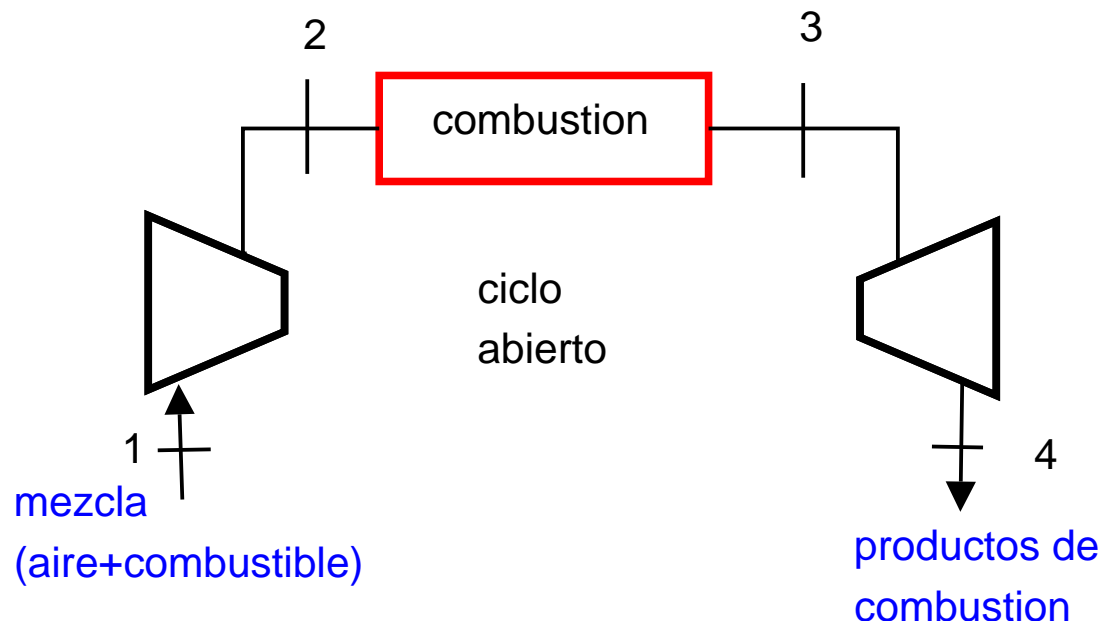


Ciclos de Aire Standard

- máquinas reciprocantes
- modelo de aire standard
- ciclo Otto
- ciclo Diesel
- ciclo Brayton

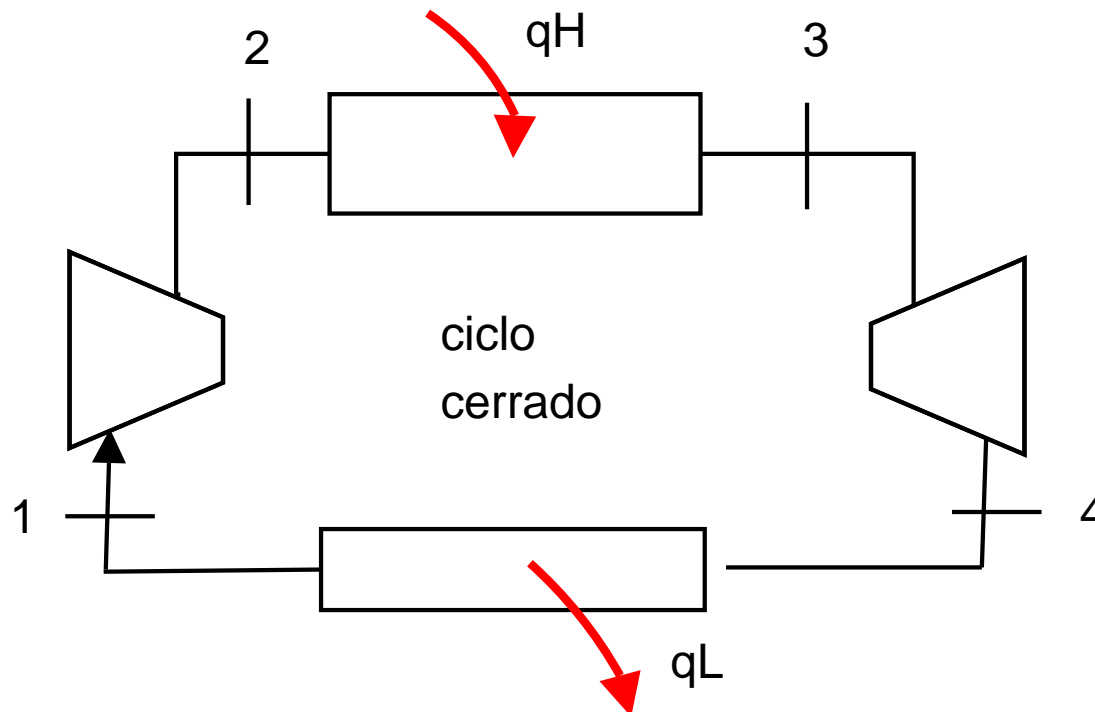
máquinas de combustión interna

- el calor q_H proviene de la combustión de la mezcla (combustible + aire) en el cilindro
- la composición del fluido de trabajo varía:
aire + combustible \longrightarrow productos de combustión
- operan en ciclos abiertos y no cerrados:



