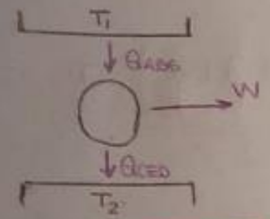
# Máquinas térmicas y frigoríficas



**Máquina térmica:**

↳ ENTREGA TRABAJO NETO




$\{T_1 > T_2\}$

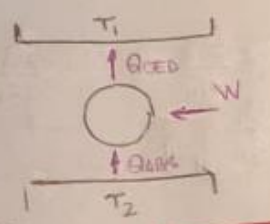
- $\boxed{\epsilon = \dfrac{W}{Q_{ABS}}}$ (1)
- $Q_{ABS} = W + Q_{CED}$ (2)

con (1) y (2):

$$\epsilon = 1 - \frac{Q_{CED}}{Q_{ABS}}$$

**Máquina frigorífica:**

↳ RECIBE TRABAJO NETO




$\{T_1 > T_2\}$

- $\boxed{\eta = \dfrac{Q_{ABS}}{W}}$ (3)
- $Q_{CED} = Q_{ABS} + W$ (4)

con (3) y (4):

$$\eta = \frac{Q_{ABS}}{Q_{CED} - Q_{ABS}} = \frac{1}{\frac{Q_{CED}}{Q_{ABS}} - 1}$$

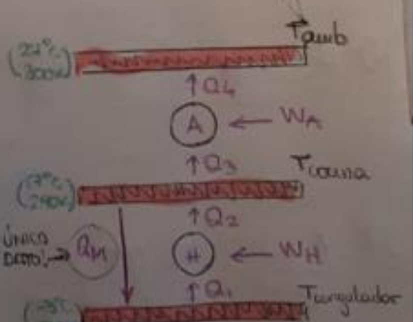
Como estamos trabajando entre dos fuentes térmicas (ciclo de Carnot y reversible suponemos), tenemos la relación:

$$\frac{Q_{CED}}{Q_{ABS}} = \frac{T_{CED}}{T_{ABS}} \longrightarrow \boxed{\begin{array}{ll} \epsilon = 1 - \dfrac{T_2}{T_1}, & T_1 > T_2 \\ \eta = \dfrac{1}{\frac{T_1}{T_2} - 1}, & T_1 > T_2 \end{array}}$$

EFICIENCIAS MÁQUINAS TÉRMICA FRIGORÍFICA IDEAL (ciclo de Carnot)

- En las máquinas térmicas, el rendimiento es mucho mayor si $T_2 << T_1$ $(\epsilon \to 1)$.
- En las máquinas frigoríficas, el rendimiento (factor de clase) es mucho mayor si $T_2 \lesssim T_1$ $(\eta \to \infty)$.

## Ejercicio 4




$$\eta_H = \frac{1}{\frac{T_{amb}}{T_{nevera}} - 1} = \frac{1}{\frac{290K}{270K} - 1} = 13,5 \xrightarrow{60\%} \underline{8,1}.$$

$$\eta_A = \frac{1}{\frac{T_{nevera}}{T_{congelador}} - 1} = \frac{1}{\frac{300K}{290K} - 1} = 29 \xrightarrow{50\%} \underline{14,5}.$$

- COMO QUIERO QUE $T_{cocina}$ y $T_{congelador}$ SE MANTENGAN CONSTANTES:

$$Q_1 = Q_M \quad (5) \qquad\qquad Q_3 = Q_2 - Q_M \quad (6)$$

- HELADERA:

$$\begin{cases} W_H + Q_1 = Q_2 \Rightarrow Q_2 = W_H + Q_M \Rightarrow \boxed{Q_2 = Q_M\left(1 + \frac{1}{\eta_H}\right)} \quad (8) \\ \eta_H = \frac{Q_1}{W_H} \Rightarrow \boxed{W_H = \frac{Q_1}{\eta_H} \underset{(5)}{=} \frac{Q_M}{\eta_H}} \quad (7) \end{cases}$$

- AIRE ACONDICIONADO:

$$\eta_A = \frac{Q_3}{W_A} \Rightarrow W_A = \frac{Q_3}{\eta_A} \overset{(6)}{=} \frac{Q_2 - Q_M}{\eta_A} \overset{(8)}{\Longrightarrow} \boxed{W_A = \frac{Q_M}{\eta_A \eta_H}} \quad (9)$$

- El trabajo TOTAL ENTREGADO ES:

$$W = W_A + W_H \underset{\text{USO (7) y (9)}}{\Longrightarrow} W = \frac{Q_M}{\eta_H}\left(1 + \frac{1}{\eta_A}\right) \rightarrow W \approx 110{,}49\ J$$

