

# Máquinas térmicas

El desarrollo de las máquinas ha sido uno de los factores clave en el establecimiento de las modernas sociedades de bienestar.



En esta unidad pretendemos que comprendas el papel que han cumplido las máquinas a lo largo de la historia: primero como simples **ahorradores de fuerza humana**; después como artefactos capaces de **aprovechar fuerzas naturales del tipo del viento o el agua**; finalmente como aparatos sofisticados capaces de **convertir unas formas de energía en otras**, siempre a nuestro servicio. También podrás aprender que la Naturaleza impone algunas limitaciones a estas transformaciones.

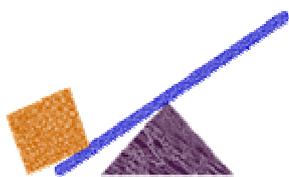
El botón avanzar te permite ver el detalle de nuestros objetivos.

## Objetivos de la unidad

- **Comprender el concepto de máquina simple como instrumento que ahorra fuerza pero no trabajo.**
- **Entender la forma en que se produce la conversión de la energía del viento o el agua en la energía mecánica de un movimiento circular.**
- **Asimilar la equivalencia entre energía mecánica y calor.**
- **Formular el primer y segundo principio de la Termodinámica de una forma sencilla.**
- **Aprender a manejar las formulaciones matemáticas de estos principios para realizar predicciones sencillas sobre el funcionamiento de máquinas.**

## ¿Qué es una máquina?

### 1.1 Una máquina simple

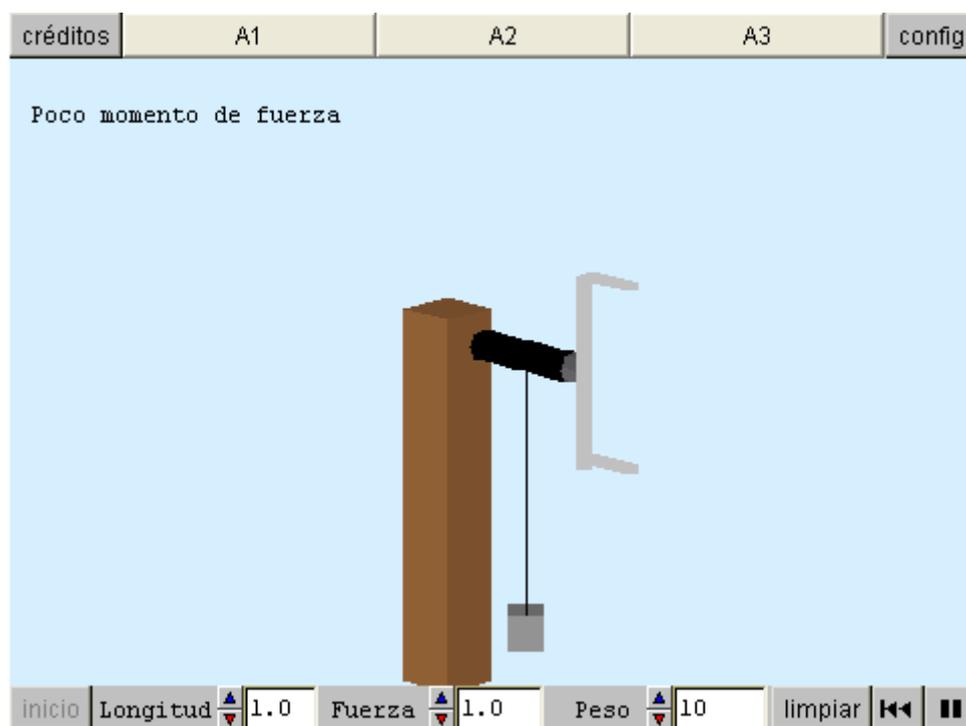


Las máquinas son artefactos destinados a disminuir el esfuerzo necesario para realizar tareas penosas. En la imagen ves una palanca, la máquina más simple de la historia. Utilizándola logramos levantar un gran peso con una fuerza relativamente pequeña.

En esta máquina ya aparece una característica muy generalizada en el mundo de las máquinas: el aprovechamiento de las características del movimiento circular (toda la palanca gira en torno al punto de apoyo).

En la escena siguiente estudiamos otra máquina simple para definir la utilidad de esta clase de aparatos y comprender sus limitaciones.

Polea accionada por una manivela.



A1:

Inicialmente no podemos subir el peso porque hace falta más momento de fuerza.

¿Recuerdas el valor de esta magnitud?. Aumenta la longitud de la manivela, justo hasta que el movimiento sea posible. Pulsa el botón de animación y observa el trabajo que se produce.

Vuelve a inicio y realiza la misma experiencia aumentando sólo la fuerza.

¿Qué observas respecto al trabajo producido de cada una de estas dos maneras?