máquinas de combustión interna

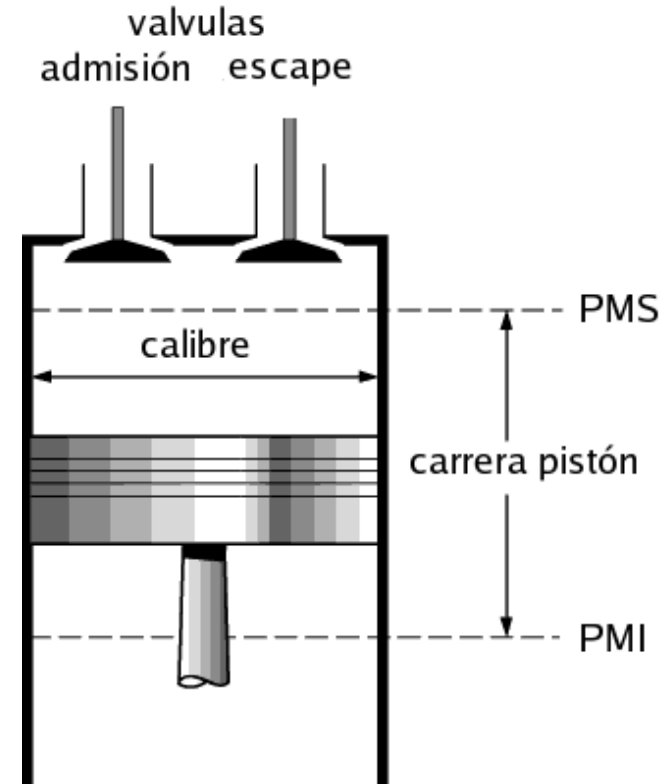
- el calor q_H proviene de la combustión de la mezcla (combustible + aire) en el cilindro
- la composición del fluido de trabajo varía: aire + combustible \longrightarrow productos de combustión
- operan en ciclos abiertos y no cerrados:



máquinas de combustión interna

encendido

- por chispa
- por compresión



PMS = Punto muerto superior

PMI = Punto muerto inferior

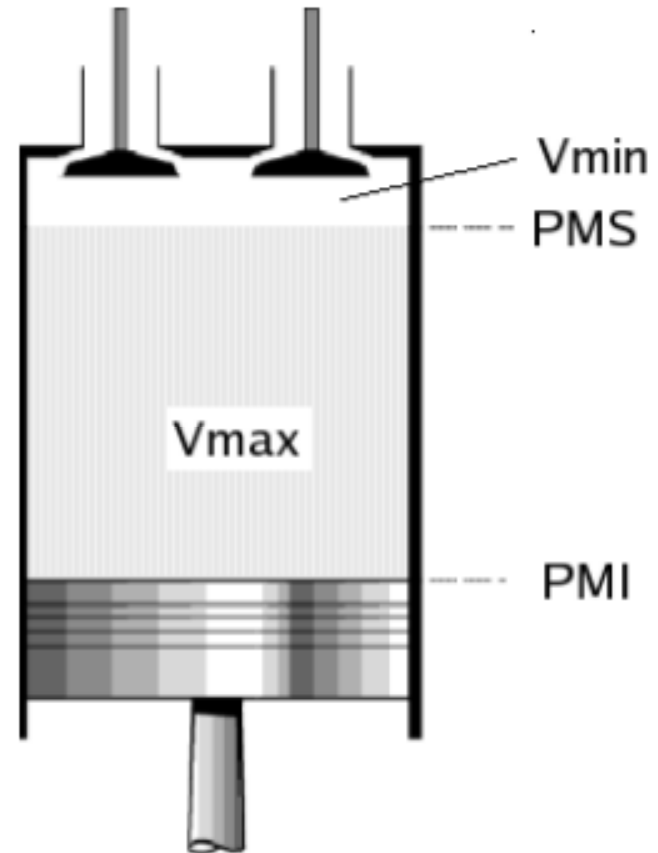
máquinas de combustión interna

V_{min} = volumen libre

V_{max} = volumen de desplazamiento

relación de compresión:

