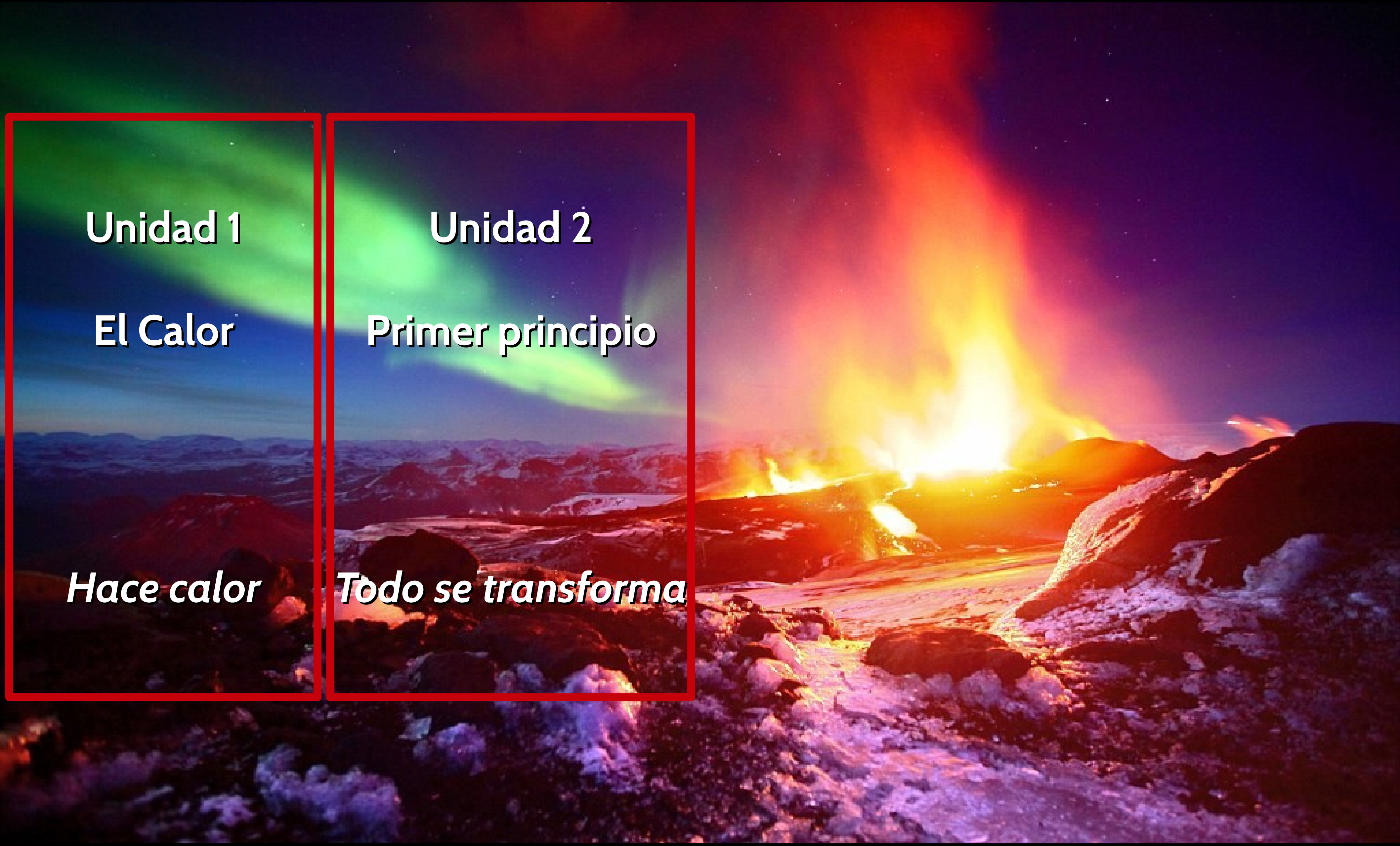
- **Unidad** 02
- **Clase** U02 C04
- **Fecha** 09 Abr 2019
- **Cont** Carnot y máquinas térmicas, 1
- **Cátedra** Asorey
- **Web** http://gitlab.com/asoreyh/unrn-f3b

Contenidos: Termodinámica, alias F3B, alias F4A



Unidad 1

El Calor

Hace calor

Unidad 2

Primer principio

Todo se transforma

Módulo 1 - Unidad 2: primer principio
Del 05/Abr al 26/Abr (7 encuentros)

- Calor y trabajo. Equivalente mecánico del calor. Experimento de Joule. Sistemas. Fuentes de calor. Primer principio. Flujo de calor. Muerte térmica. Máquinas térmicas.