A2:

El brazo del peso mide 0,25 m. de radio. Utilizando diferentes valores de peso, busca experimentalmente la menor longitud y fuerza posible para levantar el peso.

Calcula el momento de la fuerza respecto al eje y el momento del peso respecto al eje. ¿Qué observas? ¿Por qué es útil esta máquina?

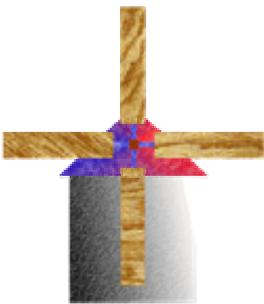
A3:

Para diferentes valores del peso, anota el trabajo que se produce con diversas combinaciones de longitud y fuerza aplicada. Confecciona una tabla con los diferentes valores en tu cuaderno, apuntando también el trabajo que se produce en cada caso.

Para cada valor del peso ¿qué observas respecto al trabajo realizado?

¿Ahorra esta máquina energía respecto a la que emplearíamos subiendo el peso en nuestras manos, sin ayuda ninguna?

## 1.2 Una máquina que ahorra energía

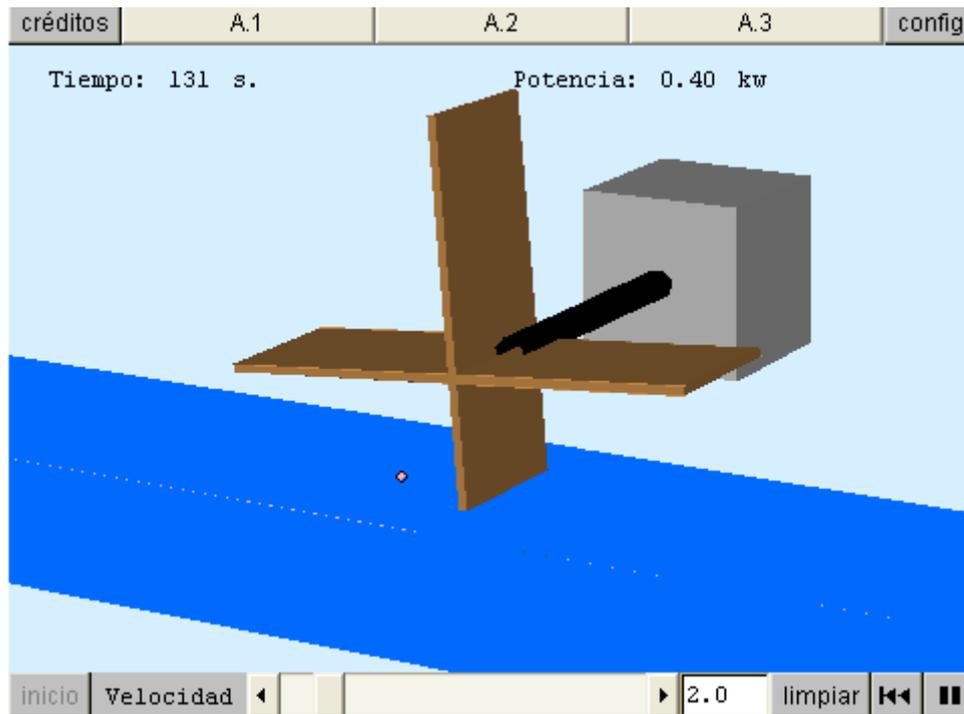


Ya hemos visto que **las máquinas simples disminuyen la fuerza necesaria para realizar una tarea, pero no el trabajo que necesitamos para realizarla**. A lo largo de la Historia hemos empleado muchas veces el trabajo animal para reemplazar el trabajo humano.

Éste es, por ejemplo, el caso de la noria, movida tradicionalmente por un mulo o un buey.

**Una alternativa mejor consiste en utilizar la energía de fenómenos naturales para transformarla en trabajo mecánico útil.** No te costará mucho pensar qué tipo de transformación de energía puede realizar el molino de la imagen.

En la siguiente escena puedes estudiar de cerca otro ejemplo de transformación de una energía natural en trabajo mecánico.



A1:

Pon en marcha la máquina dando al agua una velocidad mayor que cero.

Explica qué conversión de energía es la que hace girar la turbina.

Determina el trabajo que realiza en un minuto para la máxima velocidad del agua.

A2:

Anota en tu cuaderno la potencia que se alcanza para varios valores diferentes de la velocidad. ¿Son proporcionales potencia y velocidad? ¿Y potencia y cuadrado de la velocidad?

Calcula la constante de proporcionalidad. Reflexiona sobre la causa de esta relación.

A3:

Calcula por tu parte y comprueba después en la escena: ¿Qué velocidad debe tener el agua para que la máquina realice un trabajo de 100.000 julios en 10 segundos?