COMO SE HACE EN 1 MIN (60 seg)

$$P = \frac{W}{t} \Rightarrow \boxed{P = 1{,}84\, W}$$

## EJERCICIO 6

- LO HAREMOS PARA MÁQUINAS TÉRMICAS YA QUE HACER ESTAS VARIACIONES EN MÁQUINAS FRIGORÍFICAS DISMINUYE SU EFICIENCIA.

a) $$\boxed{\Delta\eta = \eta_f - \eta} \Rightarrow \Delta\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1 + \Delta T} - \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) = \frac{T_2}{T_1} - \frac{T_2}{T_1 + \Delta T}$$

$$= T_2\left[\frac{T_1 + \Delta T - T_1}{T_1(T_1 + \Delta T)}\right] \Rightarrow \boxed{\Delta\eta^{(a)} = \frac{T_2 \Delta T}{T_1(T_1 + \Delta T)}}$$

b) $$\boxed{\Delta\eta = \eta_f - \eta} \rightarrow \Delta\eta = 1 - \frac{T_2 - \Delta T}{T_1} - \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right)$$

$$= \frac{T_2}{T_1} - \frac{T_2}{T_1} + \frac{\Delta T}{T_1} \Rightarrow \boxed{\Delta\eta^{(b)} = \frac{\Delta T}{T_1}}$$

c) $$\frac{\Delta\eta^{(a)}}{\Delta\eta^{(b)}} = \frac{T_2 \cdot \cancel{\Delta T} \cdot \cancel{T_1}}{\cancel{T_1}(T_1 + \Delta T)\cancel{\Delta T}} = \frac{T_2}{T_1 + \Delta T} < 1 \text{ ya que } T_2 < T_1$$

GENERA UN MAYOR AUMENTO DE LA EFICIENCIA DE LA MÁQUINA TÉRMICA DISMINUIR UN $\Delta T$ A LA FUENTE FRÍA QUE AUMENTAR EL MISMO $\Delta T$ A LA FUENTE CALIENTE



- GENERALMENTE, LA FUENTE FRÍA ES EL AMBIENTE Y NO PUEDE CONTROLARSE, POR LO QUE SE OPTA POR HACER MÁS CALIENTE LA $T_1$ PERO SIN COMPROMETER EL FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR.
- ¿SIRVEN LAS MÁQUINAS REVERSIBLES PARA LOS VEHÍCULOS?

## MÁQUINAS TÉRMICAS EN VEHÍCULOS

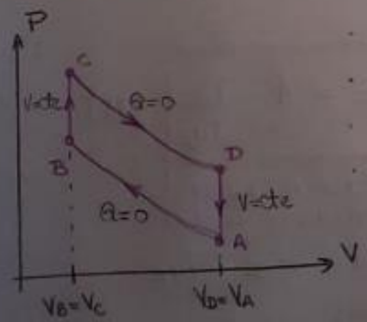
AIRE + COMBUSTIBLE / ENERGÍA = EXPLOSIÓN / COMBUSTIÓN ← ESTO NO ES REVERSIBLE.

- COMBUSTIBLES:
  - → GAS-OIL : CICLO DIESEL (CAMIONES / COLECTIVOS / AUTOS)
  - → NAFTA / GASOLINA : CICLO OTTO (AVIONETAS / AUTOS; MOTOS)

- MOTORES 4T (4 TIEMPOS):
  - ADMISIÓN: INGRESA EL AIRE.
  - COMPRESIÓN: SE COMPRIME EL AIRE Y SE INYECTA COMBUSTIBLE
  - EXPANSIÓN: COMBUSTIONA Y DA POTENCIA AL MOTOR
  - ESCAPE: SALEN LOS GASES.

→ VIDEOS

## CICLO OTTO:




- AB: COMPRESIÓN ADIABÁTICA DE A A B.
- BC: CALENTAMIENTO ISOCÓRICO DE B A C.
- CD: EXPANSIÓN ADIABÁTICA DE C A D.
- DA: ENFRIAMIENTO ISOCÓRICO DE D A A.

