

Tema 5: Máquinas térmicas**Conceptos relacionados:**

Calor: es la energía transmitida entre dos sistemas cerrados o entre un sistema cerrado y sus alrededores en virtud de su diferencia de temperatura.

Trabajo: es una forma de energía producida cuando al aplicar una fuerza sobre un cuerpo se produce un desplazamiento.

Fluido: sustancia en estado líquido o gaseoso.

Proceso termodinámico: es un cambio de estado en la cual al menos varía una propiedad entre dos estados de equilibrio. El estado de equilibrio se refiere a un fluido con unas determinadas propiedades de presión, temperatura, volumen, etc.

Proceso isobárico: es aquel que se produce a presión constante.

Proceso isócoro: es aquel que se produce a volumen constante.

Proceso isotérmico: es aquel que se produce a temperatura constante.

Proceso adiabático: es aquel en el que el sistema no intercambia calor con su entorno.

En los gases ideales:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

P: presión.

V: volumen.

R: constante universal de los gases ideales.

$$R = 0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{l}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$R = 8,314 \frac{\text{Jul}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

T = temperatura.

Ley de Boyle Mariotte:

A temperatura constante:

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

P1: presión inicial en el sistema.

V1: volumen inicial en el sistema.

P2: presión final en el sistema.

V2: volumen final en el sistema.

Primera ley de Gay Lussac:

A presión constante:

$$\frac{T_1}{V_1} = \frac{T_2}{V_2}$$

V1: volumen inicial en el sistema.

T1: temperatura inicial del sistema

V2: volumen final en el sistema.

T2: temperatura final del sistema.

Segunda ley de Gay Lussac:

A volumen constante:

$$\frac{T_1}{P_1} = \frac{T_2}{P_2}$$

P1: presión inicial en el sistema.

T1: temperatura inicial del sistema
 P2: presión inicial en el sistema.
 T2: temperatura final del sistema.

Proceso adiabático:

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

γ : coeficiente adiabático.

C_p : calor específico de un gas a presión constante.

C_v : calor específico de un gas a volumen constante.

También se puede decir que:

$$T \cdot V^{(\gamma+1)} = \text{constante}$$

$$P \cdot V^\gamma = \text{constante}$$

$$T^\gamma \cdot P^{(1-\gamma)} = \text{constante}$$

Primer principio de la termodinámica: la energía no se crea ni se destruye, solamente se transforma. Es imposible construir una máquina térmica que trabajando cíclicamente produzca trabajo sin consumir calor, o bien que produzca más trabajo que calor consume.

Segundo principio de la termodinámica: para que una máquina térmica trabajando cíclicamente produzca trabajo a expensas del calor que toma de una fuente caliente es preciso que parte de ese calor sea cedido a una fuente más fría.

Motor: Máquina constituida por una serie de mecanismos destinada a producir movimiento a expensas de otra fuente de energía. En nuestro caso la obtenemos de una energía calorífica procedente de la combustión. Con en el combustible se tiene energía química, que luego se transforma en energía térmica y cinética en las partículas del fluido que generará la energía mecánica.

Motor de combustión interna: motor térmico donde la combustión se realiza en una cámara interna y a partir de los gases generados y su expansión produce el movimiento de los mecanismos.

Motor de combustión externa: motor térmico donde el calor generado al producirse la combustión pasa a un fluido intermedio, que produce la energía mecánica en máquinas alternativas o turbinas. Son motores más grandes debido al fluido intermedio y los elementos que lo transforman.

Motores rotativos: se caracterizan por tener una caja fija, denominada estator, y un elemento móvil en su interior, denominado rotor o pistón rotativo. Se transforma una forma de energía en un movimiento giratorio.

Motores alternativos: Todas las máquinas en que se produce una transformación de energía a través de órganos en movimiento alternativo se denominan motores alternativos.

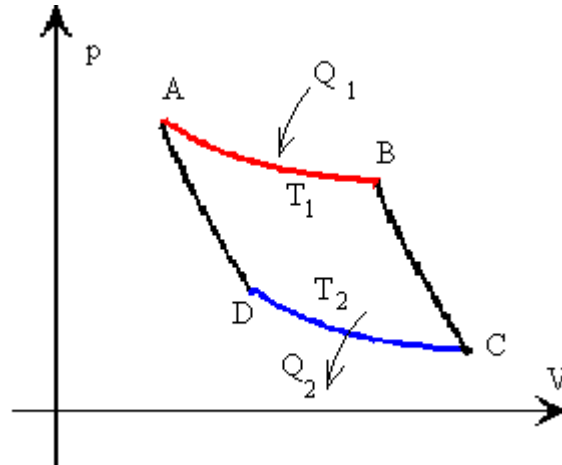
Se transforma la energía térmica en un movimiento alternativo lineal.

Motores a reacción: es un tipo de motor térmico que descarga un chorro de fluido tras la combustión a gran velocidad para generar un empuje en sentido contrario al del fluido, teniendo en cuenta el principio de acción reacción.

Ciclo de Carnot

En 1824 Nicolás Carnot propuso un modelo valiosísimo para los motores térmicos que ha servido para otros modelos más avanzados.

Es un proceso cíclico para un gas ideal, reversible a través de un proceso termodinámico. Este proceso ideal está constituido por dos isothermas y dos adiabáticas.