## 1.3 Conclusiones sobre el concepto de máquina

**Las máquinas son herramientas destinadas a disminuir el esfuerzo humano en cualquier tarea de transformación.** Debemos destacar tres ideas simples:

Las máquinas simples (palancas, manivelas, poleas...) reducen la fuerza necesaria para realizar una tarea. Su idea común es que el momento de una fuerza, capaz de generar una rotación, depende de la fuerza aplicada y la distancia al eje de rotación. Aumentando esta distancia es posible conseguir grandes momentos con poco esfuerzo.

Las máquinas simples ahorran fuerza pero no trabajo. Si deseamos ahorrar trabajo mecánico, la forma de conseguirlo consiste en convertir en trabajo útil alguna otra forma de energía presente en la Naturaleza (energía eólica, energía hidráulica...)

En la revolución industrial que condujo a la Sociedad actual jugó un papel muy importante la energía térmica. En los siguientes apartados trataremos de su transformación en trabajo.

## El calor y la energía mecánica

### 2.1 La experiencia de Joule



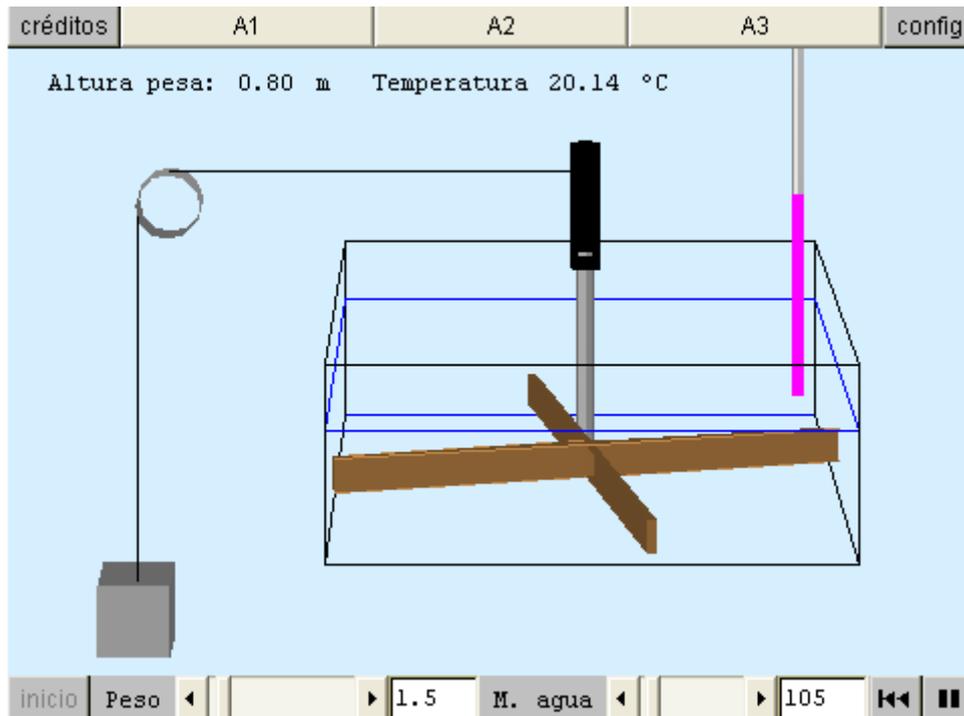
Cuando el vapor de agua sale de una olla a presión, su energía es capaz de hacer girar la válvula de la olla. Parte del calor que hemos comunicado al agua se está convirtiendo en trabajo mecánico. Del mismo modo, sabemos que frotando dos cuerpos, una forma de trabajo mecánico, se produce calor.

Así pues, **el trabajo mecánico y el calor se pueden convertir el uno en el otro.** ¿Cuál es la relación de conversión? El conocido científico J. Joule diseñó una experiencia que le permitía convertir energía mecánica en energía térmica

en condiciones controladas para medir la equivalencia entre ambas formas de energía.

En la escena siguiente simulamos, de forma muy simplificada, la experiencia de Joule.

La pesa posee una forma de energía que se puede convertir en calor.



A1:

¿Cómo se llama y cuánto vale la energía del peso suspendido en el aire? Pon en marcha la máquina y explica las conversiones de energía que se producen.

A2:

Recordando que una caloría es el calor necesario para aumentar 1°C la temperatura de 1 g de agua, calcula, con el mayor de los pesos posible, la energía mecánica perdida por el peso, el calor ganado por el agua y la relación entre el julio y la caloría.

A3:

Calcula por tu parte y comprueba después en la escena: ¿Qué peso deberíamos suspender para que aumentara 0,5°C la temperatura de 200 g. de agua?

## 2.2 El primer principio

Cuando calentamos una olla a presión, el calor que suministramos al agua se emplea en aumentar la temperatura del agua, evaporar parte del líquido y en producir un trabajo mecánico sobre la válvula de seguridad al escaparse el vapor a través de ella. El calor de partida se ha repartido en diferentes formas de energía.

