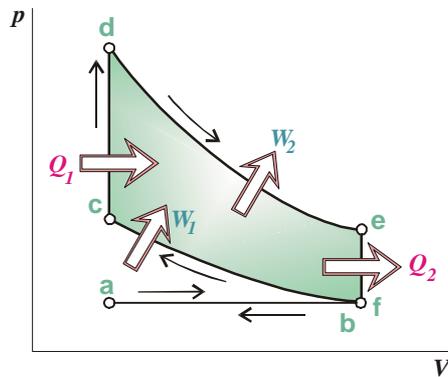


CUESTIONES RESUELTAS

Cuestión 1

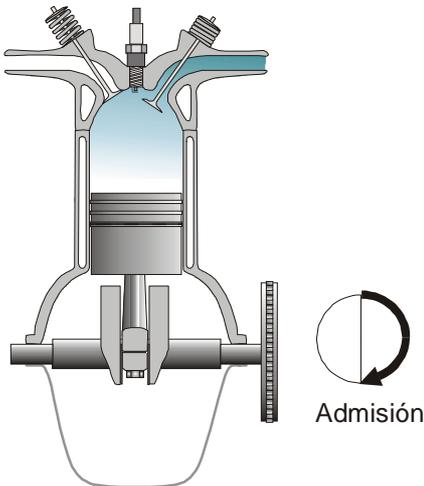
Explicar brevemente las diversas fases que se producen en un motor térmico de combustión interna alternativo de CUATRO tiempos, indicando el movimiento que realiza el pistón en cada una de ellas.

(Selectividad andaluza septiembre-99)

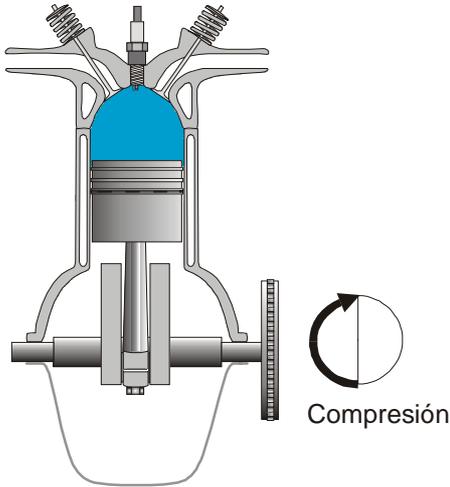


Hay cuatro fases o tiempos: admisión, compresión, explosión-expansión y escape.

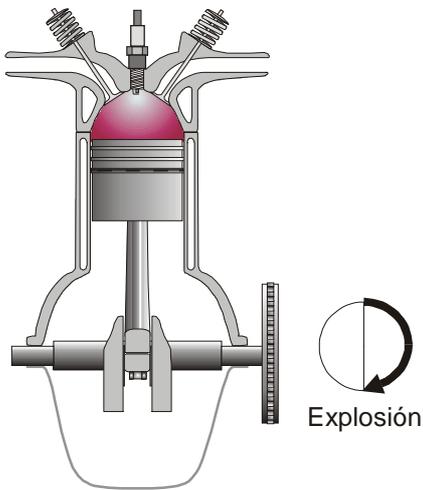
El ciclo consta de dos procesos adiabáticos y dos isócoros, que en conjunto reciben el nombre de tiempos.



a ⇒ b Admisión: la válvula de admisión se abre y el pistón se desplaza en retroceso al PMI (punto muerto inferior), llenándose de aire y combustible (según el tipo Diesel u Otto), que entra en el cilindro a la presión atmosférica. El pistón realiza una carrera desde el PMS al PMI, mientras el cigüeñal da media vuelta.



b \Rightarrow **c** *Compresión*: se cierra la válvula de admisión y se empieza a comprimir la mezcla a expensas de un trabajo negativo. Este cilindro se desplaza desde el PMI al PMS. Esta fase (si el ciclo es ideal) se supone adiabática y reversible. El cigüeñal da otra media vuelta.

