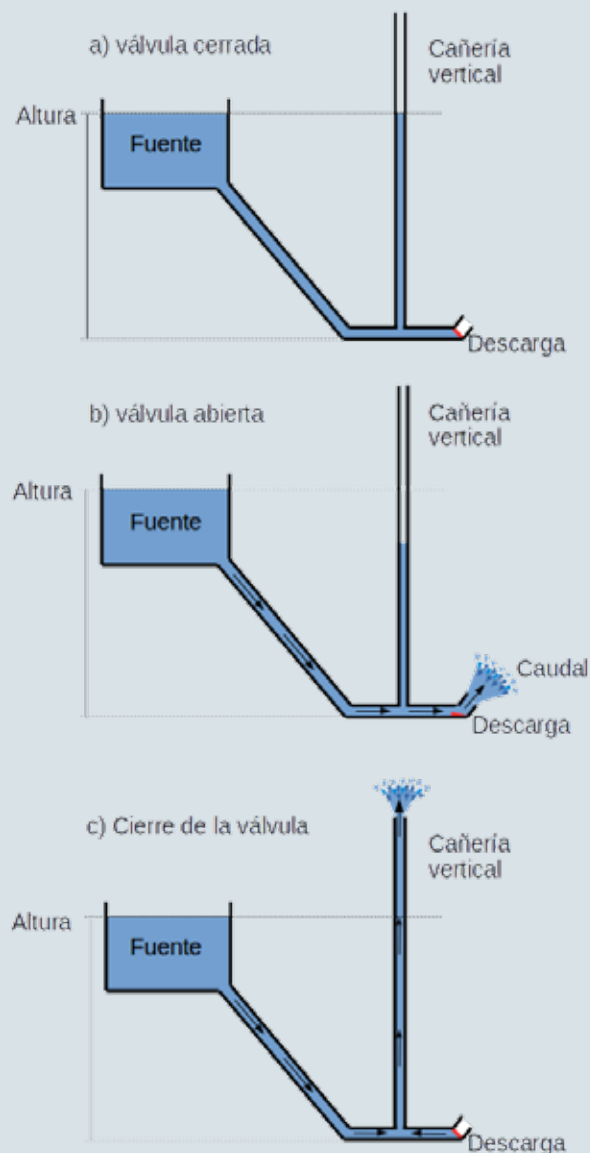
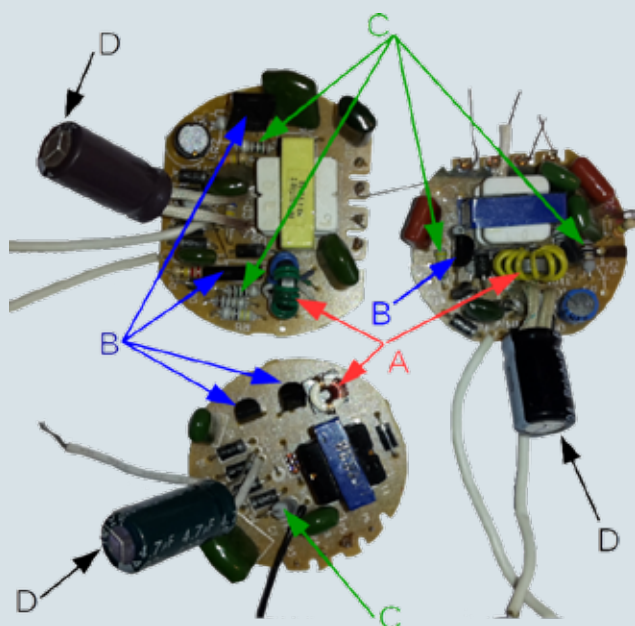


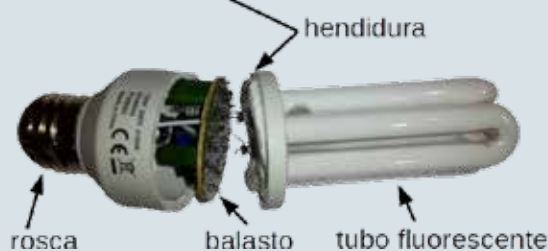
Figura c. a) Con la válvula roja de la descarga cerrada la altura del agua en la cañería vertical es igual a la de la fuente. En esta situación, la válvula roja de la descarga se abre automáticamente accionada por su propio peso. b) El agua comienza a fluir por la cañería y sale por la descarga. A medida que el agua se va acelerando, el caudal aumenta. Si el caudal es suficientemente alto, la válvula se cierra súbitamente accionada por el paso del agua. c) Al cerrarse la válvula, nos encontramos con una cañería llena de agua en movimiento que tiene que detenerse de golpe. Esto produce el llamado *golpe de ariete*, que es un fuerte aumento de la presión dentro de la cañería. El agua sube por la cañería vertical y puede llegar a alturas mucho mayores a la de la fuente antes de detenerse. Esto último ocurre por un intervalo breve y solo una fracción del agua logra llegar a una altura superior a la original. Luego de dicho intervalo, la presión dentro de la cañería baja, la válvula se abre nuevamente y se vuelve a la situación en b).

¿CÓMO RECUPERAR COMPONENTES DE UNA LÁMPARA FLUORESCENTE COMPACTA?

Las lámparas fluorescentes compactas, también llamadas de 'bajo consumo', combinan un tubo fluorescente con un circuito electrónico conocido como balasto. En general, varios de sus componentes electrónicos pueden ser recuperados y son útiles para armar el circuito LDJ, tal como se muestra en la figura de la derecha.



Tres balastos diferentes de lámparas fluorescentes compactas. En el balasto de una lámpara fluorescente suele haber un toroide de ferrita (A), uno o más transistores (B), resistencias (C) y capacitores (D), entre otros componentes.



Para abrir la lámpara fluorescente es conveniente sujetar su rosca con una morsa. Con una sierra cortar el plástico aproximadamente 1mm de profundidad en la hendidura que tiene la lámpara alrededor de todo el perímetro.

Una vez abierta la lámpara, hay que cortar los cables que unen el balasto a la rosca de la lámpara y al tubo. Si accidentalmente se rompe el tubo es importante ventilar inmediatamente la habitación, ya que contiene pequeñas cantidades de mercurio, y eliminar con cuidado los restos de polvo y vidrio. Los componentes pueden extraerse desoldando sus patas o simplemente cortándolas con un alicate.

LECTURAS SUGERIDAS

CORNAGLIA PS, 2018, 'En busca del calor perdido. Efecto Seebeck y materiales termoeléctricos', CIENCIA Hoy, 27: 20-25.

Hojas de datos de componentes en <https://www.alldatasheet.com/>.

Celda termoeléctrica en <http://peltiermodules.com/peltier.datasheet/TEC1-12706.pdf>.

Videos explicativos en <https://youtu.be/F8ZWmQfBuko>, <https://youtu.be/RC16MwzFq8A>.



Pablo S Cornaglia

Doctor en física, Instituto Balseiro, UNCuyo.
Investigador independiente del Conicet en el Centro Atómico Bariloche.
Profesor adjunto, Instituto Balseiro, UNCuyo.
pablo.cornaglia@cab.cnea.gov.ar



Pablo Pedrazzini

Doctor en física, Instituto Balseiro, UNCuyo.
Investigador adjunto del Conicet en el Centro Atómico Bariloche.
Jefe de trabajos prácticos, Instituto Balseiro, UNCuyo.
pedrazp@cab.cnea.gov.ar