**El primer principio de la Termodinámica** establece cómo se produce este reparto.

En la siguiente escena tratamos de redescubrir este primer principio explorando un sistema muy simple: en un recipiente cuyas paredes absorben una cantidad despreciable de calor hay un gas.

La tapa superior del recipiente es deslizante; puede ascender o descender según la presión del gas, a menos que la fijemos expresamente para mantener el volumen constante.

Los puntos simulan moléculas. Representamos 0,1 moles por 10 moléculas (todos sabemos que, en realidad son muchas más).

The screenshot shows a software interface for a thermodynamics simulation. At the top, there are tabs labeled 'créditos', 'A1', 'A2', 'A3', 'A4', and 'config'. The main display area is divided into two sections: a top section with a white background and a bottom section with a blue background containing red dots representing gas molecules. To the left of the main display, there is a text area showing the following data: 'Tiempo: 280 s', 'Energ. aportada: 1166.7 J', 'Temperatura: 322 K', 'Trabajo: 410.11 J', and 'Volumen: 11.8 l'. Below the main display, there are control elements: a dropdown menu for 'Condición' set to 'Presión fija', a 'To' control with a left arrow, a dropdown menu for 'Vol.' set to 'Volumen fijo', and a 'Presión: 2.24 at.' label. At the bottom, there is a 'inicio' button, a 'N°moles' control set to '1.00', a 'Situación' dropdown set to 'Calentamos', and a play/pause button.

A1:

Elige la condición a volumen fijo. Pulsa el botón de animación y detén la simulación aproximadamente a los 100 s. Anota la energía aportada, la temperatura y la presión alcanzada. Reanuda la simulación y anota los valores correspondientes a unos 200, 300, 400 sg. ¿Qué relación observas entre energía aportada y aumento de temperatura? ¿Y entre temperatura y presión? Explica los resultados obtenidos de la forma más razonable que puedas.

A2:

Elige el proceso a presión constante y repite la toma de datos de la actividad anterior. Compara la temperatura que se adquiere en los dos casos. ¿A qué se debe la diferencia? El primer principio de la Termodinámica explica justamente el resultado de esta actividad.

¿Cómo podrías enunciarlo?

A3:

Para un gas es muy corriente calcular su calor específico por cada mol, en lugar de por cada gramo. Con los datos de las actividades anteriores, calcula el calor específico del gas de la experiencia a volumen constante y a presión constante.

A4:

Calcula los resultados de estas preguntas por tu cuenta y compruébalos con la escena: ¿Cuanto tiempo tardarías en elevar la temperatura de 1 mol de gas desde 10 a 273 K a volumen constante? ¿Y a presión constante? ¿Qué trabajo se produciría en este último caso?

## 2.3 Conclusiones sobre relación entre calor y energía mecánica

**El calor necesario para que un gramo de agua aumente un grado su temperatura es una caloría. La experiencia de Joule establece que una caloría equivale a 4,18 J.**

**El primer principio de la Termodinámica podría enunciarse así:**

$$Q = W + \Delta U$$

**Q es el calor que el sistema gana o pierde, W es el trabajo producido y  $\Delta U$  es la variación de la energía interna del sistema.**

Cuando calentamos o enfriamos un sistema a volumen constante no se produce trabajo y el calor recibido o perdido se traduce en un aumento o descenso de la temperatura.

Cuando calentamos un sistema a presión constante se produce un trabajo:

$W = P \cdot \Delta V$  donde  $P$  es la presión y  $\Delta V$  es la variación de volumen del sistema.

## Las limitaciones de la Termodinámica

### 3.1 El movimiento continuo



transformaciones?

Seguro que conoces el pequeño aparato de la figura. En él se produce transformación de energía potencial en cinética y viceversa. ¿Puedes identificar estas