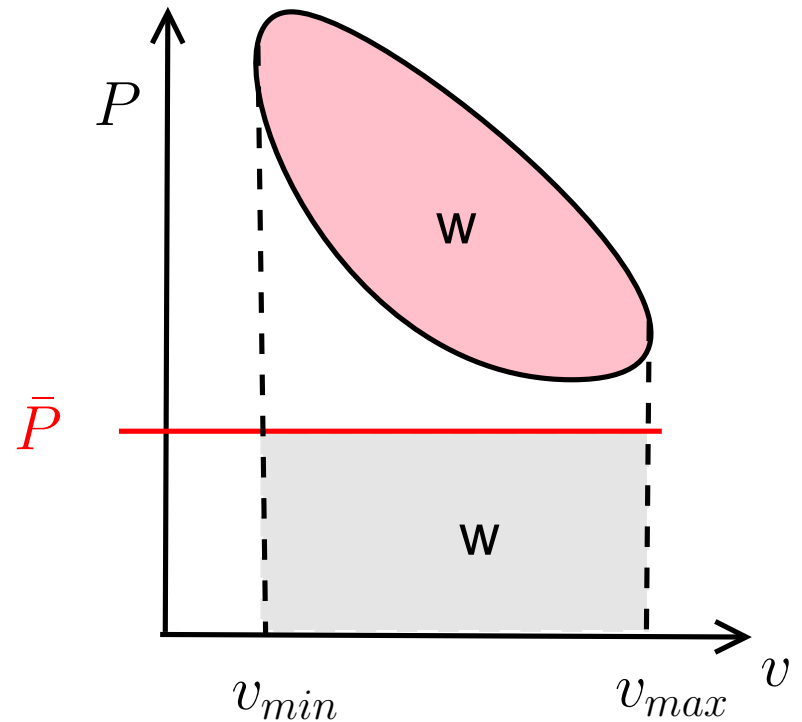
$$r \equiv \frac{V_{max}}{V_{min}}$$



presión media efectiva \bar{P}

es la presión que produciría el mismo trabajo neto (en una carrera de potencia del pistón) que el ciclo real.

$$w = \bar{P} \times (v_{max} - v_{min})$$



\bar{P} es útil para comparar máquinas de igual tamaño (cilindrada).

A mayor \bar{P} , mayor trabajo neto en cada carrera de potencia.

modelo de aire standard

- ciclo cerrado
- aire se modela como gas ideal
- sólo procesos internamente reversibles
- sustituye la combustión por adición de calor q_H desde una fuente externa
- sustituye el escape de productos por la eliminación de calor q_L al ambiente

aire frío standard:

además, supone calores específicos c_p y c_v constantes para el aire.

aire frío standard

propiedades del aire frío como gas ideal diatómico

- peso molecular: $w = 29,0 \text{ kg/kmol}$
- constante del gas: $R = 0,2870 \text{ kJ/kgK}$
- calor específico a $P=\text{cte}$,

$$c_p = \frac{7}{2}R = 1,004 \text{ kJ/kgK}$$

- calor específico a $v=\text{cte}$,

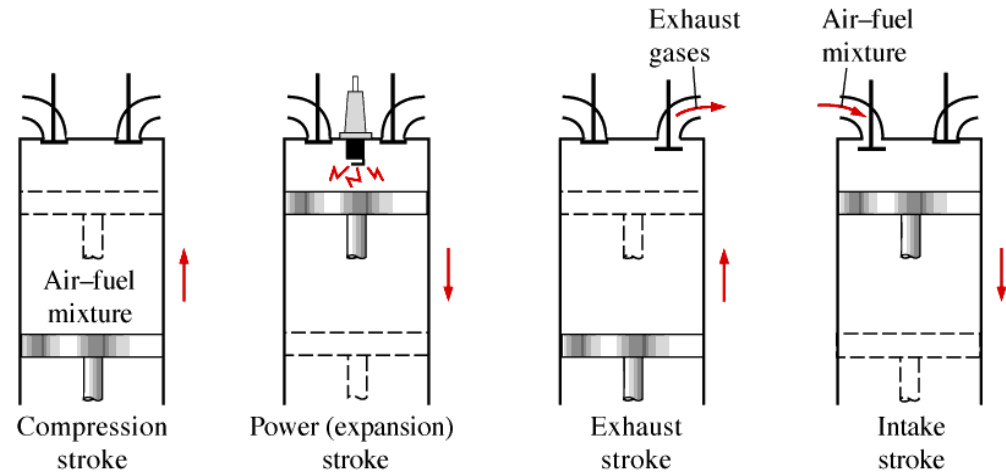
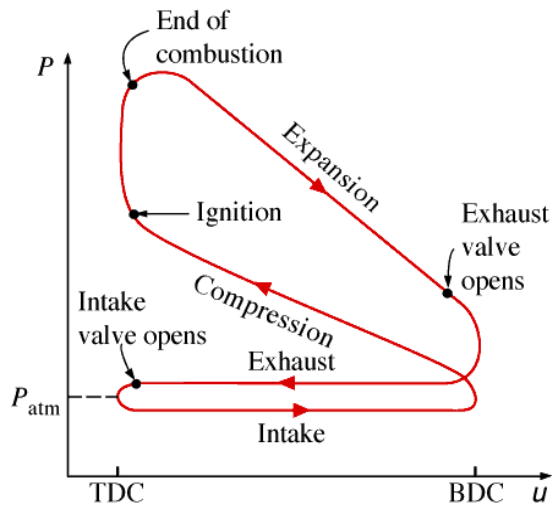
$$c_v = \frac{5}{2}R = 0,717 \text{ kJ/kgK}$$

