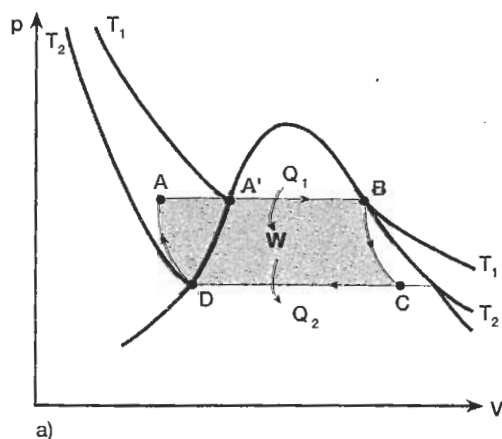
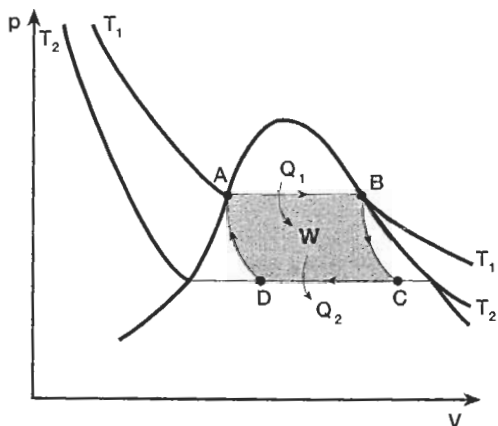


Sugerencias Didácticas

- Los conocimientos de Termodinámica adquiridos anteriormente permitirán abordar en esta Unidad el estudio de las máquinas térmicas, como dispositivos capaces de transformar en trabajo útil el calor desprendido en un proceso de combustión y que, absorbido por un fluido motor que describe un ciclo, pone en movimiento una serie de piezas mecánicas.
- Se establecerá una clasificación de estas máquinas según el lugar en que se realice la combustión, el tipo de movimiento producido y la clase de fluido utilizado, y a continuación se estudiarán por separado las más importantes, analizando en cada caso su funcionamiento, el ciclo termodinámico descrito por el fluido motor, el rendimiento de cada una y su utilización en la práctica, así como las ventajas e inconvenientes de unas respecto a otras.
- En todos los casos, conviene ayudarse –si es posible– de maquetas idealizadas, de accionamiento manual, que permitan «visualizar» el funcionamiento de los distintos motores térmicos.

SOLUCIONES a las Actividades propuestas

Pág.
170



1. Si el proceso que experimenta el agua en una máquina de vapor siguiese un ciclo de Carnot, su diagrama p-V correspondiente sería el representado en la figura del margen, ligeramente distinto del ideal, ya que, al producirse fenómenos de condensación y evaporación, durante los cambios de estado la presión permanece constante y las líneas isotermas AB y CD son al mismo tiempo isobaras. Para que una máquina térmica pudiese seguir este ciclo, habría que detener la condensación del vapor en el punto D, antes de que se hubiese licuado por completo, y luego, por medio de un compresor, llevar adiabáticamente la mezcla hasta su licuación completa hasta alcanzar la temperatura de la caldera. Como este proceso resulta técnicamente imposible, el ingeniero escocés J. M. Rankine (1820-1872) propuso una modificación del ciclo de Carnot, que se conoce en la actualidad con el nombre de *ciclo de Rankine*.
2. En el ciclo de Rankine las isotermas corresponden a los procesos de vaporización y condensación del combustible, los cuales se verifican a presión constante.

El ciclo de Rankine consta de los siguientes procesos:

1. El agua líquida de la caldera (punto A), absorbiendo calor del hogar, eleva a presión constante su temperatura hasta T_1 (punto A), y manteniendo luego constantes la presión y la temperatura se transforma reversiblemente en vapor saturado y seco (punto B).
2. El vapor saturado se expande en el interior de la máquina de una forma adiabática y reversible, hasta alcanzar la temperatura T_2 del refrigerante (punto C), y se condensa parcialmente. En este proceso produce un trabajo positivo.
3. Prosigue luego la condensación a temperatura y presión constantes, hasta el punto D, formándose líquido saturado.
4. Por último, el líquido saturado se comprime reversible y adiabáticamente hasta alcanzar la temperatura y presión de la caldera (punto A), completándose de esta forma el ciclo.