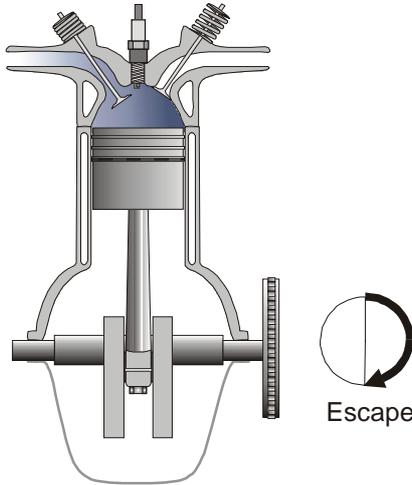


c \Rightarrow **d** **d** \Rightarrow **e** *Explosión-expansión*: con el cilindro en el PMS (realmente se produce antes, según el ángulo de avance del encendido o de inyección), salta la chispa o se inyecta el gasoil que provoca la explosión de la mezcla y la generación de calor Q_1 . Idealmente, todo este proceso se realiza con la mezcla en el PMS, alcanzando ésta una presión alta y se supone que se realiza a volumen constante, es decir, mediante una transformación isócara.

Al inflamarse la mezcla hay una expansión, generándose una gran fuerza que al incidir sobre el cilindro lo desplaza al PMI, produciendo un trabajo W_2 al desplazarse el émbolo con un movimiento rectilíneo:

$$W_{\text{útil}} = W_2 - W_1$$

En todo este proceso el cigüeñal da otra media vuelta.



$e \Rightarrow f \Rightarrow a$ *Escape*: se abre la válvula de escape provocando la salida de los gases resultantes de la combustión, desprendiéndose el calor sobrante Q_2 , de manera que se puede suponer un descenso brusco de presión y temperatura a volumen constante.

Esta fase se realiza permaneciendo el pistón en el PMI y como se ha dicho a volumen constante, es decir, de forma isócara.

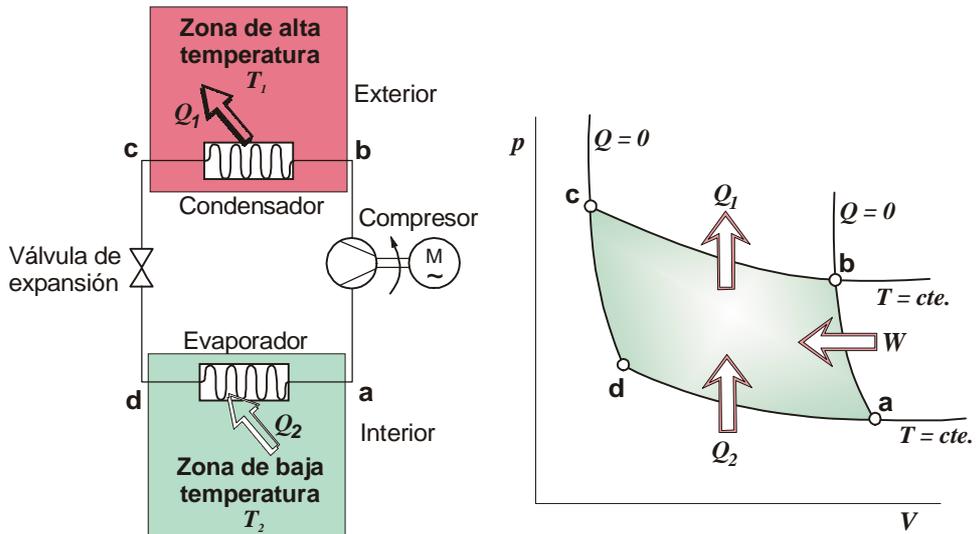
Al alcanzar el fluido el equilibrio con los alrededores, ya no se evacua más fluido. Este desplazamiento se llama *carrera de escape* y se realiza de forma isobárica, es decir, a presión constante.

Cuestión 2

Describir el funcionamiento de un ciclo frigorífico-bomba de calor. Nombrar los componentes, definir y explicar cada uno de ellos.

(Selectividad andaluza)

Máquina frigorífica



a ⇒ **b** El fluido refrigerante se comprime adiabáticamente en el compresor, aumentando su temperatura. Este proceso se realiza a expensas de un trabajo (W) que consume el compresor.

b ⇒ **c** El refrigerante entra en el condensador, cede calor Q_1 entregándolo a la zona de mayor temperatura, pasando el refrigerante a fase líquida. Este proceso se realiza a temperatura constante.

c ⇒ **d** Se reduce la presión del refrigerante mediante la válvula expansora, de manera que a la salida de la válvula el refrigerante se encuentra en fase líquida y a baja presión. Este proceso se realiza adiabáticamente (no hay intercambio de calor con el exterior).

d ⇒ **a** El líquido pasa por el evaporador, absorbiendo calor de los alrededores (zona que se quiere refrigerar), ya que su tendencia es regresar a su estado de equilibrio (fase de vapor). Este proceso es isotérmico (temperatura constante).