- GAS IDEAL MONOATÓMICO: $C_V = \frac{3}{2}R$ , $\gamma = 5/3$
- GAS IDEAL DIATÓMICO: $C_V = \frac{5}{2}R$ , $\gamma = 7/5$

$\boxed{C_p = C_V + R}$ , $\boxed{U = nC_VT}$

- $\underline{AB}$:

$$\begin{cases} Q_{AB}=0 \\ W_{AB} = Q_{AB} - \Delta U_{AB} \overset{Q=0}{=} -\Delta U_{AB} \end{cases} \Rightarrow \underline{W_{AB} = -nC_v(T_B-T_A) < 0}$$

- $\underline{BC}$:

$$\begin{cases} W_{BC}=0 \\ Q_{BC} = \Delta U_{BC} + W_{BC} \end{cases} \overset{W=0}{\Rightarrow} \underline{Q_{BC} = nC_v(T_C-T_B) > 0} \quad (Q_{ABS})$$

- $\underline{CD}$:

$$\begin{cases} Q_{CD}=0 \\ W_{CD} = Q_{CD} - \Delta U_{CD} \end{cases} \overset{Q=0}{\Rightarrow} \underline{W_{CD} = nC_v(T_C-T_D) > 0}$$

- $\underline{DA}$:

$$\begin{cases} W_{DA}=0 \\ Q_{DA} = \Delta U_{DA} + W_{DA} \end{cases} \overset{W=0}{\Rightarrow} \underline{Q_{DA} = -nC_v(T_D-T_A) < 0} \quad (Q_{CED})$$

- Sabemos la eficiencia:

$$\boxed{\epsilon = \frac{W}{Q_{ABS}}} \Rightarrow \epsilon = \frac{W_{AB}+W_{CD}}{Q_{BC}} = \frac{-\cancel{nC_v}(T_B-T_A)+\cancel{nC_v}(T_C-T_D)}{\cancel{nC_v}(T_C-T_B)}$$

$$= \frac{T_C-T_B-(T_D-T_A)}{T_C-T_B} = \underline{1-\frac{T_D-T_A}{T_C-T_B}}.$$

- Pero, si usamos la relación de adiabáticas:

$$\begin{cases} T_A \cdot V_A^{\gamma-1} = T_B V_B^{\gamma-1} \\ T_D \cdot V_D^{\gamma-1} = T_C V_C^{\gamma-1} \end{cases} \Rightarrow \frac{T_A}{T_D}\left(\cancel{\frac{V_A}{V_D}}\right)^{\gamma-1} = \frac{T_B}{T_C}\left(\cancel{\frac{V_B}{V_C}}\right)^{\gamma-1} \Rightarrow \boxed{\frac{T_A}{T_D} = \frac{T_B}{T_C}} \quad (10)$$

por lo cual:

$$\epsilon = 1 - \frac{T_D-T_A}{T_C-T_B} = 1 - \frac{T_A \cdot \left(\cancel{\frac{T_D}{T_A}-1}\right)}{T_B\left(\cancel{\frac{T_C}{T_B}-1}\right)} \Rightarrow \boxed{\epsilon = 1 - \frac{T_A}{T_B}} \quad (11)$$

¡Parecida a Carnot! pero no es la misma...

- O sea, podemos relacionar con la "relación de compresión" $r \equiv V_A/V_B$:

como: $T_A V_A^{\gamma-1} = T_B V_B^{\gamma-1} \Rightarrow \frac{T_A}{T_B} = \left(\frac{V_B}{V_A}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{V_A}{V_B}\right)^{1-\gamma} = r^{1-\gamma}$ ← pongo en (11)

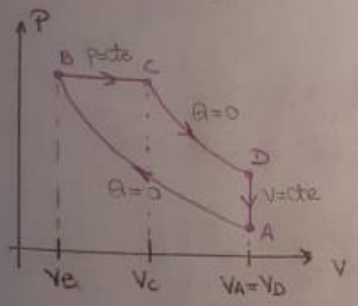
$$\Rightarrow \epsilon = 1 - r^{1-\gamma}$$ ← Eficiencia del ciclo Otto.

- Valores usuales: $\gamma = 7/5$ $(O_2, N_2)$

$$\left.\begin{array}{l} - r = 8 \rightarrow \epsilon = 0{,}56 \\ - r = 10 \rightarrow \epsilon \approx 0{,}6 \\ - r = 12 \rightarrow \epsilon \approx 0{,}63 \end{array}\right\} \text{Realidad: } \epsilon < 0{,}4$$

¿Por qué? ¡Pues no son reversibles los motores en la realidad!

- Ciclo Diesel:




. AB: compresión adiabática de A a B.
. BC: calentamiento isobárico de B a C.
. CD: expansión adiabática de C a D.
. DA: enfriamiento isocórico D a A.