SOLUCIONES a las Actividades de Síntesis

1. El rendimiento ideal, máximo, sería el correspondiente al ciclo de Carnot:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{500 \text{ K} - 300 \text{ K}}{500 \text{ K}} = 0,4$$

La máquina mencionada, en caso de ser posible, tendría un rendimiento:

$$\eta' = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{W}{Q_1} = \frac{180 \text{ kJ}}{400 \text{ kJ}} = 0,45$$

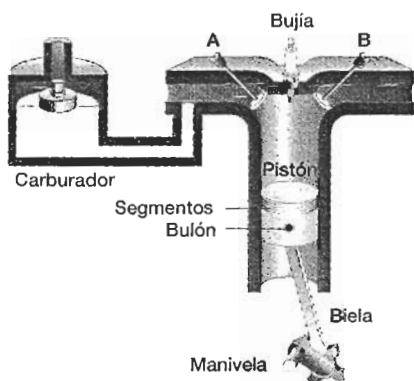
Como este rendimiento resultaría ser mayor que el del ciclo de Carnot que opera entre las mismas temperaturas,

la afirmación no puede ser cierta

2. a) *Corredera*. Pieza que en las máquinas de vapor abre y cierra alternativamente los orificios por donde entra y sale el vapor de agua en el cilindro.
- b) *Émbolo*. Pieza cilíndrica maciza que se mueve alternativamente ajustada a las paredes interiores del cilindro de una máquina, enrareciendo o comprimiendo un fluido o recibiendo movimiento de él.
- c) *Cruceta*. Pieza que sirve de articulación entre el vástago del émbolo y la biela.
- d) *Límite metalúrgico*. Límite máximo de temperatura en la caldera de la máquina de vapor. Suele ser de unos 600°C y viene determinado por la resistencia de los materiales.
- e) *Volante de inercia*. Pieza con la que gira solidariamente la manivela, y cuya misión es mantener constante la velocidad angular compensando los cambios cíclicos en la presión que el vapor ejerce sobre la superficie del émbolo. Lleva acoplada una excéntrica.
- f) *Excéntrica*. Pieza que va montada en un eje que no pasa por su centro, y que en su periferia se apoya en un vástago que se mueve alternativamente al girar la excéntrica.

3. Entre los motores alternativos de encendido por explosión, el de uso más común es el motor de cuatro tiempos, cuyos órganos esenciales y misiones que realizan son las siguientes:

• **Carburador**: recipiente en el que se pulveriza el combustible (por lo general, gasolina) y se mezcla homogéneamente con el aire en las proporciones adecuadas (aproximadamente 7 gramos de gasolina por cada 100 gramos de aire). En los últimos años se han desarrollado sistemas de inyección que permiten un mejor control del combustible, sin necesidad de utilizar carburador.



• **Cilindro**: constituido por el cuerpo de bomba, con su correspondiente émbolo, dos válvulas (admisión, A, y escape, B) y una bujía. En él se realiza la explosión de la mezcla carburante, originándose un movimiento alternativo del pistón o émbolo.

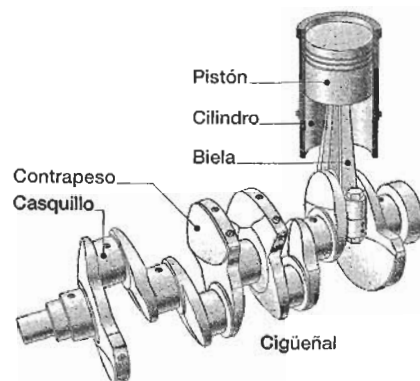
Este último tiene forma de un vaso invertido y está unido a la biela por medio de un *bulón*; ha de ser resistente a los esfuerzos mecánicos y térmicos y para asegurar que cierre herméticamente el cilindro va provisto de *segmentos* alojados en unas ranuras de su parte superior.