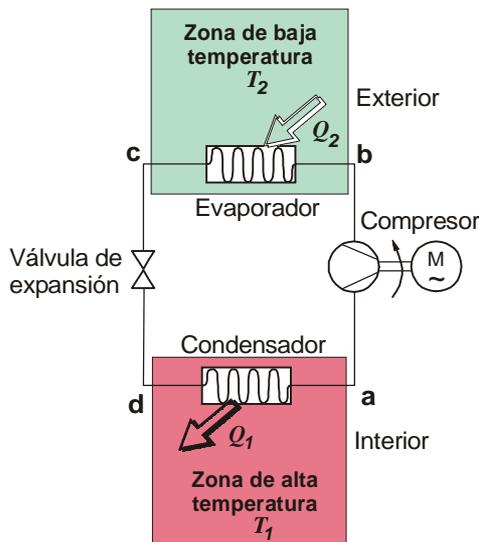
A partir de aquí se inicia de nuevo el ciclo.

El coeficiente de funcionamiento o eficiencia E vendrá dado por el calor absorbido por el foco frío y el trabajo realizado

$$E = \frac{\text{Calor absorbido}}{W} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

Bomba de calor

Existe la posibilidad de ceder la máxima cantidad de calor Q_1 a un sistema que actúa como foco caliente (a temperatura T_1) absorbiendo calor del ambiente Q_2 que se encuentra a temperatura menor T_2 . En este caso el dispositivo recibe el nombre de bomba de calor.



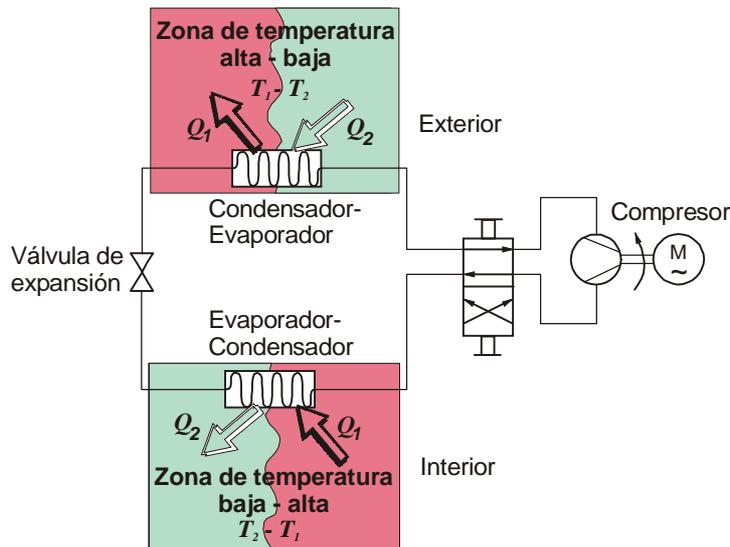
Trabajando como circuito de refrigeración, la bomba de calor, tiene un funcionamiento idéntico al de una máquina frigorífica.

Cuando trabaja como calefacción, el condensador se encuentra en el interior y el evaporador en el exterior (al contrario que en un circuito frigorífico).

Como ahora el objetivo es el calor que introducimos Q_1 , el rendimiento cambia

$$E' = \frac{Q_1}{Q_1 - Q_2} = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$

Un sistema de refrigeración se hace **reversible**, introduciendo en él una válvula inversora que selecciona el sentido del flujo del refrigerante, y por lo tanto, la instalación podrá trabajar como aire acondicionado o calefacción, haciendo que los intercambiadores funcionen como condensador o evaporador según se trate de verano o invierno.



El sistema tiene los siguientes componentes:

Motor que transforma la energía eléctrica en mecánica que cede a la bomba.

Bomba que normalmente es de émbolo y su misión es hacer circular el fluido refrigerante por la instalación, proporcionando una presión y caudal adecuados.

Válvula selectora que nos permite invertir la circulación del fluido refrigerante por los diversos elementos de la instalación: serpentines y toberas, *pero no lo hace en el compresor*

Serpentines que tienen por misión que el fluido ambiente y el propio fluido.

Válvula de expansión o tobera que siendo un elemento simple es imprescindible y que consiste en una reducción brusca de la sección del tubo.

A parte de estos elementos, la instalación consta de termostatos para regular la temperatura y válvulas de llenado o vaciado de fluido.

Cuestión 3

- a) ¿Se podría utilizar mercurio en una máquina frigorífica por compresión?. Razone la respuesta.
- b) ¿Qué tiene más rendimiento teóricamente, una estufa que funciona eléctricamente o una bomba de calor que consuma la misma cantidad de electricidad?. Razone la respuesta.