Fases del proceso de Carnot:

A-B: expansión isoterma. Al fluido se le aporta calor, por lo que absorbe una energía Q_1 y aumenta su volumen.

$$W = Q_1 = nRT \ln \frac{V_B}{V_A}$$

B-C: expansión adiabática: no hay intercambio de energía. En este proceso se realiza un Trabajo W_1 .

$$W_1 = n \cdot C_v \cdot (T_2 - T_1) = \frac{(P_1 \cdot V_1 - P_2 \cdot V_2)}{\gamma - 1}$$

C-D: compresión isoterma. El fluido disminuye su volumen a la vez que emite una energía Q_2 al exterior.

$$W = Q_2 = nRT \ln \frac{V_D}{V_C}$$

D-A: compresión adiabática. No hay intercambio de energía con el exterior. Para que aumente la presión en el sistema es necesario realizar un trabajo W_2 .

$$W_2 = n \cdot C_v \cdot (T_1 - T_2) = \frac{(P_1 \cdot V_1 - P_2 \cdot V_2)}{\gamma - 1}$$

Rendimiento

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Clasificación de las máquinas térmicas.

1) Máquinas generadoras de energía mecánica.

Se clasifican en máquinas de combustión interna y en máquinas de combustión externa.

Según la forma en que se obtiene la energía mecánica los podemos clasificar en: motores alternativos, rotativos o a reacción.

a) Motores de combustión interna:

I) Máquinas rotativas:

Turbinas: utilizan gas para generar energía mecánica. Están poco desarrolladas.

Volumétricas: motor rotativo wankel. En experimentación. Tienen un alto rendimiento, pero tiene dificultades constructivas.
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3b/Wankel_Cycle_anim_es.gif

II) Máquinas alternativas:

Motor de encendido provocado: se denominan motores de explosión, gasolina u Otto. Es uno de los motores más usados.
http://www.todomotores.cl/mecanica/el_motor.htm

Motor de encendido por compresión: es el motor diésel.

III) Máquinas a reacción:

Autónomas o cohetes: no necesitan elementos intermedios tras la combustión.

No autónomas o aerorreactores: los gases se expansionan y mueven un elemento intermedio, denominado turbina.

b) Motores de combustión externa:

I) Máquinas de fluido condensable: con vapor de agua.

Rotativas: turbina de vapor de fluido condensable. El vapor se expansiona a alta presión y velocidad.

Alternativas: fueron las primeras máquinas de vapor. Aprovechan el incremento de presión.
<http://www.youtube.com/watch?v=RbZDojzIZzk>

II) Máquinas de fluido no condensable:

Rotativas: motor Escher wyss. Funciona con helio.

Alternativas: de aire caliente. Motor Stirling.

2) Máquinas consumidoras de energía mecánica.

I) Intercambiadores de calor con el ambiente:

Máquinas frigoríficas: son capaces de extraer el calor de un recinto cerrado. Por ejemplos los frigoríficos.

Bombas de calor: aportan calor al interior de un recinto cerrado.

II) Intercambiadores de presión en el fluido: compresores.

Motores de combustión interna.

Un motor de combustión interna está constituido por los siguientes elementos:

Bancada: elemento rígido sobre los que van dispuestas las partes del motor.

Cilindro: recipiente cerrado donde se produce la combustión. Contiene válvulas y en el interior está el pistón.

Pistón: elemento rígido que recibe el impulso tras la combustión y a través de una biela manivela transmite el movimiento al cigüeñal. Está rodeado segmentos.

Segmentos: son una especie de aros que rodean al pistón; realizan varias funciones. El segmento superior impide que el combustible y los gases se salgan del recinto. El segmento intermedio además de ser un elemento resistente, desplaza el exceso de aceite. El tercer segmento mantiene una capa de aceite sobre el pistón, para su correcta lubricación.

Biela: se une al pistón a través del bulón.

Bulón: tornillo que sirve de unión entre la biela y el pistón.

Culata: pieza metálica que se ajusta al bloque de los motores de explosión y cierra el cuerpo de los cilindros. En la culata se encuentran situadas las válvulas de admisión y de escape así como las bujías. La culata es un elemento construido en hierro fundido.

Junta de culata: es el elemento de unión del bloque y la culata. Suele ser de cobre o bronce ya que este absorbe bien las dilataciones y soporta bien la corrosión y la temperatura.

Válvulas: su finalidad es la entrada del combustible y el aire, además de la salida de los gases de combustión. Su apertura y cierre está sincronizada con el movimiento de los pistones, accionadas por el árbol de levas.

Bujía: Para encender la mezcla de gasolina y aire, que mueve el motor los motores de gasolina necesitan un dispositivo para producir una chispa que produzca una pequeña explosión.

Cigüeñal: es un tipo de eje que transforma el movimiento alternativo lineal de los pistones en un movimiento circular.

Árbol de levas: eje con tantas levas como válvulas a accionar. Recibe el movimiento del cigüeñal a través de engranajes.

Leva: mecanismo de forma irregular que permite la transformación de un movimiento circular en otro lineal alternativo. Cada leva está conectada a una válvula a través de diferentes elementos mecánicos.

Volante de inercia: es un disco de metal que gira junto al cigüeñal, y tiene como función regularizar su giro, absorbiendo por su inercia, las inestabilidades propias del funcionamiento cíclico de un motor alternativo. Permite acumular energía, de forma que aporta la energía del motor en tres de sus cuatro tiempos.