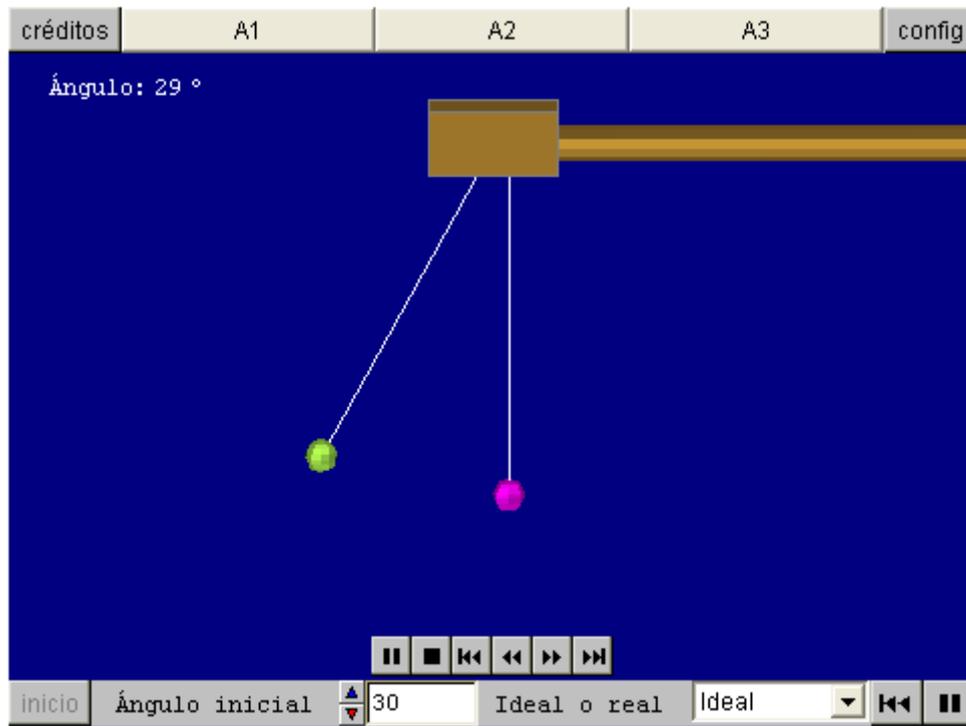
Una vieja aspiración de la Humanidad, de la que han surgido diseños de numerosos aparatos, consiste precisamente en lograr un artefacto que convirtiera alguna forma de energía (eléctrica, térmica etc) en energía cinética, que a su vez se convertiría de nuevo en la forma de energía anterior.

Así obtendríamos un ciclo sin fin que llamaríamos **movimiento continuo**.

¿Es posible el movimiento continuo?

Para poder responder esta pregunta comenzaremos por analizar el funcionamiento del aparato que encabeza esta página. En la escena siguiente podrás realizar este análisis. En ella hemos supuesto que tratamos sólo con dos bolas de masas idénticas suspendidas de hilos de 1 m. de longitud.

## Modelo simple de pretendido movimiento continuo:



A1:

Pon el sistema en marcha con el botón de animación. ¿Qué energía tiene la bola verde cuando el sistema se pone en marcha? ¿Y cuando choca con la bola rosa? ¿En qué se convierte la energía de esta última tras el choque? ¿Cuándo dejaría de funcionar el sistema?

A2:

Repite la experiencia desde varios ángulos, siempre en el modo ideal. ¿Observas alguna relación entre el ángulo y la energía cinética que adquieren las bolas? ¿Qué notas respecto al ángulo que alcanza siempre la bola rosa?

A3:

Elige el modo real y repite la experiencia desde varios ángulos iniciales. ¿Qué observas después de cada choque? ¿A qué se deberá? ¿Dura indefinidamente el movimiento?

### 3.2 Segundo principio de la Termodinámica



**En la escena anterior has notado como en la conversión entre dos formas de energía no se puede conseguir un ciclo perfecto.** Siempre hay alguna pérdida a lo largo del ciclo.

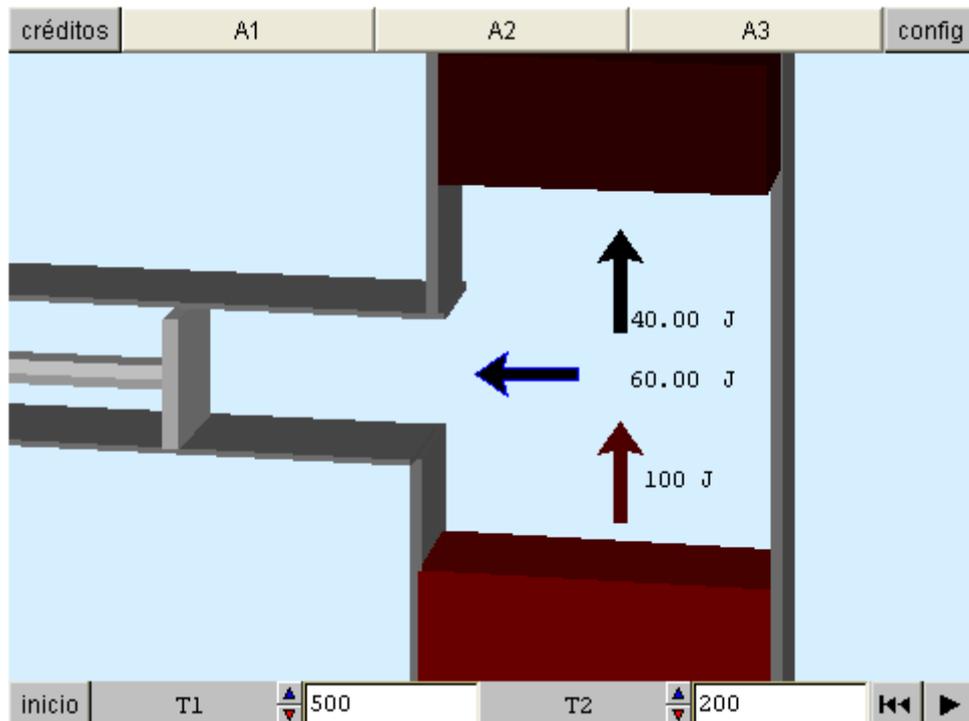
Aunque sólo lo hayamos visto en un caso muy sencillo, en todos los ingeniosos dispositivos de movimiento continuo ideados por el hombre ha ocurrido lo mismo. Incluso ha habido casos de notorios estafadores que idearon falsos móviles perpetuos (uno de ellos llegó incluso a engañar al