Las válvulas de admisión y de escape tienen la misión de permitir la entrada de la mezcla combustible y la salida de los gases de combustión, respectivamente. Estas válvulas están situadas en la *culata*, directamente sobre el cilindro, y se mantienen en su posición de cierre mediante un muelle, abriéndose hacia el interior del cilindro por medio de una leva. Las levas se sitúan en el *árbol de levas*, que está sincronizado con el cigüeñal, de forma que la apertura y cierre se produzcan en el momento adecuado.

La *bujía* está formada por dos electrodos separados aproximadamente 0,5 mm, uno unido a masa y otro procedente del distribuidor, y ambos aislados eléctricamente. El casquillo de acero de la bujía se enrosca en la parte superior del cilindro. La misión de la bujía es producir una chispa que explote la mezcla comprimida. Para ello es necesaria una diferencia de potencial de 10 000-20 000 V; esto se puede realizar por batería, por plato magnético (en las motocicletas), o bien por medios electrónicos. La batería, normalmente de 12 V, se une a un transformador para obtener la tensión necesaria. El encendido por plato magnético es semejante, pero, en lugar de la batería, que es una pieza pesada y voluminosa, utiliza la corriente inducida por un campo magnético variable. En cuanto a los encendidos electrónicos, pueden ser transistorizados, sin ruptor, por descarga de condensador o con convertidores de impulsos.

• **Órganos transformadores del movimiento: biela-manivela y cigüeñal**. Transforman el movimiento alternativo del pistón en movimiento circular. La biela, a través de la manivela, transmite el esfuerzo del pistón al cigüeñal y éste, a su vez, transmite la potencia desarrollada en los cilindros al árbol motor. Su forma característica resulta de los cojinetes de apoyo, las manivelas que se unen a las correspondientes bielas, el volante de inercia y algún mando auxiliar. El par motor se transmite al extremo del árbol por medio de un acoplamiento rígido o elástico. Todos aquellos mecanismos del motor que necesitan movimiento, tales como ventilación, circulación de agua y aceite, válvulas, etc., están acoplados al cigüeñal por rueda dentada, correa, etc.

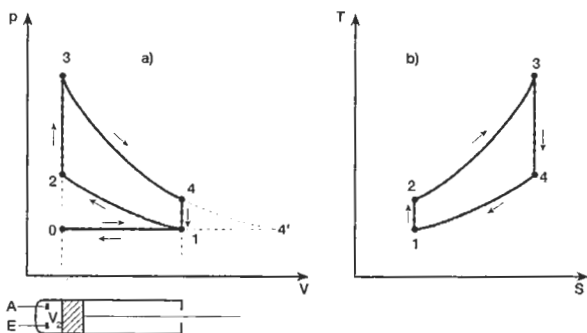
El conjunto de los cilindros, biela-manivela y cigüeñal suele encerrarse en el *bastidor-cárter*, que debe ser lo suficientemente resistente para soportar los esfuerzos provocados en el pistón; protege a todos los elementos que contiene y a veces sirve de depósito de lubricante.



La culata es una pieza que cierra los cilindros en la zona de combustión, y suele estar acoplada a ellos por medio de pernos. Las elevadas temperaturas que se alcanzan en la culata y en los cilindros requieren un sistema de refrigeración, que puede ser por aire (dotando a los cilindros de aletas de enfriamiento) o por agua (que circula entre la doble cubierta de cilindro y culata). En este caso el agua recorre el circuito impulsada por una bomba, y se enfría en el radiador por medio de una corriente de aire lanzada por el ventilador.