(Selectividad andaluza)

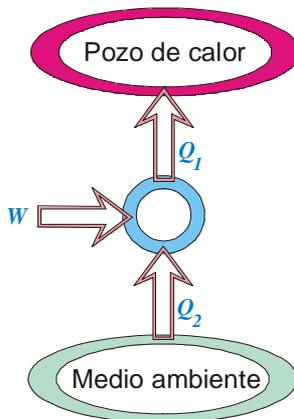
- a. En una máquina frigorífica convencional, el mercurio no se podría utilizar, ya que su punto de ebullición está por encima de los 300 °C y no puede absorber el calor necesario para pasar a estado de vapor.

La densidad del mercurio es tan elevada que para hacerlo circular sería necesario una bomba en lugar de un compresor.

Por otra parte es corrosivo y nocivo para el medio ambiente.

- b. La eficiencia (rendimiento) de una bomba de calor se expresa como

$$E = \frac{\text{Calor cedido}}{W} = \frac{Q_1}{W} = \frac{W + Q_2}{W} = 1 + \frac{Q_2}{W}$$



En el caso de una bomba de calor es mayor que la unidad, ya que el calor que suministra procede en parte del trabajo desarrollado por el motor y otra parte del medio ambiente. Sin embargo, en una estufa el calor generado es igual a la energía consumida, por lo que ésta tiene un rendimiento del 100%.

Cuestión 4

- a) Comparar las ventajas e inconvenientes de los motores rotativos frente a los alternativos.
- b) ¿Cuál tiene más relación de compresión eficaz, un motor de dos tiempos o un motor de cuatro tiempos? Razonar la respuesta.

(Selectividad andaluza)

- a. *Ventajas*

- Alta potencia específica.
- Suavidad de funcionamiento, silencioso y sin vibraciones.

- Peso y volumen reducido con relación a la potencia que se genera.
- Gran sencillez mecánica al suprimir los pistones convencionales, la biela y el cigüeñal acodado.
- Muy fiables y bajo mantenimiento (engrase de órganos rotatorios).
- Reducido coste de fabricación.
- Mayor rendimiento térmico.
- Fácil automatización.

Inconvenientes

- Aleaciones especiales que soporten grandes temperaturas.
- Más consumo de combustible.
- Mayor complejidad en su construcción.
- Problemas de estanqueidad en las cámaras.
- Escasa potencia desarrollada.

- b.** Siendo V_u el volumen entre el PMI y PMS o cilindrada unitaria y V_c el volumen de la cámara de combustión, la relación de compresión es

$$R_c = \frac{V_u + V_c}{V_c}$$

Si los cilindros y los pistones son iguales, la relación de compresión R_c no varía, puesto que sólo depende de V_u y V_c .

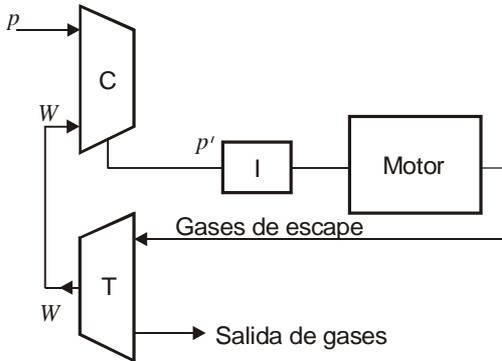
Cuestión 5

En qué consiste la sobrealimentación de aire en los motores alternativos de combustión interna. Dibuje un esquema y diga las ventajas que se obtienen.

(Selectividad andaluza junio-98)

La sobrealimentación en los motores alternativos de combustión interna consiste en introducir más aire en los cilindros del que reciben en condiciones naturales. Para ello utilizamos un grupo turbo-compresor cuya turbina es movida por los gases de la combustión en el escape, la cual nos produce el trabajo necesario para que el compresor aumente la presión del aire que entra en los cilindros.

Entre la salida del compresor **C** y la entrada del motor se introduce un intercambiador **I** de calor denominado *intercooler* que enfría los gases que salen del compresor, ya que la elevada temperatura de los mismos influye negativamente en la potencia obtenida.