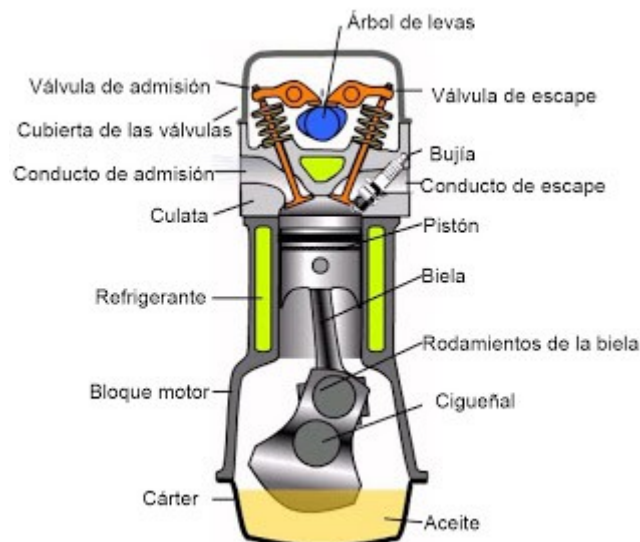
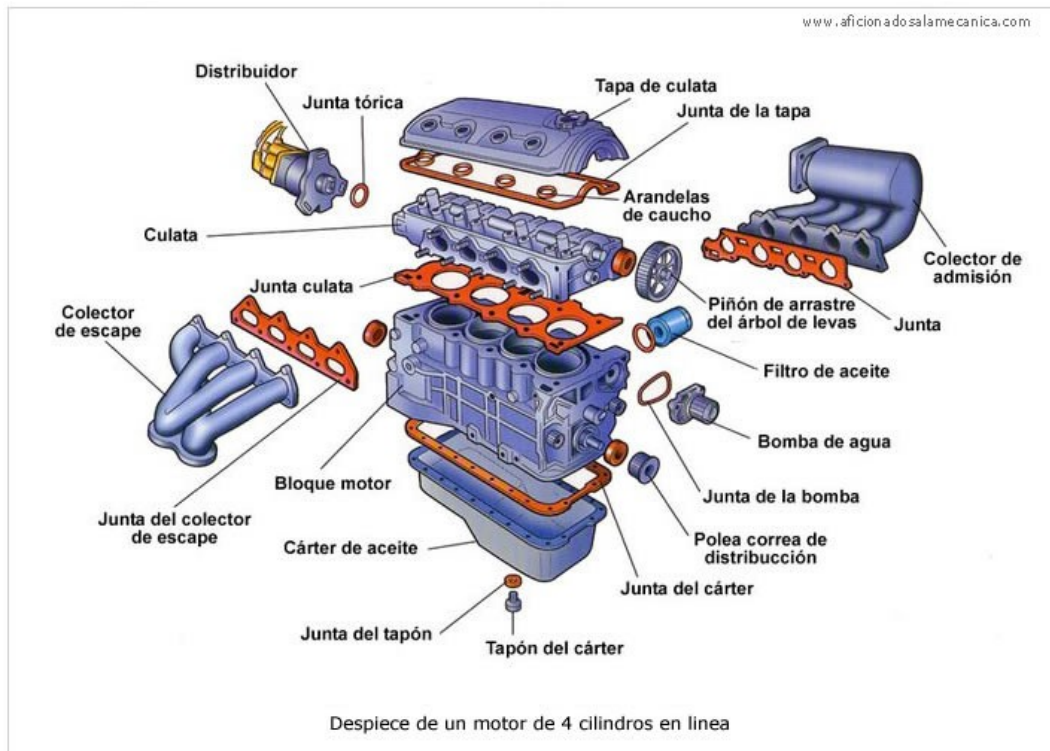
Cárter: además de cerrar el bloque aislándolo del exterior, su función es contener el aceite que sirve como lubricante al motor.

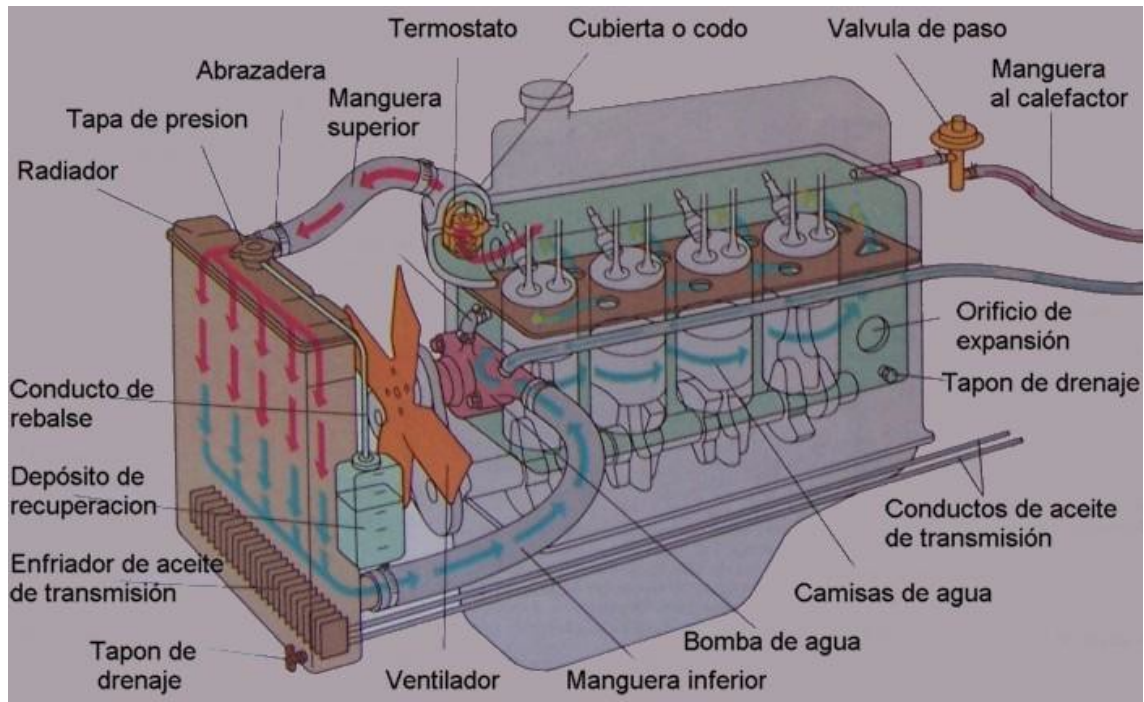
Lumbrera: los motores de dos tiempos no tienen válvulas, sino lumbreras. Por uno de estos orificios entra el combustible y por el otro salen los gases de la combustión.