Zar Pedro I, el Grande, el personaje del monumento)

Finalmente, se aceptó el llamado Segundo principio de la Termodinámica que podríamos enunciar así: No es posible conseguir un móvil perpetuo basado en la continua conversión recíproca entre dos formas de energía.

Como en muchas máquinas actuales se utiliza el calor como generador del movimiento, en la escena siguiente examinamos qué forma tiene el segundo principio para máquinas que funcionan con energía de origen térmico.

## Esquema general del Segundo Principio de la Termodinámica:



A1:

Pon en marcha el sistema con el botón de animación.

Observa que el sistema extrae calor de una fuente caliente y lo transmite en parte a una fuente fría; otra parte se convierte en la energía mecánica necesaria para mover el émbolo. Estamos ante el resultado obvio del segundo principio de la Termodinámica.

A2:

El rendimiento del sistema viene determinado por la proporción de energía extraída de la fuente caliente y convertida en trabajo mecánico. Calcula su valor para diferentes temperaturas.

Calcula su valor para los datos iniciales de la escena. Modifica al alza cada una de las dos temperaturas.

¿Cómo varía el rendimiento al subir cada una de ellas? ¿Hay algún valor para el que el rendimiento sea nulo? ¿Cómo expresarías matemáticamente el rendimiento en función de las temperaturas?

A3:

Calcula por tu cuenta y comprueba después con la escena la respuesta a las siguientes preguntas: En nuestro caso la temperatura del foco caliente puede variar de 500 a 1000K y la del frío de 200 a 500 K.

¿Cuál es el máximo rendimiento que podemos esperar? ¿Para qué temperaturas conseguiríamos un rendimiento del 50%?

### 3.3 Conclusiones sobre el segundo principio de la Termodinámica

El segundo principio se puede enunciar de varias formas alternativas:

**No es posible construir un móvil perpetuo basado en la conversión cíclica entre dos formas de energía.** Inevitablemente, en alguna parte de este ciclo se perderá energía, preferentemente en forma de calor.

**Una máquina térmica extrae energía de una fuente caliente. De esta energía una parte se convierte en trabajo mecánico y otra se cede a una fuente fría.**

De una forma más resumida:  $Q_1 = W + Q_2$

donde  $Q_1$  es el calor que se extrae de la fuente caliente,  $Q_2$  es el que se cede a la fuente fría y  $W$  el trabajo realizado.

El rendimiento de la máquina será  $R = W/Q_1$  El máximo rendimiento de una máquina térmica sería:

$$R = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

donde  $T_1$  es la temperatura de la fuente caliente y  $T_2$  es la temperatura de la fuente fría.

## Las máquinas térmicas

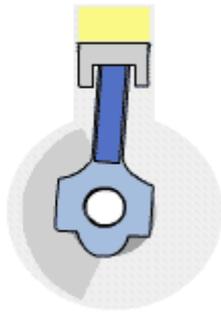
### 4.1 La máquina ideal de Carnot

Conocidas las limitaciones que nos impone la Termodinámica, el ingeniero Carnot diseñó un modelo de máquina que las podía satisfacer...

Se trata de un modelo teórico, no real, pero en él ya se ven las características fundamentales de los motores térmicos reales:

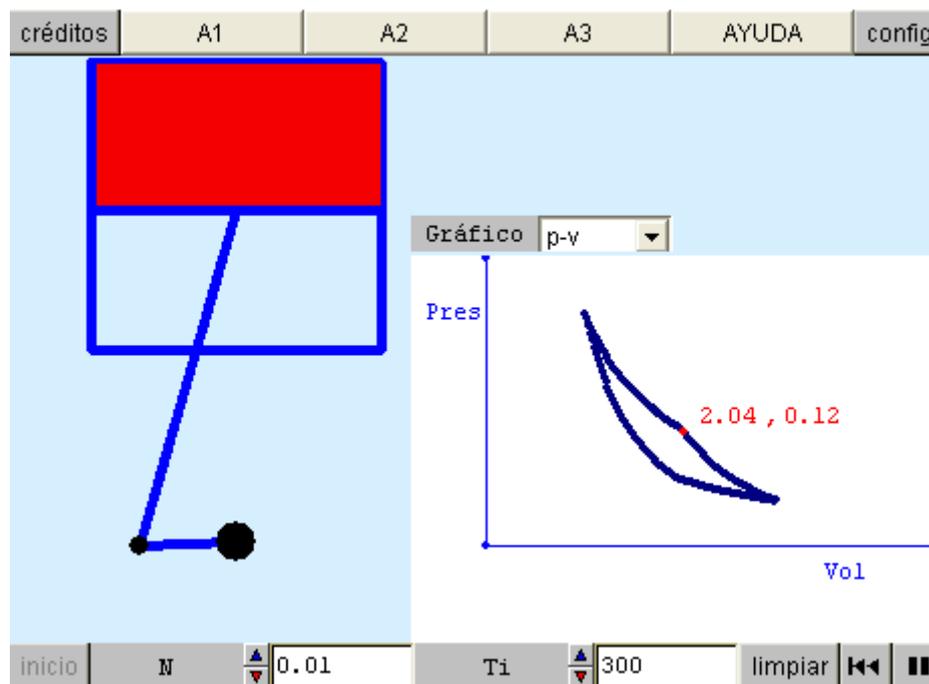
El sistema se basa en fenómenos de expansión y contracción de gases por ganancia y pérdida de calor.

El trabajo de expansión y contracción de los gases puede ser convertido en el movimiento circular típico de la mayoría de las máquinas con facilidad.



El pistón, mecanismo que vemos en la figura, es el encargado de convertir sus desplazamientos en un movimiento circular, que podremos convertir posteriormente en desplazamiento de un vehículo, movimiento de una grúa, de un robot, etc.

La siguiente escena te ayudará a comprender el diseño de Carnot.



A1:

Observa el ciclo variando cada vez las gráficas que se observan. ¿Cuántas etapas observas? ¿En cuáles se gana o se pierde calor? ¿Cómo evoluciona la temperatura en esos casos?

A2:

Para obtener el rendimiento debes tener en cuenta que de la energía recibida, la parte que no se devuelve de nuevo es la utilizada como trabajo útil. ¿Qué tanto por ciento representa este trabajo respecto al recibido en la primera etapa? El valor que hayas obtenido es el rendimiento del ciclo de Carnot.

A3:

Varía el número de moles de gas del proceso. ¿Cómo se altera el rendimiento? ¿Y si se altera la temperatura inicial?

AYUDA:

El botón de animación pone en marcha el Ciclo de Carnot.

Para que puedas comprender sus fases puedes elegir entre las representaciones gráficas presión-volumen, presión-temperatura y volumen-temperatura. La presión viene dada en atmósferas, el volumen en litros y la temperatura en kelvin. Puedes alterar el número de moles de gas del cilindro o su temperatura inicial.

## 4.2 Una máquina real

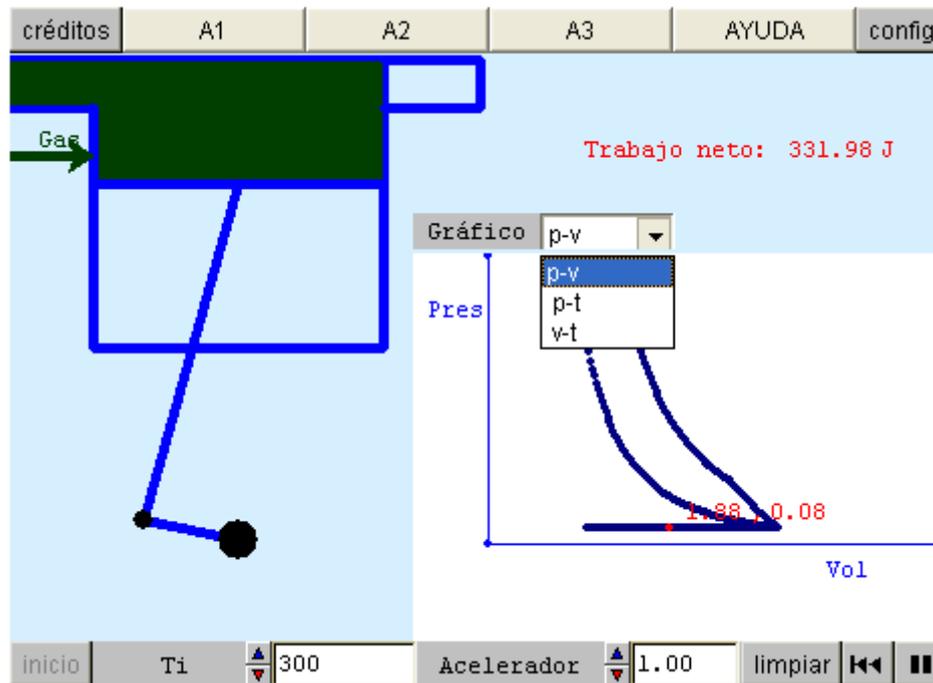
En los motores reales de combustión, la energía se extrae quemando algún combustible, previamente inyectado en el cilindro, finamente pulverizado y mezclado con oxígeno. Después, la mezcla combustible es comprimida y quemada violentamente.



