

DEMO 81

BOTELLA DE PLÀSTIC COMA MÁQUINA TÈRMICA DE CARNOT



Fig. 1a



Fig. 1b



Fig. 1c

Autor de la ficha	Roberto Pedrós
Palabras clave	Segundo Principio de la Termodinámica; calor; trabajo; máquina térmica
Objetivo	Estudiar la formulación de Carnot del segundo principio de la Termodinámica
Material	Este material coincide con el de la demostración D65 (Efectos de la presión I: colapsar una botella) Hervidor de agua; botella de plástico; agua fría; agua a temperatura ambiente; recipiente de boca ancha
Tiempo de Montaje	5 minutos

Descripción

Máquina térmica

Una máquina térmica es un dispositivo que permite convertir calor en trabajo. En las máquinas térmicas (representadas esquemáticamente en la figura 2) se toma calor de un foco caliente Q_h , parte se invierte en realizar trabajo W y parte se cede al foco frío Q_c . Podemos considerar varios ejemplos, como el motor de combustión interna o la máquina de vapor.



En el contexto de la revolución industrial, el ingeniero militar Sadi Carnot se planteó cuál era la cantidad máxima de trabajo que se podía extraer quemando un kilogramo de carbón. Carnot había observado que el rendimiento de las máquinas térmicas británicas era muy superior al de las francesas y se propuso encontrar la razón. Se planteó de qué factores dependía el rendimiento y mediante sus estudios concluyó que:

- el rendimiento no depende de la sustancia que se utilice en la máquina: vapor de agua, aire, amoníaco...
- el rendimiento no depende de la presión que se alcance en la máquina térmica
- el rendimiento sólo depende de la temperatura del foco caliente y del foco frío

Vamos a observar este último punto.

Fig. 2. Máquina térmica

Procedimiento

- 1) Aplastamos una botella vacía de agua y le ponemos el tapón (Fig. 1a). La dejamos en el recipiente de boca ancha.
- 2) Vertemos agua a temperatura ambiente sobre la botella. No observaremos ningún efecto.
- 3) Calentamos agua y, cuando hierva, la vertemos sobre la botella. Observaremos que ahora la botella se hincha (Fig. 1b). Al suministrarle calor a la botella, parte se emplea en realizar trabajo (haciendo que se muevan las paredes de la botella) y el resto se almacena en forma de energía interna (se calienta la botella y aumenta la presión del aire dentro).
- 4) Ahora vertemos, de nuevo, agua a temperatura ambiente sobre la botella. No notaremos apenas el efecto sobre la botella.
- 5) Si echamos sobre la botella agua fría, observaremos que la botella vuelve a arrugarse.

Discusión

La botella con aire dentro, el agua caliente y el agua fría representan una máquina térmica. Con la demostración hemos ilustrado: (1) el funcionamiento de una máquina térmica; (2) el trabajo que realiza depende de las temperaturas de sus focos.

- 1) La expansión y contracción de la botella muestra el mismo principio que se utiliza en las máquinas térmicas: se utiliza el vacío que crea la condensación de un gas para realizar un trabajo. En los motores, el calor suministrado por la combustión (de gasoil) o explosión (de gasolina) hace que se expanda un gas empujando los pistones. A continuación, se suministra frío que hace que el gas condense, disminuyendo la presión y comprimiendo así los pistones. Ese movimiento de los pistones hacia delante y atrás se puede utilizar para producir trabajo. Por ejemplo, se puede convertir en un movimiento de rotación mediante un mecanismo de biela – manivela (como el cigüeñal) y mover las ruedas de un vehículo.
- 2) El rendimiento de una máquina térmica se define como el trabajo realizado con respecto al calor suministrado. Sus valores oscilan entre 0: nada de trabajo producido; y 1: todo el calor se transforma en trabajo. Hemos visto que, cuando mayor sea la temperatura suministrada en el foco caliente mayor es la expansión del gas. Y cuanto menor sea la temperatura del foco frío mayor es la compresión. Así que cuanto más alta sea la temperatura del foco caliente y más baja la del foco frío, mayor será el rendimiento. Ese es el resultado al que llegó Carnot.

Segundo Principio de la Termodinámica

Desde el punto de vista histórico resulta curioso que Carnot justificara esta afirmación sobre el rendimiento de la máquina térmica a partir de la teoría del calórico. Más tarde se demostró que la teoría del calórico era incorrecta por lo que los resultados de Carnot quedaron sin base teórica. Clausius solucionó el problema proponiendo que los resultados de Carnot constituyeran el Segundo Principio de la Termodinámica, con un enunciado semejante a: *“No es posible ninguna máquina térmica con un rendimiento mayor que el de la máquina térmica ideal”*. La máquina térmica ideal (o reversible) es aquella en la que el gas es ideal, no existen pérdidas por fuerzas disipativas, no se pierde calor por conducción y los procesos son reversibles. El rendimiento de la máquina térmica ideal se expresa de la siguiente manera

$$\eta = \frac{\text{Trabajo producido}}{\text{Calor suministrado}} = 1 - \frac{T_c}{T_h} \quad (1)$$

Siendo T_c la temperatura del foco frío y T_h la temperatura del caliente, ambas en kelvin. Analicemos el enunciado expuesto más arriba. Las máquinas térmicas reales tienen pérdidas por distintas causas, entre ellas: rozamiento, viscosidad, calor cedido al propio motor... Aún eliminando todas esas pérdidas, es decir, teniendo un motor perfecto, el Segundo Principio afirma que existe un límite teórico en el rendimiento que impide que todo el calor se transforme en trabajo. El límite queda fijado por las temperaturas de los focos. Si observamos la ecuación (1), veremos que para lograr un rendimiento igual a uno tendríamos que conseguir $T_c \rightarrow \infty$ o bien que $T_h = 0K$, y ninguna de las dos condiciones es posible. Una temperatura infinita es inalcanzable por definición; la temperatura de 0 K (-273.15°C) no ha sido posible de alcanzar experimentalmente (desde 1999 el récord es de 100 picokelvin o 0.000 000 0001 K) y ha sido postulado que es inalcanzable.

Esta idea de que no todo el calor puede convertirse en trabajo condujo a Clausius a introducir el concepto de entropía.

Advertencias

Utilizar el guante de cocina para sostener la botella para evitar quemaduras con el agua hirviendo.