Sobrealimentación: consiste en aumentar la masa de aire (diésel) o de mezcla aire/gasolina (motor de gasolina) que entra al cilindro en la fase de admisión, aumentando su presión en el motor de combustión interna alternativo, para aumentar la fuerza de la carrera de trabajo, es decir el par motor en cada revolución y por tanto la potencia.

Turbocompresor: este sistema de sobrealimentación, el más empleado hoy día, sobre todo en motores diésel, consiste en aprovechar la energía mecánica y térmica de los

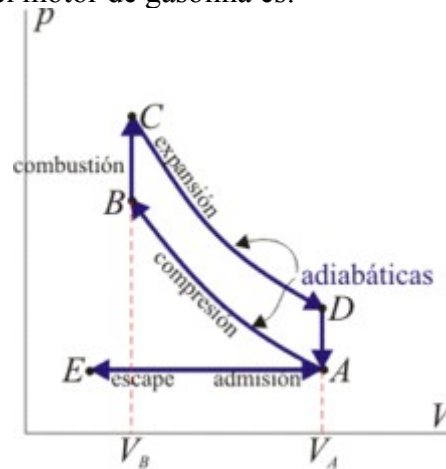
gases del escape, accionando una turbina unida coaxialmente a un compresor por medio de un eje. Cuando los gases de escape salen, antes de ir al escape, pasan por esta turbina y los gases ejerciendo una fuerza sobre sus álabes, haciéndola girar tanto más de prisa cuánto más energía tengan. Esta energía mecánica de giro adquirida por la turbina es transmitida al compresor. Aspira aire del filtro y lo empuja aprovechando la fuerza centrífuga hacia el colector de admisión. De este modo se obtiene una presión de alimentación es superior a la atmosférica.





Motor de encendido provocado (MEP). Motor Otto o de gasolina

El ciclo termodinámico del motor de gasolina es:



Ecuaciones relacionadas con el ciclo termodinámico:

$$r = \frac{V_c + V}{V_c}$$

r = relación de compresión volumétrica.

V_c = volumen de la cámara de compresión o el volumen que ocupa la mezcla comprimida.

V = volumen del cilindro

Tenemos de dos modelos, el motor de cuatro tiempos y el motor de dos tiempos.

$$V = \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot C$$

D = diámetro del cilindro.

C = Carrera del cilindro.

Otra ecuación importante es la de la cilindrada:

$$\text{Cilindrada} = n \cdot V$$

Cilindrada = volumen total del motor. Normalmente expresado en centímetros cúbicos.

n = número de cilindros.

V = volumen de cada cilindro.

El rendimiento del motor:

$$\eta = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}} = \frac{W}{Q_{abs}}$$

γ = coeficiente adiabático.

η = rendimiento.

r = relación de compresión volumétrica.

W = trabajo obtenido por el motor.

Q_{abs} = energía absorbida por el motor.

Potencia de un motor:

$$P = \frac{N}{2} \cdot V_t \cdot d_a \cdot \theta \cdot Q_c \cdot \eta$$

P = potencia del motor. En vatios o kilovatios.

N = frecuencia de rotación. Su unidad es:

$$\frac{1}{\text{segundo}}$$

V_t = volumen del motor en litros (l). Es la cilindrada.

d_a = densidad del aire. Su unidad es:

$$\frac{\text{kg}}{\text{l}}$$

η = rendimiento del motor.

θ = dosado. Es la relación entre la masa de combustible y del aire.

Q_c = poder calorífico del combustible. Su unidad es:

$$\frac{\text{KJ}}{\text{kg}} \text{ ó } \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Potencia fiscal de motor:

$$P = 0,08 (0,78 \cdot D^2 \cdot C)^{0,6} \cdot n$$

P = potencia del motor en vatios.

D = diámetro de los cilindros.

C = carrera de los cilindros.

n = número de cilindros.

Potencia, par y velocidad de giro.

$$P = M \cdot \omega$$

P = potencia de un motor. Su unidad es el vatio.

M = par del motor. Su unidad es newtons por metro.

ω = velocidad angular del motor. Su unidad está dada en radianes por segundo.

También hay que tener en cuenta que:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}$$

ω = velocidad angular del motor. Su unidad está dada en radianes por segundo.

π = pi.

n = velocidad de giro del motor en revoluciones por minuto. (r.p.m)

Motor de cuatro tiempos. Se puede explicar por sus cuatro sucesos:

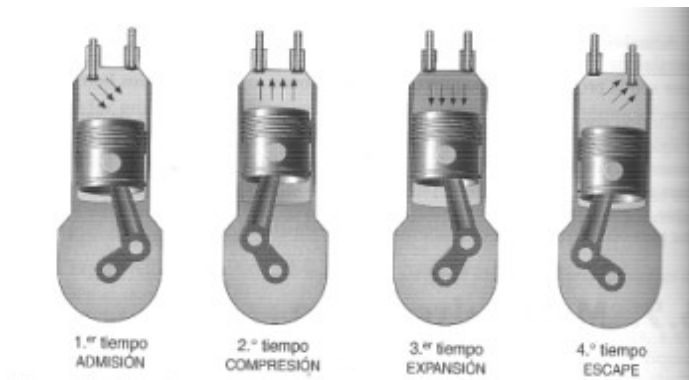
Admisión: se abre la válvula de entrada con la mezcla de gasolina y aire y el pistón se desplaza en sentido descendente.

