



MOTOR TÉRMICO

1. Objetivos

Hacer funcionar un motor térmico sencillo que trabaja entre dos fuentes de calor, dibujar su ciclo en un diagrama PV y calcular su rendimiento.

2. Fundamentos teóricos

Un *motor térmico* es un dispositivo que realiza un proceso cíclico a lo largo del cual *absorbe calor del ambiente y realiza un trabajo sobre él*. Generalmente, al usar un motor térmico lo que se persigue es realizar trabajo, por lo que se define el rendimiento, η , como:

$$\eta = \frac{|W|}{Q_{ab}} \quad [1]$$

siendo Q_{ab} el calor *absorbido* en un ciclo y W el trabajo *neto* intercambiado en un ciclo. Por el Segundo Principio de la Termodinámica el rendimiento siempre es menor que 1, es decir, no todo el calor absorbido se puede "transformar" en trabajo.

Un motor térmico (Figura 1) suele representarse como un sistema cíclico cerrado, Σ , que toma calor de un foco caliente, a temperatura T_2 , y cede el calor que no ha transformado en trabajo a un foco frío, a temperatura T_1 (esta es una representación esquemática, porque podemos tener más focos o las temperaturas de éstos pueden no ser constantes, pero es adecuada para muchos casos). Con el esquema de la figura, $Q_{ab}=Q_2$ y, de acuerdo con el Primer Principio de la Termodinámica, se tiene que cumplir que $|W|=|Q_2|-|Q_1|$.

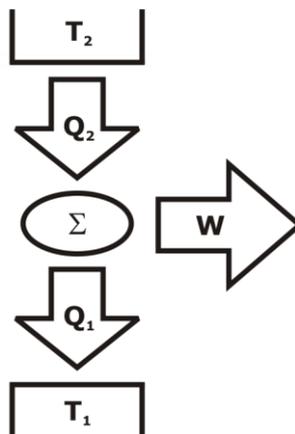


Figura 1. Motor térmico

La *substancia de trabajo* que experimenta el proceso cíclico en el motor térmico puede ser en principio cualquiera, pero lo habitual es que sea un gas, porque es posible conseguir mayores cambios de volumen y por tanto mayores trabajos. Entonces, bastan dos variables de estado para especificar el estado del sistema, y el proceso puede representarse en un diagrama PV. Por tratarse de un proceso cíclico, su representación es una curva *cerrada*. Es

fácil ver que para que el sistema realice trabajo sobre el exterior, la curva se tiene que recorrer en el sentido de las agujas del reloj (si recorremos la curva en sentido contrario, invertimos el signo de W y Q y el ciclo corresponde a una máquina térmica que no es un motor sino un *frigorífico*).

3. Para saber más...

- TIPLER, PA & MOSCA, G. "Física" Volumen 1. 5ª edición. Ed. Reverté, 2005. (Capítulos 18 y 19)

En internet

<http://www2.ubu.es/ingelec/maqmot/StirlingWeb/maquinas/maquinastermicas.htm>

4. Material

1. Cilindro de vidrio graduado con pistón, plataforma y válvulas de cierre.
2. Tubos y conectores.
3. Cilindro metálico con tapa de goma.
4. Baño de agua fría.
5. Baño de agua caliente.
6. Termómetros
7. Pesas de masa conocida.
8. Calibre.
9. Regla.