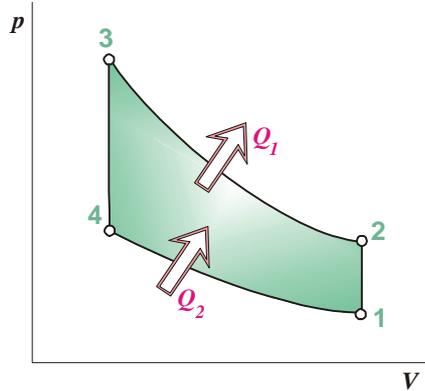
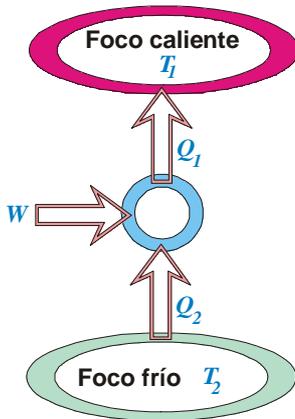
El compresor, para funcionar, requiere o necesita de un trabajo que se obtiene haciendo incidir los gases del escape sobre la turbina. Se podría obtener ese trabajo directamente del motor pero, en este caso, disminuiría el rendimiento.

Como ventajas podemos destacar el aumento de la potencia del motor al poder introducir mayor cantidad de combustible para el aumento de aire considerado o la posibilidad de la reducción del tamaño del mismo manteniendo la potencia inicial.

Cuestión 6

Dibuje el diagrama p-V de un ciclo frigorífico de Carnot efectuado por un gas. Escriba la expresión del rendimiento del mismo.

(Propuesto Andalucía 96-97)



$$\eta = \frac{Q_2}{W}$$

$$W = Q_1 - Q_2 \Rightarrow \eta = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$$

Como la temperatura es una medida del calor, sustituimos Q por las temperaturas absolutas de cada foco

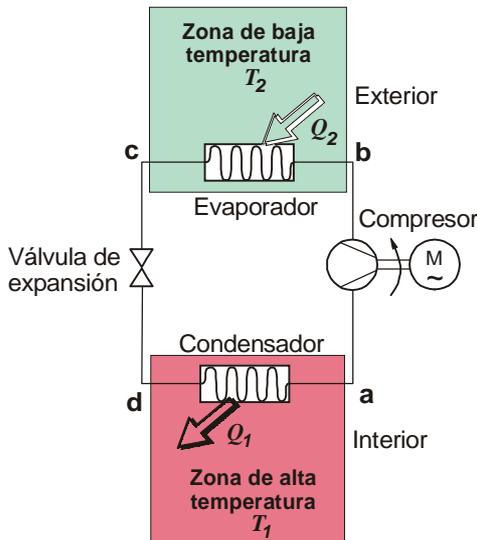
$$\eta = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

Como $T_1 > T_2$, el rendimiento será mayor cuanto más próxima esté la temperatura del foco caliente T_1 a la del foco frío T_2 .

Cuestión 7

Dibuje una bomba de calor. Nombre cada uno de los componentes y explique su funcionamiento.

(Propuesto Andalucía 97-98) (Selectividad andaluza septiembre-97)



Existe la posibilidad de ceder la máxima cantidad de calor Q_1 a un sistema que actúa como foco caliente (a temperatura T_1) absorbiendo calor del ambiente Q_2 que se encuentra a temperatura menor T_2 . En este caso el dispositivo recibe el nombre de bomba de calor.

Trabajando como circuito de refrigeración, la bomba de calor tiene un funcionamiento idéntico al de una máquina frigorífica.

Cuando trabaja como calefacción, el condensador se encuentra en el interior y el evaporador en el exterior (al contrario que en un circuito frigorífico).

Cuestión 8

¿Se puede aprovechar toda la energía suministrada a una máquina? Razone la respuesta y defina el rendimiento de una máquina y los valores que puede alcanzar.

(Propuesto Andalucía 97-98)

Al existir siempre una degradación de la energía en toda transformación de la misma, no se puede aprovechar toda la energía suministrada por una máquina.

Expresándolo de otro modo, toda transformación energética implica una aportación de energía útil e inútil o bien una energía recuperable e irrecuperable.

Las pérdidas en una máquina se producen por las siguientes causas:

- rozamientos
- choques y vibraciones
- esfuerzos y resistencias pasivas
- resistencias de fluidos
- trabajos no útiles o pasivos

El rendimiento de una máquina se define como la relación entre el trabajo útil u obtenido y el trabajo motor o aportado. También se puede expresar como relación de potencias.

$$\eta = \frac{W_u}{W_m} \quad \eta = \frac{P_u}{P_m}$$

El rendimiento, debido a las pérdidas mencionadas anteriormente, es inferior a la unidad.