Compresión: el cilindro se desplaza hacia arriba comprimiendo la mezcla.

Explosión y expansión: la bujía provoca la chispa necesaria para que se produzca la explosión, generándose la energía para que se expanda el pistón y funcione el sistema mecánico. A través de la manivela que está unida al cigüeñal.

Escape: el pistón vuelve a ascender abriéndose la válvula de escape para que salgan los gases.

El único momento en el que se produce trabajo útil es en la expansión del pistón. El resto de los tiempos el sistema se mueve gracias al volante de inercia, que permite acumular energía para luego liberarla cuando es necesario.

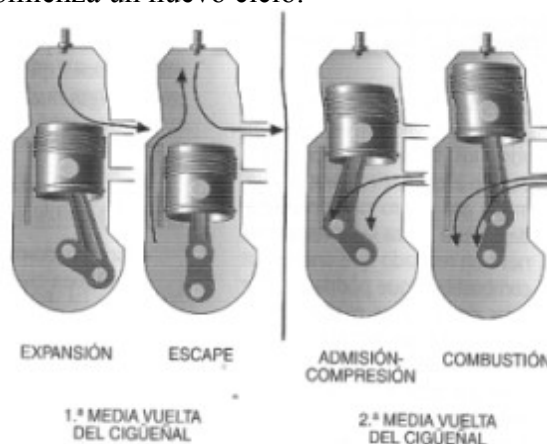


Motor de dos tiempos.

Admisión-compresión: el pistón se desplaza hacia arriba desde su punto muerto inferior, en su recorrido deja abierta la lumbrera de admisión. Mientras la cara superior del pistón realiza la compresión en el cárter, la cara inferior succiona la mezcla de aire y combustible a través de la lumbrera. Para que esta operación sea posible el cárter tiene que estar sellado. Es posible que el pistón se deteriore y la culata se mantenga estable en los procesos de combustión.

Fase de explosión-escape: al llegar el pistón a su punto muerto superior se finaliza la compresión y se provoca la combustión de la mezcla gracias a una chispa eléctrica producida por la bujía. La expansión de los gases de combustión impulsa con fuerza el pistón que transmite su movimiento al cigüeñal a través de la biela.

En su recorrido descendente el pistón abre la lumbrera de escape para que puedan salir los gases de combustión y la lumbrera de transferencia por la que la mezcla de aire-combustible pasa del cárter al cilindro. Cuando el pistón alcanza el punto inferior empieza a ascender de nuevo, se cierra la lumbrera de transferencia y comienza un nuevo ciclo.



Ventajas e inconvenientes:

Ventajas: El motor de dos tiempos no precisa válvulas de los mecanismos que las gobiernan, por lo tanto es más liviano y de construcción más sencilla, por lo que resulta más económico.

Al producirse una explosión por cada vuelta del cigüeñal, desarrolla más potencia para una misma cilindrada y su marcha es más regular.

Pueden operar en cualquier orientación ya que el cárter no almacena el lubricante.

Son motores más ligeros y necesitan de menor mantenimiento, debido al menor número de piezas que los componen.

Desventajas: el motor de dos tiempos es altamente contaminante ya que en su combustión se quema aceite continuamente, y nunca termina de quemarse la mezcla en su totalidad.

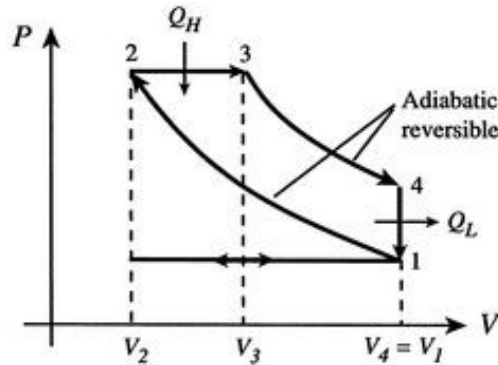
Al no quemarse la mezcla en su totalidad en el interior de la cámara de explosión y debido al barrido de los gases de escape mediante la admisión de mezcla, no se aprovecha completamente todo el combustible utilizado y esto genera un rendimiento menor. Por ello, aunque tiene una carrera de trabajo en cada vuelta de cigüeñal, a diferencia de un motor de 4 tiempos que tiene una carrera de trabajo cada dos vueltas, no alcanza a tener el doble de potencia que un motor de cuatro tiempos de la misma cilindrada.

Al ser un motor cuyo régimen de giro es mayor, sufre un desgaste mayor que el motor de 4 tiempos.

Son menos eficientes económicamente que los motores de 4 tiempos debido al consumo de aceite y al mayor consumo de combustible.

Motor de encendido por compresión (MEC). Motor diésel o de gasoil

Ciclo termodinámico del motor diesel:



Las ecuaciones del motor de gasolina son igualmente válidas menos el rendimiento:

$$\eta = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}} \cdot \left(\frac{rc^{\gamma} - 1}{\gamma(rc - 1)} \right) = \frac{W}{Q_{ab}}$$

γ = coeficiente adiabático.

η = rendimiento.

r = relación de compresión volumétrica.