Por otra parte, debido a la gran cantidad de piezas móviles existentes en estos motores, es necesario disponer de una adecuada lubricación, no sólo para aumentar el rendimiento sino también para evitar deterioros; deben lubricarse, en especial, las paredes del cilindro, las articulaciones de las bielas, el árbol de levas, las válvulas, los cojinetes del cigüeñal y los engranajes. La lubricación se lleva a cabo por medio de un circuito de aceite a presión; el aceite se encuentra en un depósito, llamado *cárter*, desde donde se distribuye a presión por medio de una bomba a todas las partes en que sea necesario.

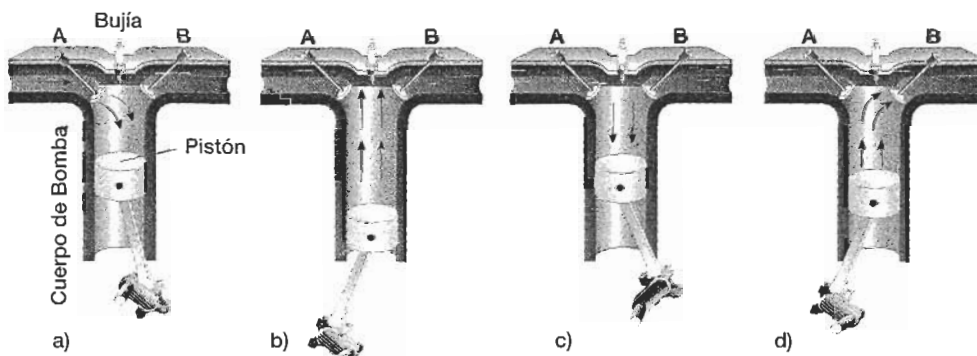
Termodinámicamente, el comportamiento de un motor de explosión de cuatro tiempos se aproxima al de una máquina térmica que siga el ciclo hipotético ideado en 1862 por Beau de Rochas y usado por vez primera en 1877 por Nikolaus Otto (ciclo de Otto). Dicho ciclo, esquematizado en la figura; se supone efectuado por un gas perfecto y consta de dos procesos adiabáticos y dos isocoros, que en conjunto reciben el nombre de tiempos.



• **Primer tiempo: Admisión (0 - 1).** Baja el pistón, se abre la válvula de admisión y entra por aspiración la mezcla carburante de combustible y aire en el cilindro (Figura a).

• **Segundo tiempo: Compresión (1 - 2).** Sube el pistón, se cierran las dos válvulas y se comprime isotérmicamente la mezcla carburante (Figura b).

• **Tercer tiempo: Explosión-expansión (2 - 3 y 3 - 4).** Al alcanzar la mezcla la máxima compresión –pistón en la parte más alta– salta la chispa en la bujía, explota la mezcla carburante y lanza el pistón hacia abajo. Las válvulas continúan cerradas (Figura c).



• **Cuarto tiempo: Escape (4 - 1 y 1 - 0).** Se abre la válvula de escape y el pistón, al subir, expulsa los gases quemados procedentes de la explosión de la mezcla. Idealmente podemos suponer que existe un descenso brusco de presión y temperatura a volumen constante (4 - 1), seguido de una expansión a la presión atmosférica por retroceso del émbolo (1 - 0). Si bien la expansión de los gases podría efectuarse hasta alcanzar la presión exterior (punto 4), se necesitarían cilindros muy alargados y la mezcla se enfriaría demasiado (Figura d).

Es interesante tener en cuenta que solamente en el tercer tiempo se produce trabajo mecánico. Este trabajo se almacena en forma de energía mecánica en el volante de inercia, de donde se toma la necesaria para la realización de los otros tres tiempos.

El funcionamiento de este motor que se acaba de describir corresponde a un solo cilindro. Los motores de coches, camiones, barcos, aviones, etc. que utilizan gasolina como combustible son de 4, 6 o más cilindros.

El rendimiento del ciclo ideal de Otto viene dado por la expresión:

$$\eta = 1 - \frac{1}{R^{\gamma-1}}$$

donde $R = V_1 / V_2$ se denomina **grado de compresión de la mezcla**, y γ es su coeficiente adiabático.