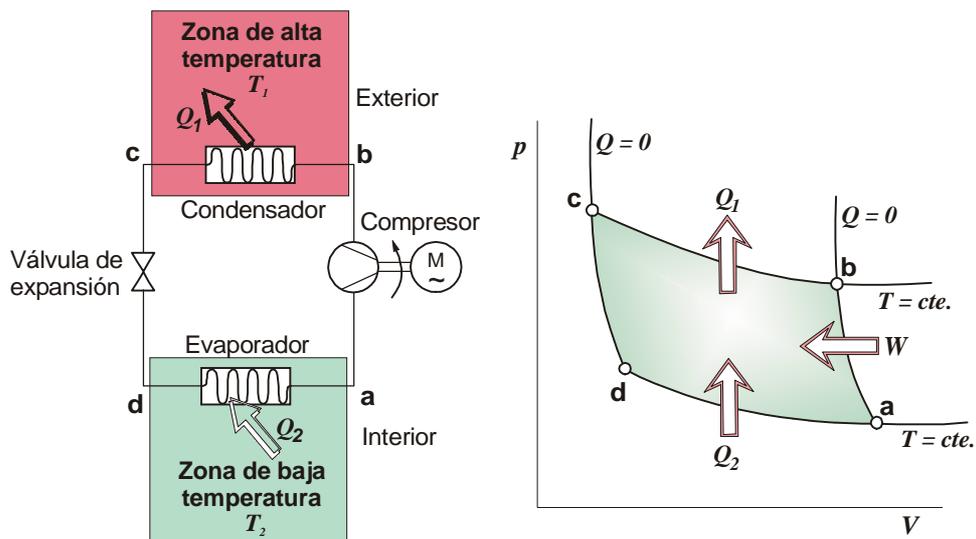
A continuación, se ponen de manera aproximada valores del rendimiento en distintos tipos de máquinas.

- Motores eléctricos trifásicos de inducción: entre **58 %** para motores de **0,06 kW** y el **97 %** para motores de **630 kW**.
- Motores de combustión interna: de gasolina **24 %** y de gasoil **34 %**.
- Motores hidráulicos y neumáticos: **85%**

Cuestión 9

Dibuje el esquema de un equipo frigorífico. Nombre cada uno de sus componentes y explique su funcionamiento.

(Selectividad andaluza septiembre -98)



a ⇒ b El fluido refrigerante se comprime adiabáticamente en el compresor, aumentando su temperatura. Este proceso se realiza a expensas de un trabajo (W) que consume el compresor.

b ⇒ c El refrigerante entra en el condensador, cede calor Q_1 entregándolo a la zona de mayor temperatura, pasando el refrigerante a fase líquida. Este proceso se realiza a temperatura constante.

c ⇒ d Se reduce la presión del refrigerante mediante la válvula expansora, de manera que a la salida de la válvula el refrigerante se encuentra en fase líquida y a baja presión. Este proceso se realiza adiabáticamente (no hay intercambio de calor con el exterior).

d ⇒ **a** El líquido pasa por el evaporador, absorbiendo calor de los alrededores (zona que se quiere refrigerar), ya que su tendencia es regresar a su estado de equilibrio (fase de vapor). Este proceso es isotérmico (temperatura constante).

A partir de aquí se inicia de nuevo el ciclo.

Cuestión 10

En un motor de combustión interna alternativo, defina, brevemente, las siguientes expresiones:

- a) Expansión adiabática.**
- b) Relación de compresión.**
- c) Cuatro tiempos.**
- d) Rendimiento total.**

(Selectividad andaluza junio-99)

a. Expansión adiabática: expansión o desplazamiento del fluido que desplaza al cilindro desde el PMS al PMI. La expansión se realiza sin intercambio de calor con los alrededores, es decir, adiabáticamente y de forma reversible.

En esta fase se realiza trabajo positivo en forma de movimiento rectilíneo del émbolo.

b. Relación de compresión: es el cociente entre el volumen $V_1 = V_u + V_c$ y el volumen V_c donde V_u es la cilindrada unitaria o volumen entre el PMS y el PMI y V_c que es el volumen de la cámara de combustión.

$$R_c = \frac{V_u + V_c}{V_c}$$

c. Cuatro tiempos: ciclo efectuado por un fluido que consta de dos procesos adiabáticos y dos isócoros que en conjunto reciben el nombre de tiempos.