W = trabajo obtenido por el motor.

Q_{abs} = energía absorbida por el motor.

rc = relación de combustión.

$$rc = \frac{V_3}{V_2}$$

V_3 = volumen en el punto 3.

V_2 = volumen en el punto 2.

Funciona a través del motor de cuatro tiempos. Se puede explicar por sus cuatro sucesos:

Admisión: se abre la válvula de entrada de aire y el pistón se desplaza en sentido descendente.

Compresión: el cilindro se desplaza hacia arriba comprimiendo el aire.

Explosión y expansión: se abre una válvula para que entre el combustible caliente y comprimido para que se produzca la combustión, generándose la energía para que se expanda el pistón y funcione el sistema mecánico. A través de la manivela que está unida al cigüeñal.

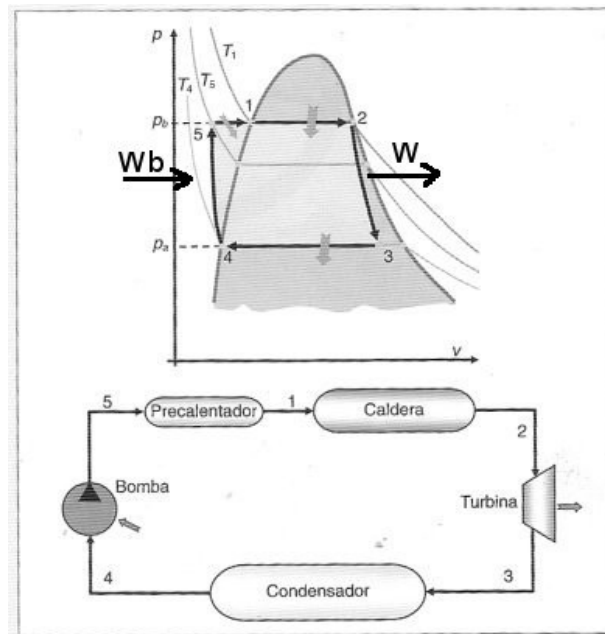
Escape: el pistón vuelve a ascender abriéndose la válvula de escape para que salgan los gases.

Cuando está frío el motor hay un componente llamado calentador, uno por cada cilindro. Este componente es una resistencia eléctrica que tiene forma o figura similar a la de una bujía, lleva un cable que le conecta los 12 voltios de la batería, usando para su control un relay o solenoide; el calentador es el encargado de calentar el aire que se comprime en una especie de precámara.

Este calentador, se activa cuando el motor está frío, y se desconecta al calentarse asimismo.

Ciclo Rankine

El ciclo de Rankine es un ciclo termodinámico que tiene como objetivo la conversión de calor en trabajo. Es una máquina de combustión externa basada en el modelo de Carnot, en donde se calienta un fluido en una caldera, luego el gas obtenido, con una considerable energía cinética produce un trabajo en la turbina. Posteriormente el fluido se condensa y se luego se aumenta la presión mediante bombeo, para entrar en la caldera el fluido, con un previo precalentamiento.



El ciclo tiene diferentes fases:

5-1-2: precalentamiento del fluido y calentamiento en un caldera. Se realiza de forma ideal a presión constante. Es una isoterma. Se absorbe energía.

2-3: expansión adiabática. Se genera trabajo en la turbina al incidir el vapor sobre sus álabes.

3-2: compresión isoterma. Se pierde calor con el exterior y por ello el fluido pierde volumen.

4-5: se comprime el fluido a través de una bomba, aumentando la presión. No hay intercambio de energía con el exterior.

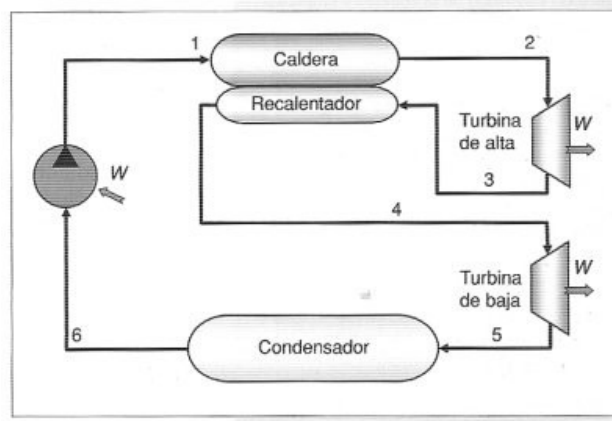
$$\eta = \frac{W}{Q} = \frac{T_2 - T_3}{T_2}$$

η = rendimiento de la máquina térmica.

W = trabajo obtenido por la máquina.

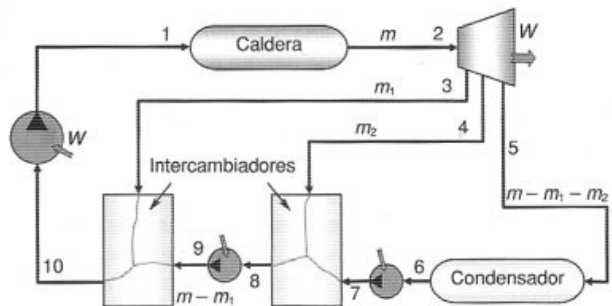
Q = Calor aportado al sistema.

Ciclo con recalentamiento intermedio:



Para aumentar el rendimiento de la máquina de vapor se usa otra turbina y un recalentador.