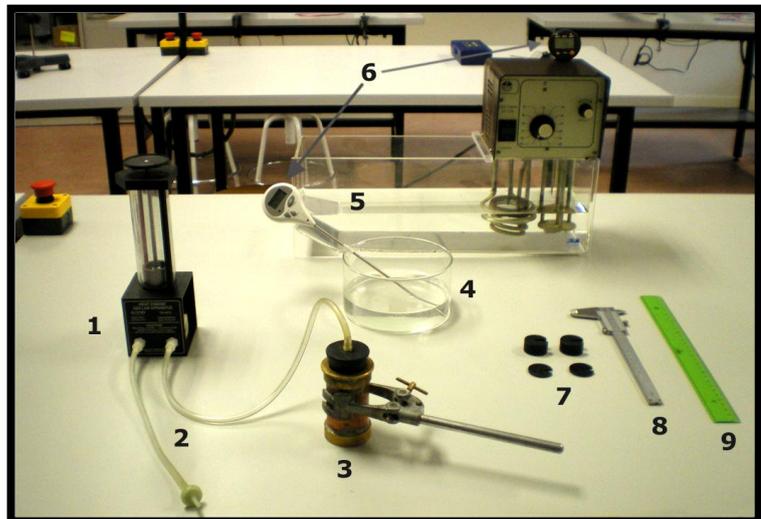


Figura 2

5. Método experimental

5.1 Descripción del sistema de medida

La sustancia de trabajo es aire, que está encerrado en dos cilindros (Figura 3). Uno es de vidrio y está cerrado por un pistón que ajusta con rozamiento despreciable, encima del cual hay una plataforma en la que pueden colocarse pesas. El otro cilindro es metálico y está cerrado con un tapón de goma. Ambos están unidos por un tubo, que atraviesa el tapón de cierre del cilindro metálico y se conecta al cilindro de vidrio por una válvula de entrada, que debe permanecer siempre abierta. Hay también una válvula de salida, que se debe mantener cerrada, excepto para posicionar el pistón al principio del experimento.

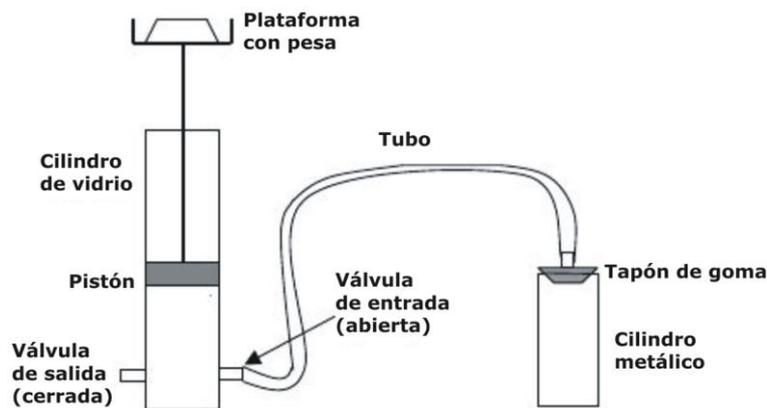


Figura 3. Esquema del sistema experimental

Como focos caliente y frío disponemos de dos baños de agua, uno de ellos con un calentador y el otro a temperatura ambiente. El cilindro metálico, buen conductor del calor, se sumergirá en un baño u otro en distintas etapas del ciclo. Se comprueba que, al sumergirlo en el baño caliente, la plataforma asciende debido a la dilatación del gas. En este momento el sistema está haciendo trabajo. Este trabajo puede aprovecharse, por ejemplo, para levantar un peso.

La idea del motor térmico consiste en aprovechar este trabajo indefinidamente. Para ello, tenemos que devolver al sistema al estado inicial, de modo que podamos repetir cuantas veces queramos este ascenso de la plataforma. Hay varias maneras de volver a la situación inicial, lo cual define distintos ciclos. El proceso concreto que vamos a seguir es el siguiente:

- λ Comenzamos con el pistón a media altura, el cilindro metálico sumergido en el baño de agua fría y con una pesa sobre la plataforma. El sistema está en equilibrio; llamamos a este estado **ESTADO A**.
- λ Sacamos el cilindro metálico del baño frío y lo introducimos en el baño caliente. Inmediatamente el pistón asciende, estabilizándose a cierta altura, en el **ESTADO B**.
- λ Quitamos la pesa de la plataforma y observamos que ésta asciende ligeramente hasta estabilizarse de nuevo, en el **ESTADO C**.
- λ Ahora retiramos el cilindro metálico del baño caliente y lo sumergimos en el frío. La plataforma baja hasta estabilizarse, en el **ESTADO D**.
- λ Añadimos ahora la pesa a la plataforma y ésta desciende ligeramente, hasta alcanzar el equilibrio. De este modo hemos completado el ciclo: estamos de nuevo en el **ESTADO A**.