En un motor de combustión interna alternativo los cuatro tiempos son; admisión, compresión, explosión-expansión y escape.

d. Rendimiento total:

$$\eta = \frac{\text{Trabajo realizado por el sistema}}{\text{Calor aportado al sistema}} \qquad \eta = 1 - \frac{1}{R_c^{\gamma-1}}$$

Siendo R_c la relación de compresión y γ el coeficiente adiabático, igual a

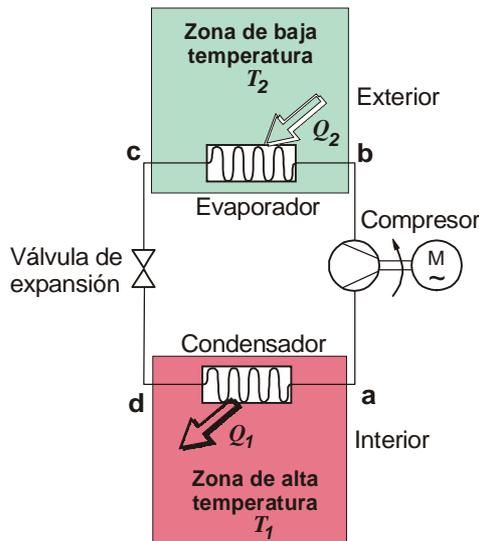
$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

donde C_p es el calor específico a presión constante y C_v es el calor específico a volumen constante.

Cuestión 11

Una bomba de calor es capaz de calentar un recinto tomando calor del medio ambiente que está más frío. Justifique su funcionamiento y describa los elementos fundamentales que la componen.

(Propuesto Andalucía 98-99)



Existe la posibilidad de ceder la máxima cantidad de calor Q_1 a un sistema que actúa como foco caliente (a temperatura T_1) absorbiendo calor del ambiente Q_2 que se encuentra a temperatura menor T_2 . En este caso el dispositivo recibe el nombre de bomba de calor.

Trabajando como circuito de refrigeración, la bomba de calor, tiene un funcionamiento idéntico al de una máquina frigorífica.

Cuando trabaja como calefacción, el condensador se encuentra en el interior y el evaporador en el exterior (al contrario que en un circuito frigorífico).

Como el objetivo es el calor que introducimos Q_1 , el rendimiento es

$$E = \frac{Q_1}{Q_1 - Q_2} = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$

Cuestión 12

Defina qué es un motor térmico. Establezca las diferencias entre los motores de combustión externa y los de combustión interna. Ponga dos ejemplos de cada uno.

(Propuesto Andalucía 98/99)

Un motor térmico es una máquina que transforma energía térmica en energía mecánica para poder realizar un trabajo.

En función de donde se realiza la combustión, los motores pueden ser de combustión externa o de combustión interna.

En los motores de combustión externa el calor necesario se genera en los alrededores de la máquina y se transporta al interior mediante un fluido (el calor es

transmitido al fluido), por ejemplo el vapor, el cual produce energía mecánica a través de una máquina alternativa o de una turbina de gas.

Ejemplos de motores de combustión externa son: la máquina de vapor y la turbina de vapor.

En los motores de combustión interna el calor generado se produce en el interior de la máquina, en unas cámaras internas de la propia máquina, denominadas cámaras de combustión, de manera que los gases de la combustión se expanden provocando el movimiento de los mecanismos del motor.

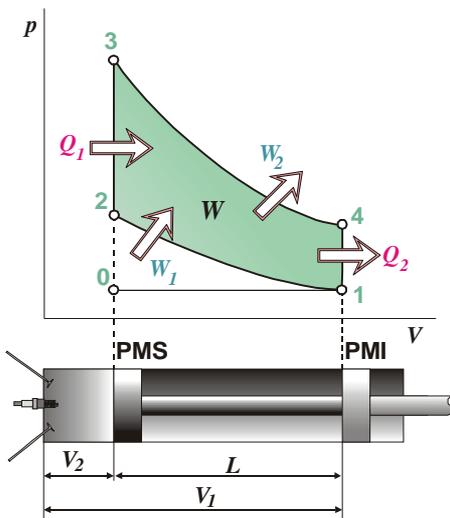
Un ejemplo de motores de combustión interna son: los motores de explosión de gasolina y los motores diesel.

Cuestión 13

- a) Dibuje el ciclo teórico de un motor de encendido por chispa y cuatro tiempos.
- b) Analice las transformaciones de calor y de trabajo que se producen en dicho ciclo.

(Selectividad andaluza junio-00)

a.



Transformación 0 - 1 y 1 - 0 \Rightarrow Isobara a presión atmosférica.

Transformación 1 - 2 \Rightarrow Adiabática ($Q = 0$)

Transformación 2 - 3 \Rightarrow Isócora ($V = \text{cte}$)

Transformación 3 - 4 \Rightarrow Adiabática ($Q = 0$)

Transformación 4 - 1 \Rightarrow Isócora ($V = \text{cte}$)

$Q_1 \Rightarrow$ Calor generado en la combustión.