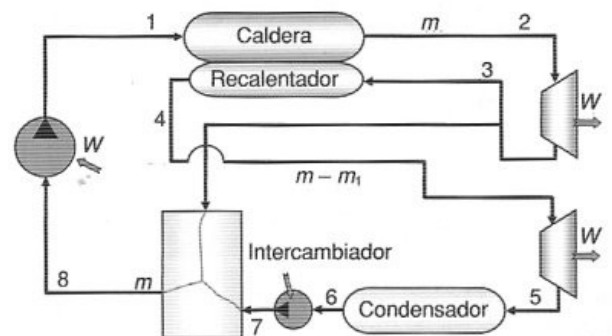
Ciclo regenerativo:



Para aumentar el rendimiento de la máquina de vapor se usa dos intercambiadores de calor y dos bombas extras.

Un intercambiador de calor es un dispositivo diseñado para transferir calor entre dos medios, que estén separados por una barrera o que se encuentren en contacto.

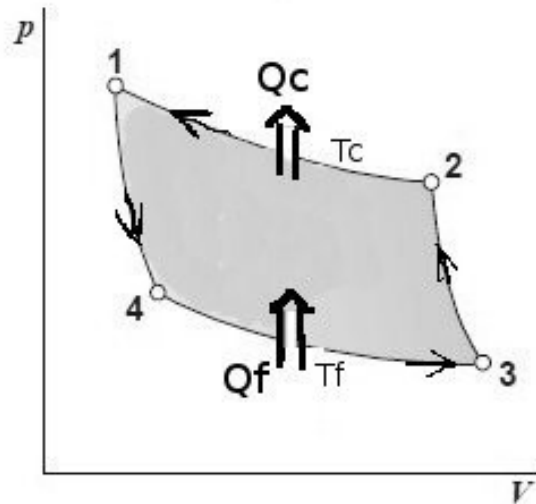
Ciclo regenerativo con recalentamiento intermedio:



Para un rendimiento más óptimo se usa una mezcla de los dos sistemas anteriores.

Máquinas frigoríficas

Las máquinas frigoríficas realizan el proceso inverso (antihorario) del ciclo de Carnot. Su finalidad es extraer calor de un recinto cerrado, para luego expulsarlo al exterior. Para ello se realiza el siguiente proceso termodinámico:



1-4: se usa una válvula de expansión para bajar la presión del fluido. Es un proceso adiabático, puesto que no se intercambia energía con el exterior. Se realiza a través de una válvula de expansión.

4-3: expansión isoterma a temperatura T_f . Se realiza a partir de un evaporador. Se absorbe el calor del interior del recinto a refrigerar. Al absorber la energía aumenta el volumen del fluido.

3-2: compresión adiabática. Al fluido se le aumenta la presión mediante el compresor. No se produce un intercambio de energía con el exterior.

2-1: compresión isoterma a la temperatura T_c . Al emitir la energía acumulada en el fluido hacia el exterior, este disminuye de volumen.

$$\varepsilon = \frac{T_f}{T_c - T_f} = \frac{Q_f}{Q_c - Q_f}$$

ε = eficiencia de la máquina frigorífica (adimensional).

T_f = temperatura del foco frío expresada en grados kelvin.

T_c = temperatura del foco caliente expresado en grados kelvin.

Q_f = energía extraída del foco frío expresado en julios, calorías, kw-h.

Q_c = energía expulsada hacia el foco caliente en julios, calorías, kw-h.

Económicamente, el mejor ciclo de refrigeración es aquel que extrae la más cantidad de calor Q_f del foco frío T_f con el menor trabajo W . Es por ello por lo que se define la eficiencia —que no el rendimiento— de una máquina frigorífica al cociente Q_f/W .

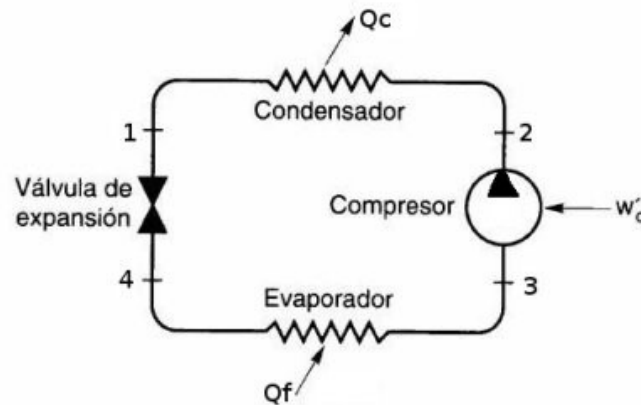
Q_f es el calor que se extrae del foco frío (nuestro objetivo), W es el trabajo que hay que aportar en la compresión (lo que gastamos para conseguir nuestro objetivo) y Q_c es el calor que se devuelve al foco caliente.

Evidentemente, cuanto menor es la diferencia de temperatura entre el foco caliente y el frío mayor es la eficiencia. (Lo contrario que sucedía con el rendimiento cuando la máquina de Carnot se estudió como motor.).

A la eficiencia de una máquina frigorífica también se le denomina coeficiente de operación (COP), siendo el mejor el de la máquina que funciona según el ciclo reversible de Carnot.

Fluidos criogénicos. Merece la pena conocer algunos detalles sobre los fluidos criogénicos, debido a la gran importancia que sus características tienen en el funcionamiento de las máquinas frigoríficas. En general, casi todos los compuestos refrigerantes son derivados del freón y su investigación es relativamente reciente.

Fundamentalmente, hay dos tipos de sistemas de refrigeración: los de vapor y los de gas. En los de vapor, el refrigerante se vaporiza y condensa alternativamente en los distintos elementos del circuito. En los de gas, el refrigerante permanece siempre en estado gaseoso.



Bomba de calor.