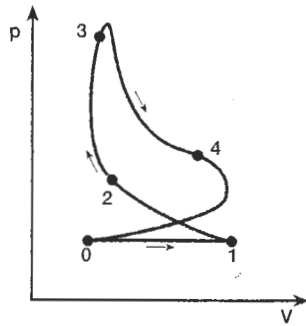
En los motores de gasolina existe un límite por encima del cual no puede elevarse el grado de compresión, ya que a temperaturas y presiones elevadas la mezcla carburante explota antes de que salte la chispa (se alcanza el **nivel de autoignición**).

Este fenómeno de **detonación** produce un choque audible que perjudica al motor y disminuye su rendimiento. Añadiendo a la gasolina **sustancias antidetonantes** se consiguen grados de compresión de 8 a 10.

Hay varias razones que justifican el bajo rendimiento de los motores de gasolina:

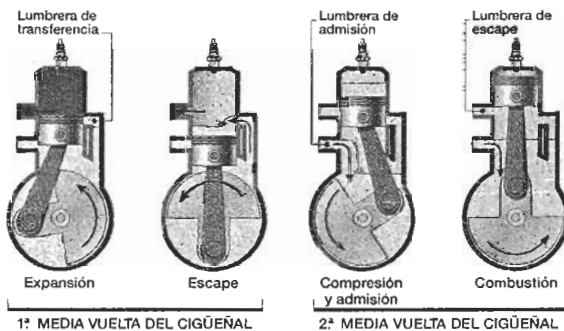
- La combustión no suele ser completa, y siempre se produce algo de monóxido de carbono.
- Existe un intercambio de calor entre los gases y las paredes, lo que obliga a refrigerar el cilindro, para evitar que se quemen los aceites lubricantes. Como consecuencia, las líneas de compresión 1 - 2 y expansión 3 - 4 no son adiabáticas.
- La combustión 2 - 3 no se verifica de forma instantánea y tiene lugar con un pequeño aumento de volumen. Para corregir esto se realiza el llamado *avance de encendido*, consistente en provocar la explosión un poco antes de que el pistón haya realizado por completo el tiempo 1 - 2.

Todo esto se traduce en que el diagrama real del ciclo de Otto difiere bastante del teórico, aproximándose al que se esquematiza en la figura (diagrama indicado), y que se obtiene por medición directa de las variables que intervienen en el proceso.



Como un intento de duplicar la potencia por cada cilindro, se diseñaron motores que recorrieran todo el ciclo en sólo dos carreras del émbolo. Se obtuvieron así **motores de explosión de dos tiempos**, que son mucho más sencillos que los de cuatro tiempos, pues carecen de válvulas y levas y la admisión y salida de gases se realiza a través de las **lumbreras**, que son unos orificios situados en la pared del cilindro y que son cerrados y descubiertos por el propio pistón a lo largo de su recorrido. El cárter se encuentra herméticamente cerrado y se comunica con el cilindro a través de la llamada *lumbrera de transferencia*.

Analícemos, a continuación, los dos tiempos de este motor:



• **Primer tiempo.** Cuando el pistón se encuentra en el punto muerto superior se produce la inflamación de la mezcla. Los gases de la combustión se expanden hasta que el movimiento del pistón deja al descubierto la lumbrera de escape, por donde salen al exterior a causa de la presión. A medida que el pistón sigue bajando comprime el fluido de trabajo del cárter y al final abre la lumbrera de transferencia, por donde pasa el fluido barriendo los gases de combustión hacia la lumbrera de escape.

• **Segundo tiempo.** El pistón comienza su movimiento de ascenso desde el punto muerto inferior, completando el barrido y la admisión, hasta que llega un momento en que cierra las lumbreras de admisión y escape, comenzando la compresión del gas, que se completa cuando el pistón alcanza el punto muerto superior, instante en el que se quema el combustible. La lumbrera de admisión queda abierta y a través de ella penetra fluido en el cilindro.