La energía de esta combustión mueve el pistón en varias fases, como se aprecia en la figura adjunta.

En la siguiente escena estudiamos, de manera aproximada, el ciclo de un motor de combustión moderno y tratamos de explicar estas fases.

## Motor de explosión real con gráficos indicativos



A1:

Observa el ciclo variando cada vez las gráficas que se observan. ¿Cuántas etapas observas? ¿En cuáles se gana o se pierde calor? ¿Cómo evoluciona la temperatura en esos casos?

A2:

Para obtener el rendimiento debes tener en cuenta que de la energía recibida, la parte que no se devuelve de nuevo es la utilizada como trabajo útil. ¿Qué tanto por ciento representa este trabajo respecto al recibido en la primera etapa? El valor que hayas obtenido es el rendimiento del ciclo del motor.

A3:

Varía la aceleración del motor. ¿Cómo se altera el rendimiento? ¿Y si se altera la temperatura inicial?

AYUDA:

El botón de animación pone en marcha el motor. Para que puedas comprender sus fases puedes elegir entre las representaciones gráficas presión-volumen, presión-temperatura y volumen-temperatura. La presión viene dada en atmósferas, el volumen en litros y la temperatura en kelvin. Puedes acelerar el motor (incrementando el combustible) o su temperatura inicial.

### 4.3 Conclusiones sobre máquinas térmicas

Como modelo teórico de motor, **el ciclo de Carnot** se basa en someter a un gas a **cuatro fases: expansión a presión constante, recibiendo calor de una fuente caliente; expansión adiabática, sin perder o ganar calor, contracción a presión constante, cediendo calor a una fuente fría, contracción adiabática.**

**El motor de combustión real se basa en la inyección de la mezcla combustible pulverizada, su compresión y explosión, finalizando con la compresión y expulsión de los gases de escape.**

En ambos casos, el movimiento del pistón transforma la expansión y contracción de gases en un movimiento circular aprovechable para usos mecánicos.

## EVALUACIÓN

Elige la respuesta correcta para cada cuestión

¿Qué sabes sobre máquinas térmicas?



1 El segundo principio de la Termodinámica, significa en la práctica...

- que el rendimiento de una máquina térmica depende sólo de la temperatura del foco frío
- que no es posible obtener una máquina con un rendimiento del 100%
- que es posible obtener una máquina con un rendimiento del 100%
- que el rendimiento de una máquina térmica depende sólo de la temperatura del foco caliente

## 2 Un artefacto como la palanca

- Reduce la fuerza necesaria para una tarea
- Reduce el trabajo que necesitamos para una tarea
- Reduce el trabajo que se realiza al levantar un cuerpo
- Aumenta el trabajo que se realiza al levantar un cuerpo

## 3 Un artefacto como la palanca

- Reduce el trabajo que necesitamos para una tarea
- Aumenta el trabajo que se realiza al levantar un cuerpo
- Reduce la fuerza necesaria para una tarea
- Reduce el trabajo que se realiza al levantar un cuerpo

## 4 ¿Qué nos dice el primer principio de la Termodinámica?

Cuando un cuerpo absorbe calor,...

- se convierte íntegramente en trabajo
- éste es emitido de nuevo íntegramente al exterior
- éste puede emplearse parte en trabajo y parte en aumentar la energía interna
- siempre se convierte íntegramente en un aumento de energía interna

## 5 Aparatos como los molinos de viento o los molinos hidráulicos

- Transforman una forma de energía natural en energía cinética de la máquina
- Producen movimiento continuo sin consumir energía
- Poseen un rendimiento del 100%, transformando toda la energía en trabajo
- Sólo pueden funcionar si se les suministra también energía con algún combustible como el petróleo

Elige la palabra adecuada en cada uno de los huecos

Las máquinas simples como palancas o manivelas, nos ahorran , pero no .

Aparatos como los molinos de viento o las turbinas hidráulicas reemplazan  humano transformando una  natural en energía mecánica.

Las máquinas térmicas funcionan recibiendo energía en forma de  de alguna fuente  (como la  de la gasolina) y transformándola en parte en  mecánico.

No es posible obtener nunca un  del 100%, pues nos lo impide el  principio de la .

El máximo rendimiento que podemos esperar de una máquina térmica está determinado por las  de las fuentes de las que recibe y a las que emite .

Completa el crucigrama y comprueba su resultado con el botón correspondiente

Trabajo y calor

Palabras cruzadas