$Q_2 \Rightarrow$ Calor cedido al ambiente o perdido.

- b. Nicolaus Otto fue un ingeniero alemán que, a mediados del siglo XIX, diseñó el motor que lleva su nombre y aunque en nuestro país es más conocido como el motor de gasolina de cuatro tiempos, pueden utilizarse otros combustibles como alcohol, butano, propano, etc.

Tiempos del motor Otto, o motor de encendido por chispa y cuatro tiempos

Tiempo 1º Admisión: (transformación isobara 0-1) En este momento, el pistón se encuentra en el PMS, se abre la válvula de admisión, se inicia el descenso del pistón hacia el PMI, entrando en el cilindro comburentes más combustible mezclados.

Tiempo 2º Compresión: (transformación adiabática 1-2) Cuando el pistón llega al PMI se cierra la válvula de admisión y el pistón inicia su ascenso hasta el PMS comprimiendo la mezcla, a expensas de un trabajo negativo W_1 . Al ser la transformación adiabática no hay transferencia de calor.

Tiempo 3º Combustión – expansión: (transformación isócara 2-3 y adiabática 3-4) Cuando el pistón se encuentra próximo al PMS, se produce una chispa en la bujía, inflamando la mezcla y aumentando considerablemente la presión dentro del cilindro (Q_1 es el calor generado en la combustión). En este momento se inicia la única carrera útil del ciclo haciendo que el pistón pase desde el PMS al PMI.

En la expansión se genera el trabajo positivo W_2 .

Tiempo 4º Expulsión o escape: (transformación isócara 4-1 y isobara 1-0) Cuando llegue de nuevo al PMI se abre la válvula de escape provocando la evacuación de los gases quemados a la atmósfera. El resto de los gases son expulsados por el pistón en su ascenso al PMS. Cuando llega al PMS se cierra la válvula de escape y se abre la de admisión iniciándose un nuevo ciclo con el descenso del pistón.

NOTAS:

PMS (Punto Muerto Superior) Indica la máxima altura que puede alcanzar el pistón.

PMI (Punto Muerto Inferior) Indica la mínima altura que puede alcanzar el pistón.

CARRERA (L): Distancia que puede recorrer el pistón, es decir, distancia que hay entre el PMS y el PMI.

El trabajo neto W , producido en el ciclo.

$$W = W_2 - W_1$$

Rendimiento teórico (η_T)

Considerando al motor como un sistema cerrado en un cilindro y un ciclo se cumplirá:

$$\eta_T = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - |Q_2|}{Q_1} = 1 - \frac{|Q_2|}{Q_1}$$

Por otra parte, si consideramos a la mezcla de aire más combustible como un gas ideal y estudiamos el trabajo producido en las diferentes transformaciones termodinámicas, obtendríamos la siguiente ecuación:

$$\eta_T = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\gamma-1}}$$

$$\varepsilon = R_c = \frac{V_1}{V_2} \quad \text{Ecuación conocida como } \textit{relación de compresión}$$

$V_1 = V_T$ = Volumen total del cilindro, se obtiene cuando el pistón se encuentra en el PMI.

$V_2 = V_c$ = Volumen de la cámara de combustión, es el volumen del cilindro que queda cuando el pistón se encuentra en el PMS. Ver figura anterior.

Cuestión 14

¿Por qué es necesaria la lubricación en los motores de combustión interna alternativos? ¿Qué partes son imprescindibles de lubricar? ¿De qué manera se lleva a cabo la lubricación?

(Propuesto Andalucía 98-99)

Una adecuada lubricación es necesaria debido al continuo rozamiento de las piezas móviles puestas en contacto.

Si no existe lubricación, el material se desgastaría rápidamente, calentándose en exceso, llegando en muchas ocasiones a griparse o agarrotarse.

Es necesario lubricar todas las partes móviles del motor.

El aceite se encuentra en el cárter, y el cigüeñal inmerso en él. Cuando el cigüeñal gira, chapotea en el aceite y hace que éste llegue a todos los rincones que dan al cárter como las bielas, los pistones y las camisas de los cilindros.

De forma indirecta la bomba de aceite impulsa a éste desde el cárter a la culata y lo deja caer por acción de la gravedad al cárter pasando por todas las piezas móviles, como árbol de levas, los taqués, las válvulas y los balancines.

Esta página está intencionadamente en blanco.