Este motor, que se emplea en pequeñas motocicletas, en lanchas fuera borda y también en grandes barcos, además de su sencillez, presenta la ventaja de que duplica las carreras de trabajo. Sin embargo, necesita un compresor de los gases de entrada (que puede ser la parte inferior del mismo pistón); por otra parte, las lumbreras de admisión y escape están abiertas a la vez, de manera que parte de la mezcla entrante saldrá por el tubo de escape, o bien parte de los productos de combustión quedarán retenidos en el cilindro; de manera que la potencia máxima no queda duplicada, como cabría suponer. Por otra parte, el rendimiento mecánico de este motor es menor que el de cuatro tiempos, y experimenta un mayor desgaste en el transcurso de su funcionamiento.

El ciclo de este motor se diferencia del de Otto en que no existen las operaciones 0-1 y 1-0.

4. a) *Bujía.* Dispositivo constituido por dos electrodos entre los que salta una chispa eléctrica que produce la explosión de la mezcla carburante en los MEP.
- b) *Segmentos.* Aros de fundición, de sección rectangular, que se alojan en una ranura periférica del émbolo y ajustan contra la pared del cilindro para evitar fugas.
- c) *Culata.* Pieza metálica que se ajusta al bloque de los motores de explosión y cierra el cuerpo de los cilindros.
- d) *Árbol de levas.* Dispositivo formado por varias levas dispuestas en un mismo eje, sincronizado con el cigüeñal. Su misión es la apertura y cierre de las válvulas de admisión y escape.
- e) *Cigüeñal.* Eje acodado que tiene como misión transformar el movimiento rectilíneo de los pistones en movimiento de rotación.
- f) *Bulón.* Pasador cilíndrico o perno tubular, por lo general de acero cementado, que sirve de articulación entre el pistón y el pie de la biela.

5. Las lumbreras son orificios que existen en los cilindros del motor de explosión de dos tiempos. Por uno de ellos (*lumbrera de admisión*) entra la mezcla de combustible, y por el otro (*lumbrera de escape*) salen los gases procedentes de la combustión. Existe, además, otra lumbrera, llamada *lumbrera de transferencia*, que comunica el cárter con el cilindro.
6. El rendimiento máximo de un motor que opera entre dos focos a unas determinadas temperaturas es el que corresponde al ciclo de Carnot. Su valor sería (recuérdese que $T_1 = 727\text{ }^\circ\text{C} = 1\ 000\text{ K}$ y $T_2 = 127\text{ }^\circ\text{C} = 400\text{ K}$):

$$\eta_{\text{máx}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{1\ 000\text{ K} - 400\text{ K}}{1\ 000\text{ K}} = 0,6$$

Analícemos, ahora, cada uno de los ciclos que se mencionan:

- a) $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{W}{Q_1} = \frac{650\text{ kJ}}{1\ 000\text{ kJ}} = 0,65 > \eta_{\text{máx}} \Rightarrow$ **Imposible**
- b) $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{2\ 000\text{ kJ} - 800\text{ kJ}}{2\ 000\text{ kJ}} = 0,6 = \eta_{\text{máx}} \Rightarrow$ **Reversible**
- c) $\eta = \frac{W}{Q_2 + W} = \frac{1\ 600\text{ kJ}}{1\ 000\text{ kJ} + 1\ 600\text{ kJ}} = 0,62 > \eta_{\text{máx}} \Rightarrow$ **Imposible**
- d) Como $\eta = 0,3 < \eta_{\text{máx}}$, el ciclo es **Irreversible**
- e) $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{W}{Q_1} = \frac{160\text{ kJ}}{300\text{ kJ}} = 0,53 < \eta_{\text{máx}} \Rightarrow$ **Irreversible**
- f) $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{W}{Q_1} = \frac{180\text{ kJ}}{300\text{ kJ}} = 0,6 = \eta_{\text{máx}} \Rightarrow$ **Reversible**
- g) Como $W \neq Q_1 - Q_2$, el proceso es **Imposible**