• AB:

$$\begin{cases} Q_{AB} = 0 \\ W_{AB} = Q_{AB} - \Delta U_{AB} \end{cases} \overset{Q=0}{\Rightarrow} W_{AB} = -nC_v(T_B - T_A) < 0$$

• BC:

$$\begin{cases} W_{BC} = \int p\,dV \overset{pcte}{=} p_B(V_C - V_B) > 0 \\ Q_{BC} = \Delta U_{BC} + W_{BC} \end{cases} \Rightarrow Q_{BC} = nC_v(T_C - T_B) + p_B(V_C - V_B) > 0 \quad (Q_{abs})$$

• CD:

$$\begin{cases} Q_{CD} = 0 \\ W_{CD} = Q_{CD} - \Delta U_{CD} \end{cases} \overset{Q=0}{\Rightarrow} W_{CD} = nC_v(T_C - T_D) > 0$$

• DA:

$$\begin{cases} W_{DA} = 0 \\ Q_{DA} = W_{DA} + \Delta U_{DA} \end{cases} \overset{W=0}{\Rightarrow} Q_{DA} = -nC_v(T_D - T_A) < 0 \quad (Q_{ced})$$

• Sabiendo la eficiencia:

$$\boxed{\epsilon = \frac{W}{Q_{ABS}}} \Rightarrow \epsilon = \frac{W_{AB} + W_{BC} + W_{CD}}{Q_{BC}}$$

$$= \frac{-nC_v(T_B - T_A) + p_B(V_C - V_B) + nC_v(T_C - T_D)}{p_B(V_C - V_B) + nC_v(T_C - T_B)}$$

$$= 1 - \frac{nC_v(T_D - T_A)}{p_B(V_C - V_B) + nC_v(T_C - T_B)} \quad , \text{ pero } p_B = p_C \rightarrow \begin{cases} p_B V_C = nRT_C \\ p_B V_B = nRT_B \end{cases}$$

entonces:

$$\epsilon = 1 - \frac{\cancel{n}c_V(T_D - T_A)}{\cancel{n}RT_C - nRT_B + \cancel{n}c_V(T_C - T_B)} = 1 - \frac{c_V(T_D - T_A)}{T_C\underbrace{(c_V+R)}_{=c_p} - T_B\underbrace{(c_V+R)}_{=c_p}}$$

$$= 1 - \frac{c_V(T_D - T_A)}{c_p(T_C - T_B)} = 1 - \frac{1}{\gamma}\cdot\frac{T_D - T_A}{T_C - T_B} \quad . \text{ donde recordamos } \boxed{\gamma = \frac{c_p}{c_V}}$$

- como $p_B = p_C$:

$$\frac{\cancel{n}\cancel{R}T_B}{V_B} = \frac{\cancel{n}\cancel{R}T_C}{V_C} \Rightarrow \boxed{\frac{T_C}{T_B} = \frac{V_C}{V_B} \equiv \alpha} \quad (12) \quad \text{"RELACIÓN DE CORTE"}$$

- podemos sacar otra relación:

$$\begin{cases} T_D V_D^{\gamma-1} = T_C V_C^{\gamma-1} \\ T_A V_A^{\gamma-1} = T_B V_B^{\gamma-1} \end{cases} \Rightarrow \frac{T_D}{T_A}\left(\frac{\cancel{V_D}}{\cancel{V_A}}\right)^{\gamma-1} = \underbrace{\frac{T_C}{T_B}}_{\alpha}\left(\underbrace{\frac{V_C}{V_B}}_{\alpha}\right)^{\gamma-1} \Rightarrow \boxed{\frac{T_D}{T_A} = \alpha^{\gamma}} \quad (13)$$

- si pongo (12) y (13) en la eficiencia:

$$\epsilon = 1 - \frac{1}{\gamma}\frac{T_A}{T_B}\cdot\frac{\left(\frac{T_D}{T_A} - 1\right)}{\left(\frac{T_C}{T_B} - 1\right)} = 1 - \frac{1}{\gamma}\frac{T_A}{T_B}\frac{(\alpha^{\gamma} - 1)}{(\alpha - 1)} \quad (14)$$

- si lo relacionamos con la relación de compresión $r = V_A/V_B$:

$$T_A V_A^{\gamma-1} = T_B V_B^{\gamma-1} \Rightarrow \frac{T_A}{T_B} = \left(\frac{V_B}{V_A}\right)^{\gamma-1} = r^{1-\gamma} \quad \leftarrow \text{pongo en (14)}$$

$$\Rightarrow \epsilon = 1 - \frac{r^{1-\gamma}}{\gamma}\cdot\frac{\alpha^{\gamma} - 1}{\alpha - 1} \quad \leftarrow \text{EFICIENCIA ciclo DIESEL.}$$