- cociente de calores específicos,

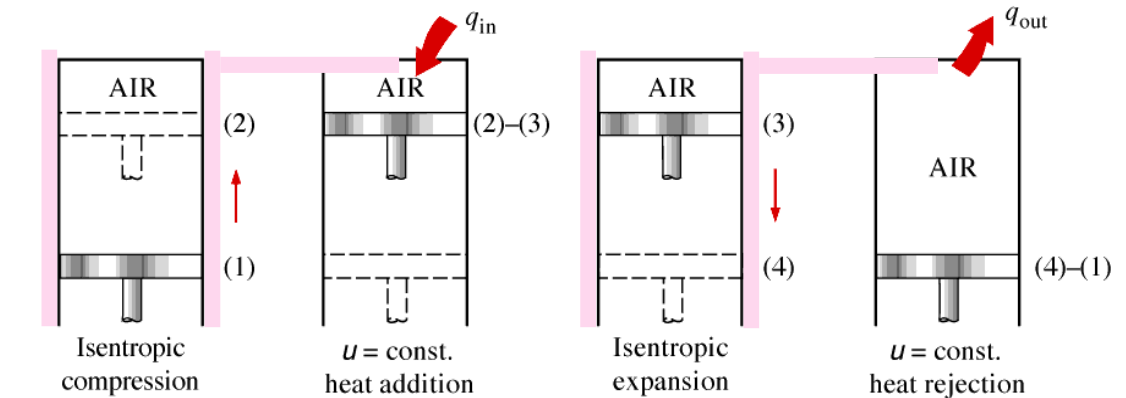
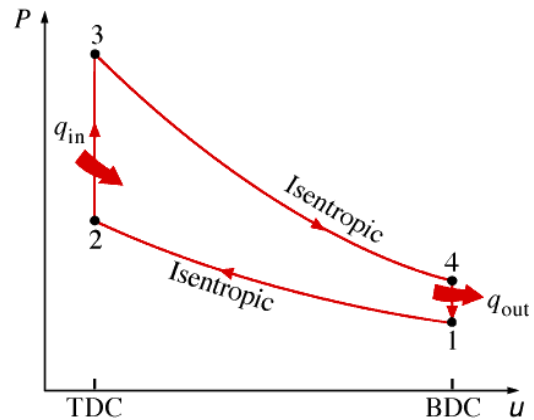
$$k = \frac{c_p}{c_v} = \frac{7}{5} = 1,40$$

ciclo Otto

modelo ideal para un motor de 4 tiempos
encendido por chispa

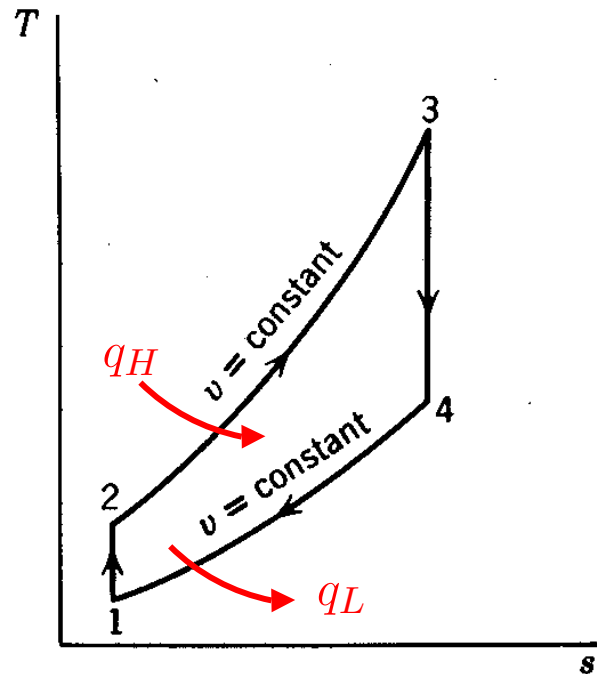
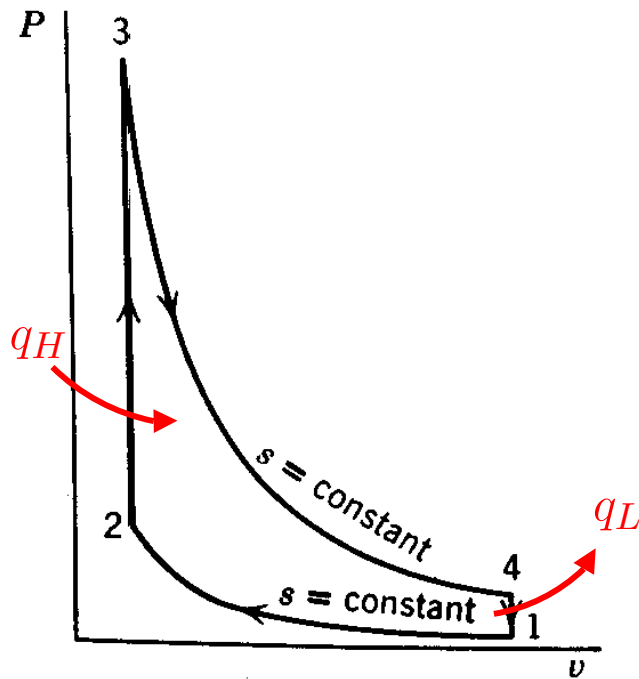


(a) Actual four-stroke spark-ignition engine



(b) Ideal Otto cycle

ciclo Otto



etapas:

- 1-2: compresión isentrópica
- 2-3: calentamiento isócoro
- 3-4: expansión isentrópica
- 4-1: enfriamiento isócoro

relación de compresión

$$r = \frac{v_1}{v_2}$$

relaciones isentrópicas (gas ideal)

para un gas ideal $Pv = RT$, con $k = c_p/c_v$,
en condiciones isentrópicas

$$Pv^k = cte \longrightarrow \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^k$$