7. El rendimiento del ciclo ideal de Otto viene dado por la expresión:

$$\eta = 1 - \frac{1}{R^{\gamma-1}}$$

Sustituyendo los datos del enunciado, se tiene:

$$0,5 = 1 - \frac{1}{R^{1,50-1}}$$

de donde resulta:

$$\boxed{R = 4}$$

8. El rendimiento será:

$$\eta = 1 - \frac{1}{R^{\gamma-1}} = 1 - \frac{1}{8^{1.50-1}} = 0,646 = \boxed{64,6\%}$$

9. Por ser el motor reversible, se cumple:

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{W}{Q_1} = \frac{P}{Q_1/t} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Como:

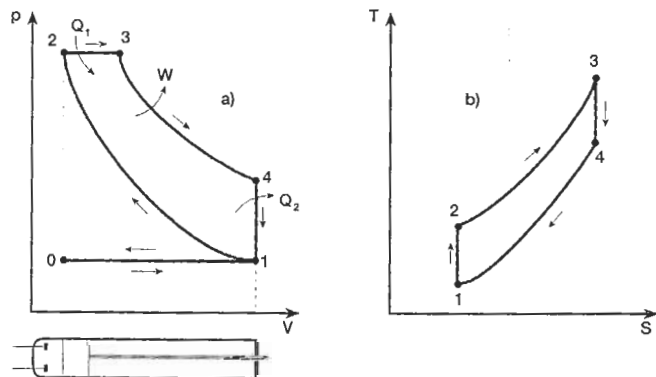
$$P = 40 \text{ kW y } Q_1/t = \left[1000 \frac{\text{kJ}}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} + 40 \text{ kW} \right] = \frac{170}{3} \text{ kW}$$

sustituyendo en la anterior expresión, se tiene:

$$\frac{40 \text{ kW}}{170/3 \text{ kW}} = \frac{T - 280 \text{ K}}{T}, \text{ de donde resulta: } \boxed{T = 952 \text{ K}}$$

10. En el motor alternativo de encendido por compresión, o motor diésel, se introduce solamente aire y tras la compresión se introduce un combustible adecuado; si la compresión es elevada se produce una autoignición, teniendo lugar en vez de la explosión una combustión progresiva; de esta forma se pueden obtener rendimientos más altos que con el motor de explosión.

El ciclo *Diesel* hipotético descrito por un gas perfecto viene representado en los diagramas p-V y T-S de la figura.



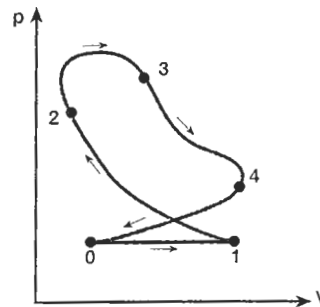
En los motores diésel no existe carburador, ni tampoco sistema de encendido. El motor admite aire puro a la presión atmosférica (0-1) y lo comprime adiabáticamente (1-2) hasta presiones de 40-50 atm y temperaturas de 600 °C. En este punto se introduce gasóleo en el cilindro a elevada presión (70 atm) de una forma controlada mediante una bomba inyectora, con lo que la mezcla se inflama a presión constante (2-3), produciéndose el avance del pistón. Cuando éste llega a la décima parte de su recorrido cesa la inyección de gasóleo y el gas se expansiona adiabáticamente (3-4). En el momento en que el émbolo alcanza el punto muerto inferior se abre la válvula de escape y la presión desciende hasta 1 atm (4-1). A continuación los gases son expulsados (1-0), reanudándose de nuevo el ciclo.

Se puede deducir que el rendimiento de un ciclo *Diesel* viene dado por:

$$\eta = 1 - \frac{1}{R^{\gamma-1}} \cdot \left(\frac{R_0^{\gamma} - 1}{\gamma (R_0 - 1)} \right)$$

es decir, el rendimiento depende de la relación de compresión R y de la relación de combustión R₀ entre el volumen de la mezcla al cesar la entrada de combustible y el volumen de la recámara.

El diagrama real de un motor diésel difiere considerablemente del teórico, puesto que la combustión no se efectúa a presión constante, y el proceso 4-1 tampoco se lleva a cabo exactamente a volumen constante. También influyen en ello las mismas causas que en los motores de explosión (combustión incompleta, acción de las paredes, etc.).