En el **proceso de A a B**, el sistema ha recibido calor del baño caliente y ha realizado un trabajo para levantar la pesa, venciendo a la gravedad y a la presión atmosférica. En el **proceso de B a C**, el sistema también ha realizado trabajo para levantar la plataforma, pero podemos considerar que el cilindro metálico ya está en equilibrio térmico con el baño caliente y no hay intercambio de calor. En el **proceso de C a D**, el sistema cede calor al foco frío y, como la plataforma baja, recibe trabajo del exterior. Finalmente, en el **proceso de D a A**, el cilindro metálico ya está a la temperatura del baño frío, por lo que no hay intercambio de calor, pero el sistema recibe todavía algo de trabajo porque la plataforma desciende algo más.

Hay que advertir que el pistón no cierra perfectamente: hay una pequeña fuga, especialmente cuando la pesa está sobre la plataforma. Esta pequeña pérdida de gas hace que, al completar el ciclo, no se vuelva al mismo estado, sino que el volumen sea algo menor que el inicial. Estimaremos los efectos de esta fuga.

5.2 Preparación del sistema de medida y medidas previas:

- λ Preparar los baños caliente (programando el calefactor a 40-50°C) y frío (con agua del grifo). Poner un termómetro en cada baño.
- λ Utilizar el calibre y la regla para medir el volumen de aire contenido en el cilindro metálico y en los tubos de conexión.
- λ Colocar el tapón de goma del cilindro metálico apretándolo fuertemente. Comprobar que está conectado mediante el tubo a la válvula de entrada del cilindro de vidrio (abierta) y que la válvula de salida está cerrada. De este modo el sistema está cerrado y debe ser difícil mover el émbolo (si se moviera con facilidad indicaría que el aire puede entrar o salir libremente).

5.3 Calibrado de la fuga del pistón:

- λ Abrir la válvula de salida y desplazar manualmente el émbolo hasta que su base esté a unos 90 mm de altura. Cerrar la válvula. Anotar la posición del pistón.
- λ Acto seguido, colocar suavemente la pesa sobre la plataforma y poner en marcha el cronómetro. Al colocar la pesa, la plataforma descenderá ligeramente. Anotar la posición a la que ha descendido.
- λ Debido a la fuga del pistón, la plataforma irá descendiendo lentamente. Anotar cada minuto la altura del pistón, durante cinco minutos. Al cabo de ese período el pistón debe haber descendido menos de 35 mm. En caso contrario hay alguna fuga adicional, que debe corregirse inspeccionando las válvulas y cierres y repitiendo la medida. (En todo este proceso, el cilindro metálico permanece sin sumergir).

NOTA: Los datos medidos permiten cuantificar la fuga cuando hay pesa, realizando una gráfica del volumen frente al tiempo (ver plantilla). La fuga sin pesa es mucho más pequeña y no la tendremos en cuenta.

5.4 Secuencia de medidas para la realización del ciclo:

- 1 - Anotar las temperaturas de los baños caliente y frío.
- 2 - Anotar la presión atmosférica en el laboratorio.
- 3 - Poner la pesa en la plataforma, abrir la válvula de salida para colocar el pistón a unos 30 mm de altura y cerrarla de nuevo.
- 4 - Sumergir el cilindro metálico en el baño de agua fría. Anotar la altura a la que queda el émbolo (**ESTADO A**) y poner en marcha el cronómetro. En lo sucesivo, cada vez que se anote una altura deberá anotarse también la correspondiente lectura del cronómetro.
- 5 - Proceso de A a B: Sumergir el cilindro metálico en el baño caliente. Anotar hasta qué altura sube el émbolo (**ESTADO B**).

6 - Proceso de B a C: Acto seguido, quitar la pesa y anotar la altura a la que queda el émbolo (**ESTADO C**).

7 - Proceso de C a D: Sacar el cilindro del baño caliente y sumergirlo en el frío. Anotar la altura a la que baja el émbolo (**ESTADO D**).

8 - Proceso de D a A: Poner suavemente la pesa en la plataforma y anotar la nueva altura del émbolo. En este momento, hemos completado un ciclo (**ESTADO A**).

9 - Realizar otros cuatro ciclos consecutivamente, anotando cada altura y los tiempos correspondientes. Al final, anotar de nuevo las temperaturas de los baños caliente y frío.

NOTA: Los ciclos deben realizarse rápidamente, sin interrupciones y de la manera más regular posible, por lo que suele venir bien hacer algún ensayo antes de tomar los datos y distribuirse las tareas.