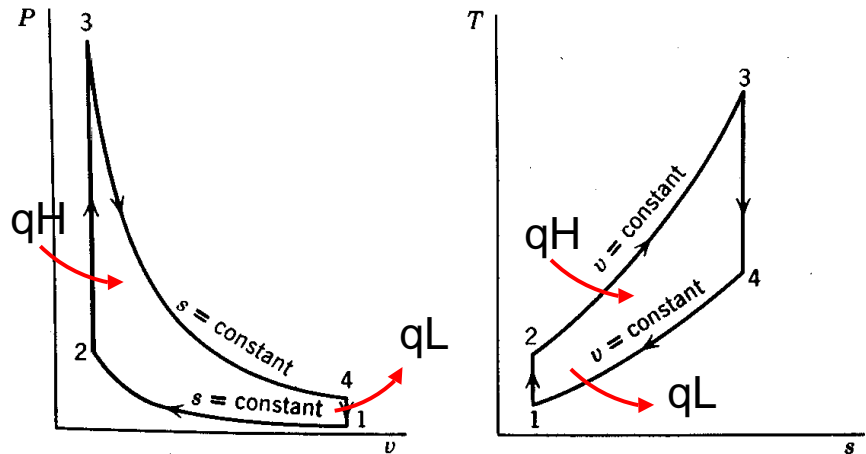
$$Tv^{k-1} = cte \longrightarrow \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^{k-1}$$

$$T^k P^{1-k} = cte \longrightarrow \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{1-1/k}$$

ciclo Otto - eficiencia

eficiencia térmica,

$$\eta_t = \frac{w}{q_H} = 1 - \frac{q_L}{q_H}$$



el calor se intercambia en etapas isócoras ($w = 0$),

$$q_H = u_3 - u_2 = c_v(T_3 - T_2) \quad q_L = u_4 - u_1 = c_v(T_4 - T_1)$$

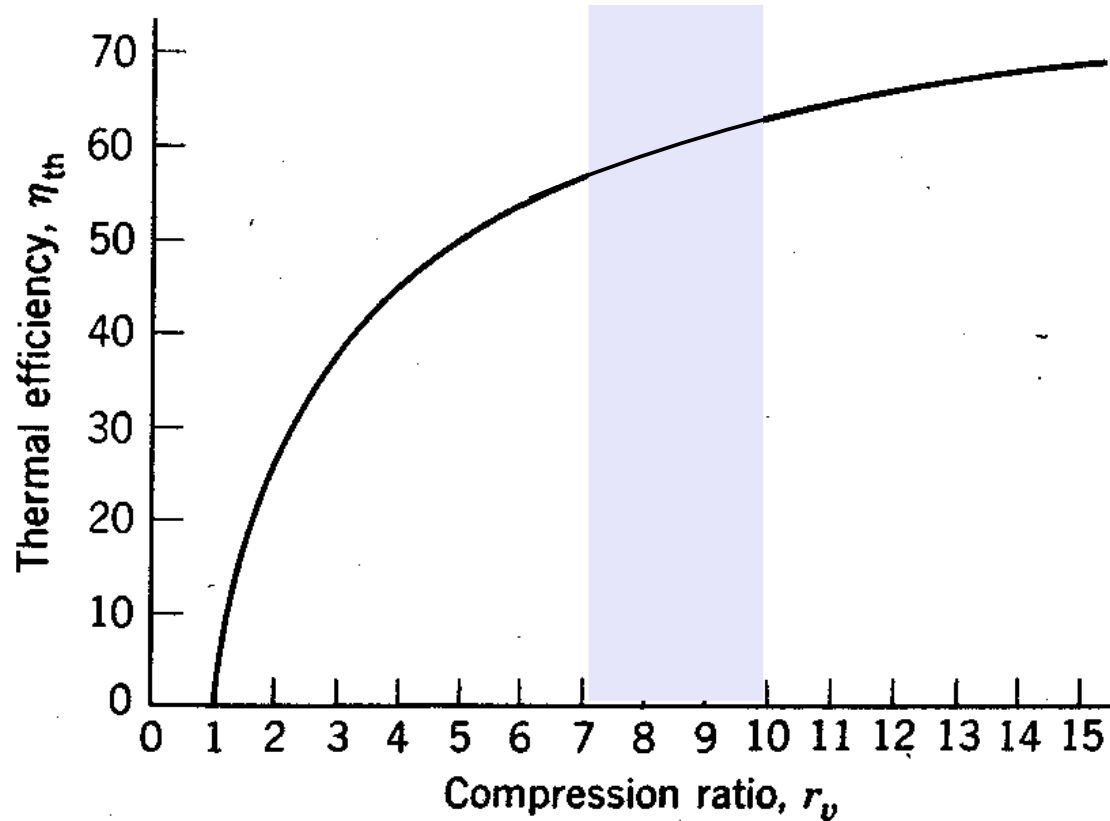
de modo que

$$\eta_t = 1 - \frac{T_1}{T_2} \left(\frac{T_4/T_1 - 1}{T_3/T_2 - 1} \right) = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}}$$

(usando relaciones adiabáticas: $T_4/T_3 = T_1/T_2 = 1/r^{k-1}$)

ciclo Otto - eficiencia

para el aire, $k = 1,40$



relación de compresión típica para motores a nafta

$$r \in [7, 10]$$

ciclo Otto - eficiencia

en motores a nafta la relación de compresión r esta limitada por el problema de knocking...

Si r es demasiado grande, la mezcla explota espontáneamente antes de que se produzca la chispa (knocking), se desincroniza y sufre el motor.

solución:

mejorar el combustible para que tolere r mas alto sin explotar

solución vieja: agregar plomo → **Pb es VENENO!**

ahora: MTV...

ciclo Otto: ejemplo

ciclo Otto de aire standard con relación de compresión $r = 8$.