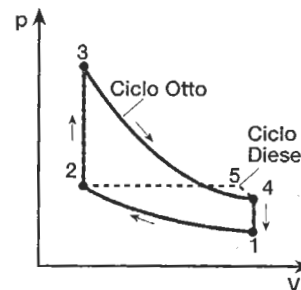


Los motores diésel se emplean extensamente en la actualidad a causa de su elevado rendimiento y por la utilización de combustibles más baratos (camiones, trenes, autobuses, tractores, propulsión naval, unidades de potencia auxiliares, etc.). También presentan el inconveniente de la detonación, pero por un motivo distinto que los motores de explosión. El gasóleo ha de inflamarse en el mismo instante en que se inyecta en el cilindro, pues de no ser así, la combustión sería demasiado rápida y originaría un aumento de presión que daría lugar a una detonación audible: para evitarla, es necesario que el retraso de la ignición sea lo más pequeño posible, lo que se logra utilizando combustibles de inflamabilidad elevada.

11. Porque el encendido de la mezcla explosiva se verifica espontáneamente, a medida que el combustible se inyecta en el cilindro que contiene aire sometido a una elevada compresión.

12. El ciclo de *Otto* consta de dos procesos adiabáticos y dos isocoros; mientras que el ciclo *Diesel* está constituido por dos adiabáticas, una isobara y una isocora.

En el diagrama p-V de la figura se representan superpuestos los ciclos teóricos de *Otto* y *Diesel* correspondientes a una misma relación de compresión.



Puede apreciarse que el rendimiento teórico del ciclo *Otto* es mayor que el del *Diesel*, lo que también se puede comprobar por medio de las expresiones correspondientes, teniendo en cuenta que R₀ >> 1.

Sin embargo, en la práctica el rendimiento de los motores diésel es más elevado que el de los motores de explosión.

13. La compresión del motor diésel se realiza exclusivamente con aire, no existiendo, por tanto, peligro de detonación. Por eso, la relación de compresión puede ser mayor que en un ciclo de *Otto*, lo que se traduce en un mayor rendimiento. A igualdad de potencia, el motor diésel es más pesado, porque su mayor presión final exige el empleo de piezas más robustas.

La potencia máxima de los motores *Otto* es de unos 3 000 CV para aviones de transporte; los motores diésel pueden construirse con mayor potencia (unos 20 000 CV, para barcos).

$$14. \eta = \frac{1}{G_{sol} \cdot H_c} =$$

$$= \frac{1}{260 \frac{\text{g}}{\text{kWh}} \cdot 10^3 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \cdot 10^3 \frac{\text{cal}}{\text{g}} \cdot 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kcal}} \cdot 3,6 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kWh}} \cdot 4,18 \frac{\text{J}}{\text{cal}}} =$$

$$= 0,3211 = \boxed{32,11\%}$$

15. La superficie mínima, S, del colector solar corresponde a un valor mínimo de la cantidad de calor absorbida Q₁. En estas condiciones se cumplirá:

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{W}{Q_1} = \frac{P}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

El enunciado de la actividad nos suministra los siguientes datos:

$$\dot{Q}_1 = 0,4 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \cdot S (\text{m}^2) \cdot \frac{70}{100} = 0,28 S (\text{kW})$$

$$P = 800 \text{ kW}$$

$$T_1 = 600 \text{ K}$$

$$T_2 = 300 \text{ K}$$

Por lo tanto, sustituyendo en la expresión anterior, se tiene:

$$\frac{800 \text{ kW}}{0,28 S (\text{kW})} = \frac{600 \text{ K} - 300 \text{ K}}{600 \text{ K}}$$

de donde resulta:

$$\boxed{S = 5\,714 \text{ m}^2}$$

16. Se trata de una actividad de realización personal por parte del alumnado, pudiendo utilizar como información inicial de partida la contenida en la página 180 del texto.