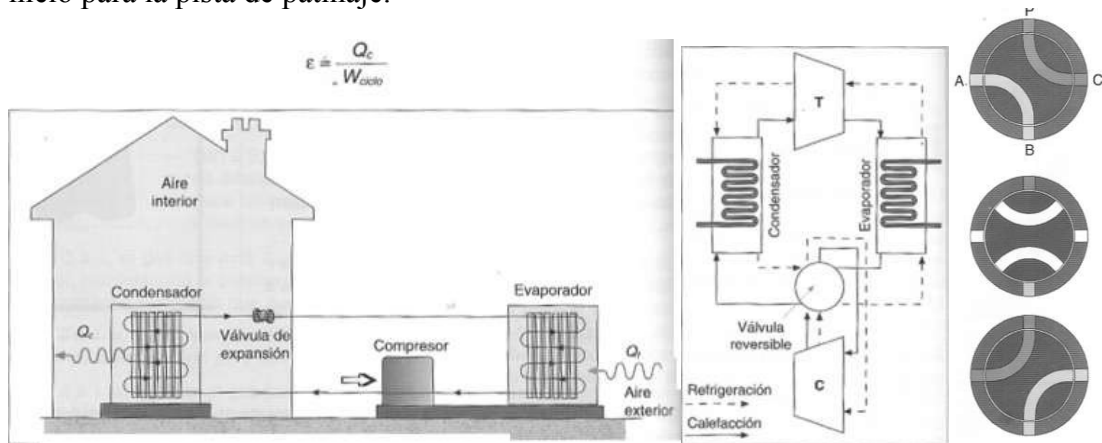
Una bomba de calor es exactamente igual a una máquina frigorífica. La diferencia en lo referente a la aplicación, consiste en la intercambiabilidad de los focos frío y caliente. Así, en invierno, el foco frío es el exterior y el caliente, el interior de una vivienda. Debemos consumir trabajo para pasar calor del exterior (foco frío) al interior. En verano, el foco frío es el interior de la vivienda y el caliente el exterior. Debemos consumir trabajo para pasar el calor del interior (foco frío) al exterior.

Para conseguirlo, se deben intercambiar los papeles del condensador y del evaporador, para lo que se emplea la válvula de cuatro vías.

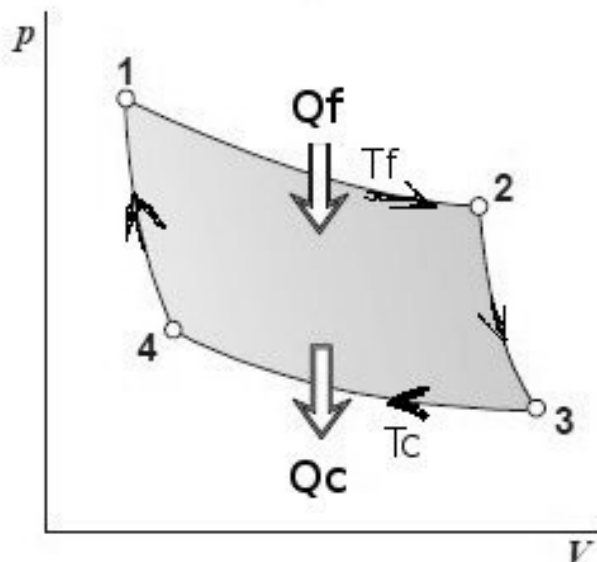
En cuanto a las aplicaciones de la bomba de calor, su primer uso fue fundamentalmente la calefacción, y de ahí su nombre.

Aunque, debido a la posibilidad de invertir su funcionamiento, en la actualidad se utilizan como calefacción en invierno y como sistema de refrigeración en verano.

Otra situación favorable para la utilización de bombas de calor es la combinación en locales con piscina climatizada y sala de patinaje sobre hielo. El agua de la piscina se calienta debido al aporte de calor que recibe del condensador, que a su vez produce hielo para la pista de patinaje.



El proceso termodinámico coincide con el de Carnot:



1-2: expansión isoterma. El fluido absorbe el calor exterior a través del evaporador. (condensador si se invirtiera el ciclo para una máquina frigorífica).

2-3: expansión adiabática. El fluido a través de la válvula de expansión baja la presión del fluido y aumenta su volumen.

3-4: compresión isoterma. A través del condensador se consigue que al emitir energía al foco exterior disminuya el volumen del fluido.

4-1: compresión adiabática. A través del compresor se aumenta la presión del fluido sin intercambiar energía con el exterior.

$$\varepsilon = \frac{T_c}{T_c - T_f} = \frac{Q_c}{Q_c - Q_f}$$

ε = eficiencia de la bomba de calor (adimensional).

T_f = temperatura del foco frío expresada en grados kelvin.

T_c = temperatura del foco caliente expresado en grados kelvin.

Q_f = energía extraída del foco frío expresado en julios, calorías, kw-h.

Q_c = energía expulsada hacia el foco caliente en julios, calorías, kw-h.

Enlaces de Internet.

Motor Wankel

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3b/Wankel_Cycle_anim_es.gif

Motor de cuatro tiempos

http://www.todomotores.cl/mecanica/el_motor.htm

Motor Stirling

http://en.wikipedia.org/wiki/File:Alpha_Stirling.gif

<http://www.youtube.com/watch?v=yw6-8eetJF0>

Motor de vapor casero

<http://www.youtube.com/watch?v=RbZDojzIZzk>

<http://www.youtube.com/watch?v=VwDqYd9bBxI>

<http://www.comohacer.eu/como-hacer-un-motor-de-vapor-simple/>