Al comienzo de la carrera de compresión $P_1=100$ kPa, $T_1=15$ °C y en un ciclo se transfieren $q_H = 1800$ kJ/kg al aire

- a) determinar la eficiencia
- b) presiones y temperaturas al final de cada etapa
- c) presión media efectiva

ciclo Otto: ejemplo

ciclo Otto de aire standard con relación de compresión $r = 8$.

Al comienzo de la carrera de compresión $P_1=100$ kPa, $T_1=15$ °C y en un ciclo se transfieren $q_H = 1800$ kJ/kg al aire

- determinar la eficiencia
- presiones y temperaturas al final de cada etapa
- presión media efectiva

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} = 0,565$$

usando las relaciones adiabáticas...

estado	P(MPa)	T(K)	v(m ³ /kg)
1	0,100	288	0,827
2	1,838	662	0,1034
3	8,813	3174	0,1034
4	0,479	1380	0,827

trabajo neto

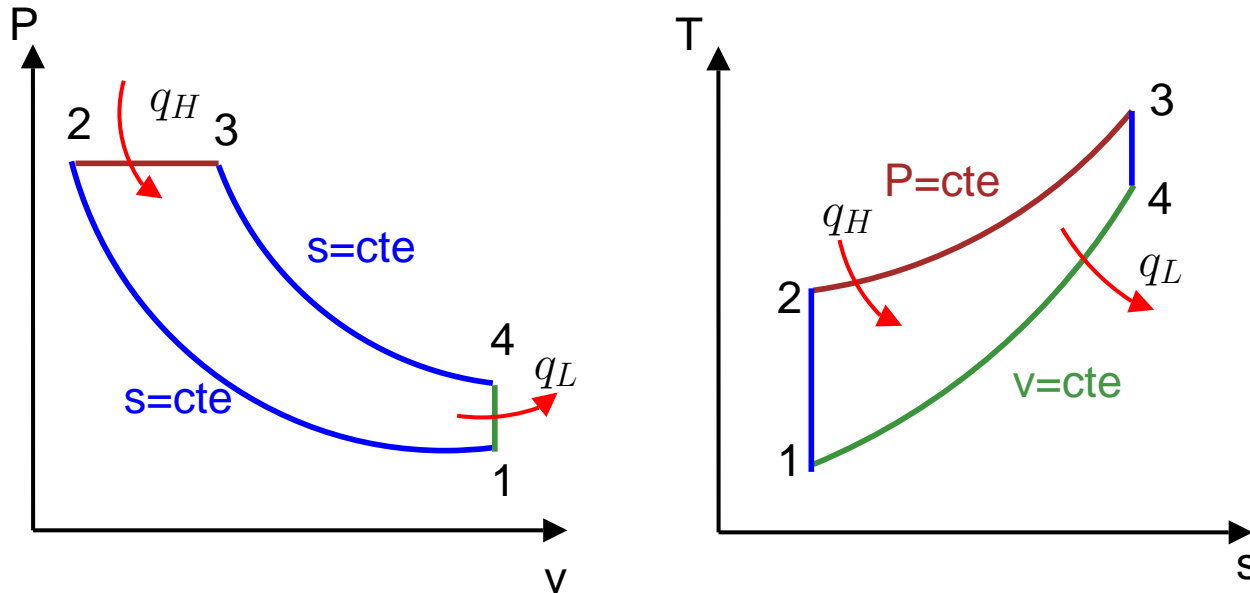
$$w = \eta_t q_H = 0.565 \times 1800 \text{ kJ/kg} = 1017 \text{ kJ/kg}$$

presión efectiva media,

$$\bar{P} \equiv \frac{w}{v_1 - v_2} = \frac{1017}{0,724} = 1406 \text{ kPa}$$

ciclo Diesel

ciclo ideal modelar para motores encendidos por compresión



etapas:

1-2: compresión isentrópica

2-3: **calentamiento isóbaro** (simula inyección de gasoil)

3-4: expansión isentrópica

4-1: enfriamiento isócoro (simula escape)

motor Diesel

- 1-2: se comprime el aire (no el combustible!) por encima de la temperatura de autoencendido del combustible.
- 2-3: se inyecta gasoil (pulverizado) y se produce la explosión espontánea. La inyección dura cierto tiempo en el cual se inicia la expansión modelada $P=cte$
- 3-4: resto de la carrera generadora de potencia
- 4-1: escape de los gases
- no hay riesgo de knocking, dado que no hay combustible (solo aire) en el cilindro antes de la inyección
- puede operar con relaciones de compresión mas altas (entre 12 y 24) que Otto y con combustible menos refinado

eficiencia del ciclo Diesel

el calor se suministra en proceso isóbaro

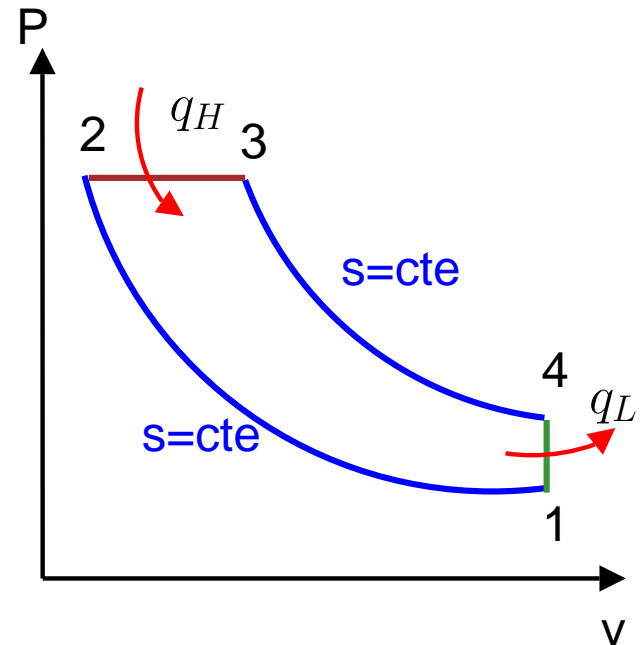
$$q_H = c_P(T_3 - T_2)$$

y se elimina en proceso isócoro

$$q_L = c_V(T_4 - T_1)$$

eficiencia térmica

$$\eta_{Diesel} = 1 - \frac{q_L}{q_H} = 1 - \frac{1}{k} \frac{T_1}{T_2} \left(\frac{T_4/T_1 - 1}{T_3/T_2 - 1} \right)$$



relación de admisión

$$r_c = \frac{\text{vol despues de la inyección}}{\text{vol antes de la inyección}} \equiv \frac{v_3}{v_2}$$

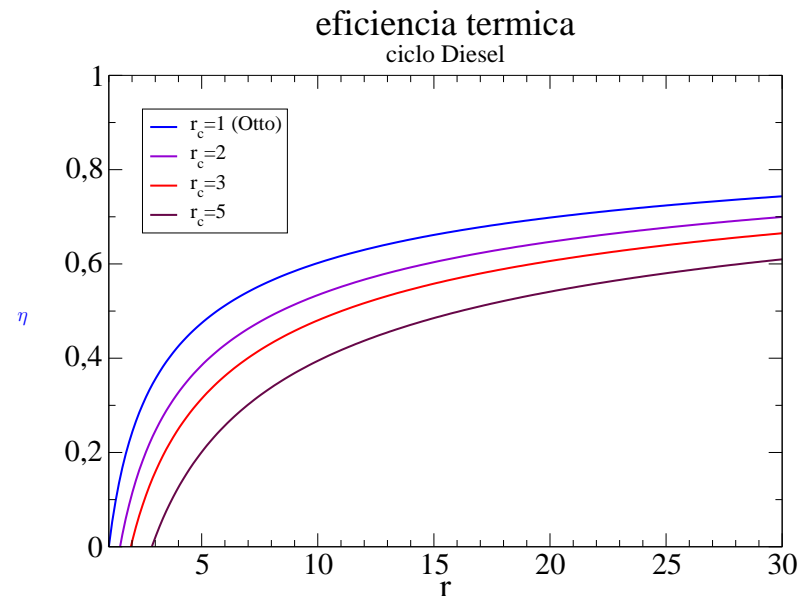
(para un ciclo Otto: $r_c = 1$) entonces

$$\eta_{Diesel} = 1 - \frac{1}{k} \frac{T_1}{T_2} \left(\frac{T_4/T_1 - 1}{T_3/T_2 - 1} \right) = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} \left[\frac{r_c^k - 1}{k(r_c - 1)} \right]$$

siempre $\frac{r_c^k - 1}{k(r_c - 1)} > 1$;

para igual r ,

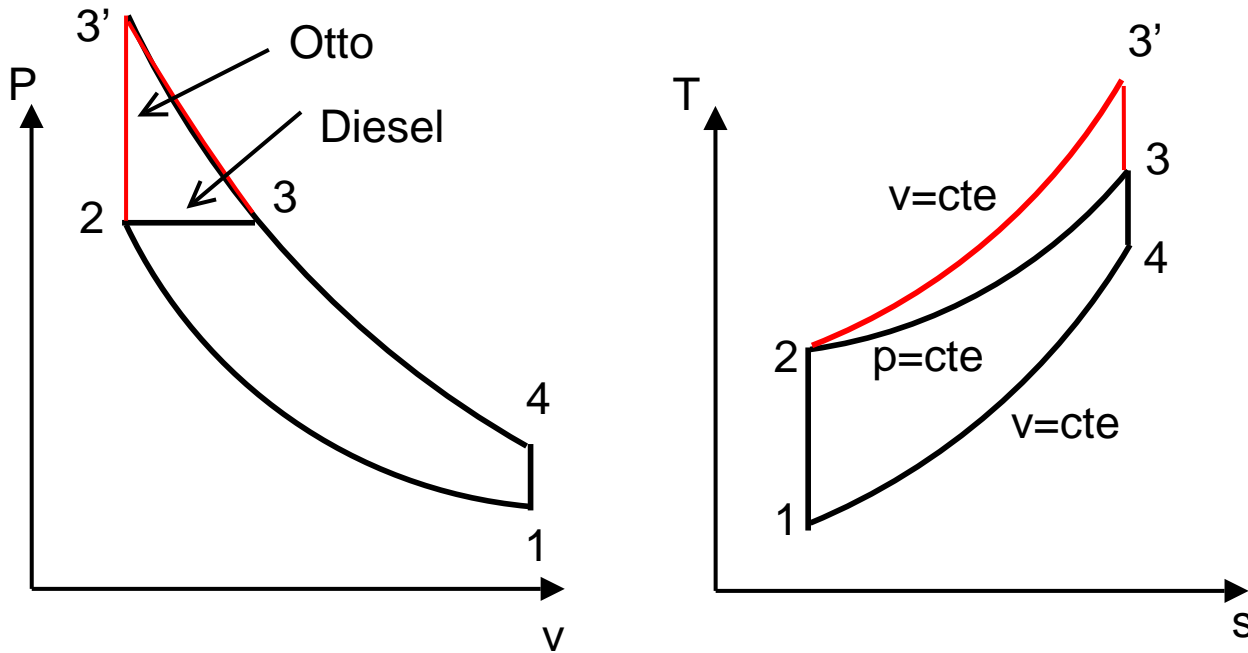
$$\eta_{Otto} > \eta_{Diesel}$$



eficiencia: comparación gráfica

ciclos Otto y Diesel con:

- igual estado previo a compresión (P_1, v_1),
- igual recorrido $v_1 - v_2$
- tienen **igual relación de compresión** $r = v_1/v_2$



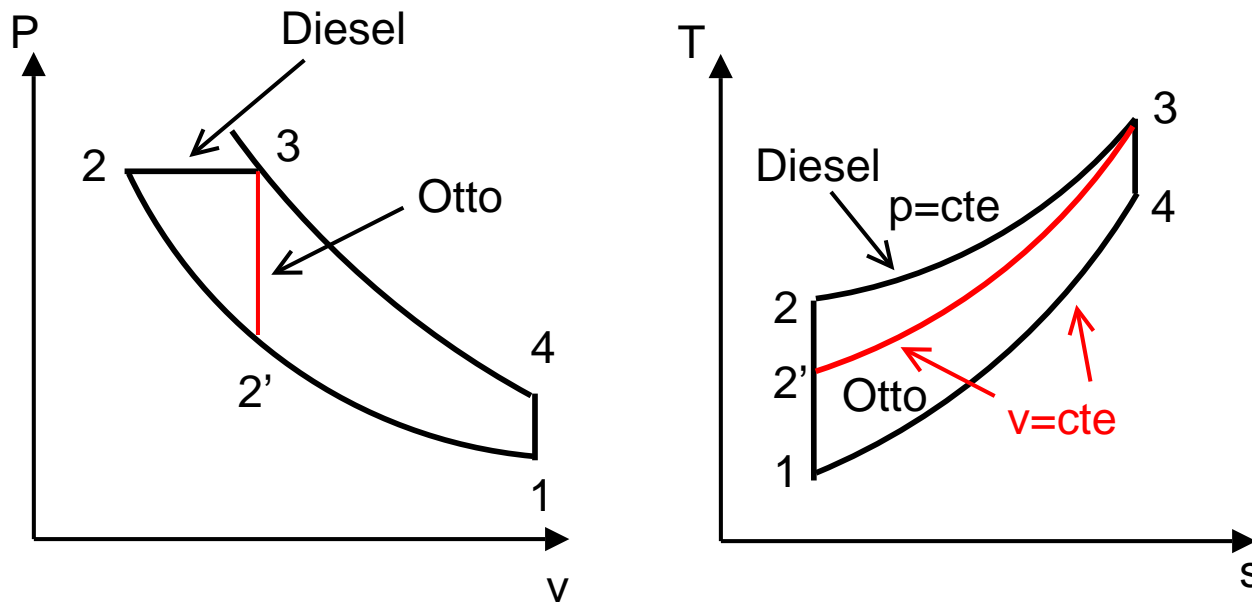
$$\eta_{Otto} > \eta_{Diesel}$$

eficiencia: comparación gráfica

comparación falseada: Diesel admite mayor r que Otto!!

Otra forma:

comparo ciclos Otto y Diesel con **iguales presión y temperaturas máximas** (punto 3)



ahora $\eta_{Diesel} > \eta_{Otto}$

ciclo Diesel: un ejemplo

un ciclo Diesel de aire standard con relación de compresión $r = 16$.

Al comienzo de la carrera de compresión $P_1=100$ kPa, $T_1=15$ °C y en un ciclo se transfieren $q_H = 1800$ kJ/kg al aire

- a) presiones y temperaturas al final de cada etapa
- b) determinar la eficiencia
- c) presión media efectiva

ciclo Diesel: un ejemplo

un ciclo Diesel de aire standard con relación de compresión $r = 16$.

Al comienzo de la carrera de compresión $P_1=100$ kPa, $T_1=15$ °C y en un ciclo se transfieren $q_H = 1800$ kJ/kg al aire

a) presiones y temperaturas al final de cada etapa

b) determinar la eficiencia

c) presión media efectiva

usando las relaciones adiabáticas y otros recursos...

estado	P(kPa)	T(K)	v(m ³ /kg)
1	100	288,2	0,827
2	4850,3	873,7	0,0517
3	4850,3	2666,6	0,1578
4	477	1374,8	0,827

eficiencia,

$$q_L = c_v(T_4 - T_1) = 782,5 \text{ kJ/kg} \longrightarrow \eta = 1 - \frac{q_L}{q_H} = 0,565$$

trabajo neto y presión efectiva media,

$$w = q_H - q_L = 1017,5 \text{ kJ/kg} \longrightarrow \bar{P} = \frac{w}{v_1 - v_2} = 1312,4 \text{ kPa}$$