En resumen.... II

- **Isobara:**
  - $W = p\,\Delta V$
  - $\Delta U = (z/2)\, n\, R\, \Delta T$
  - $Q = \Delta U + W$
- **Isoterma:**
  - $W = n\, R\, T \ln (V_f / V_i)$
  - $\Delta U = 0$
  - $Q = \Delta U + W \rightarrow Q = W$
- **Isocora:**
  - $W = 0$
  - $Q = C_V\, n\, \Delta T$
  - $Q = \Delta U$
- **Adiabática**
  - $W = -\Delta U$
  - $\Delta U = (z/2)\, n\, R\, \Delta T$
  - $Q = 0 \rightarrow W = -\Delta U$

$$\boxed{Q = DU + W}$$

$$\boxed{PV = n\, R\, T}$$

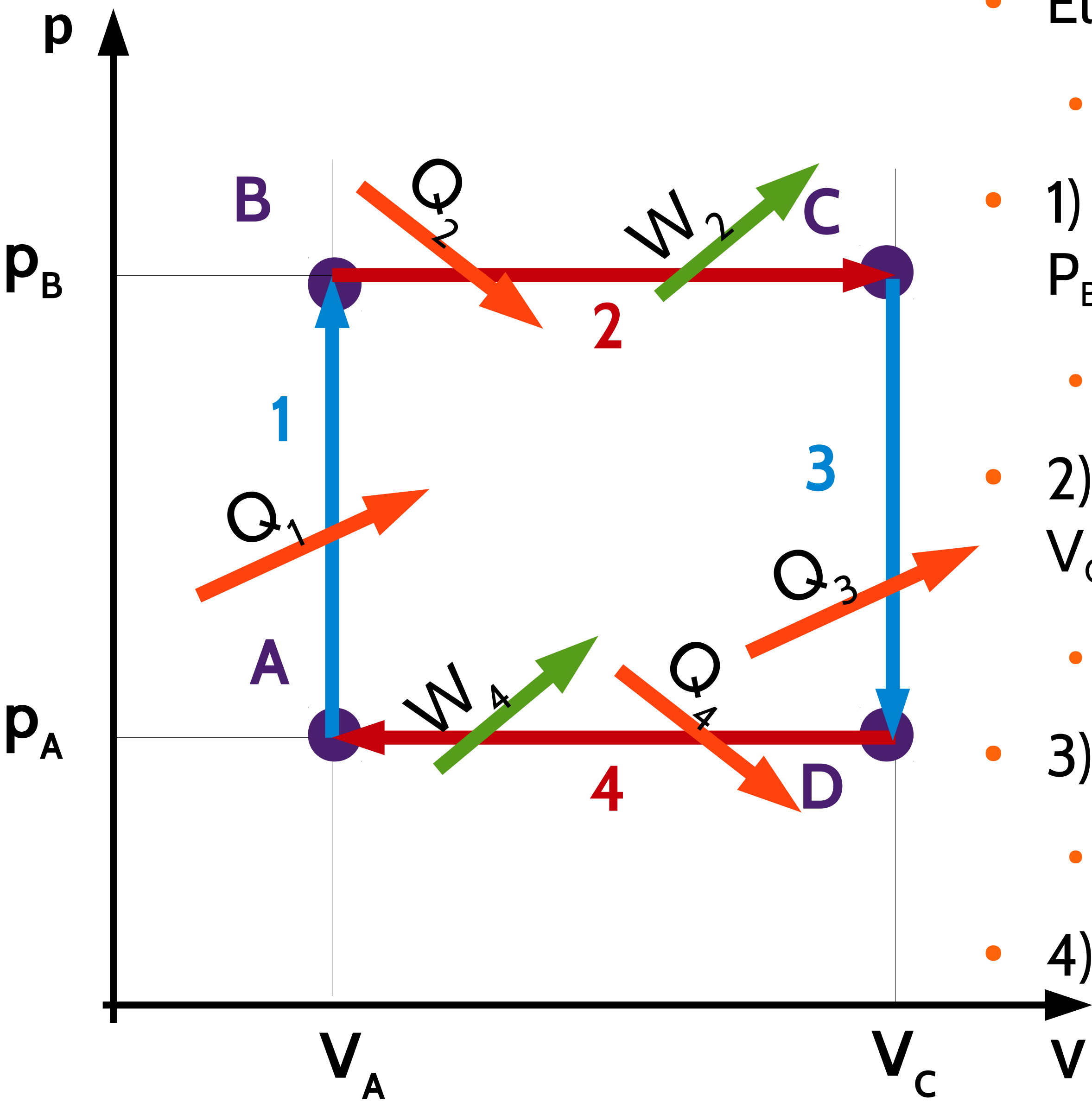
Entendiendo el ciclo

- A medida que el ciclo avanza, el sistema intercambia calor (Q) y trabajo mecánico (W) con el medio
- El sistema “almacena” energía en forma de energía interna (→ Temperatura → Energía Cinética)
- Al finalizar el ciclo, $U_f = U_i \rightarrow \Delta U = 0$
- Para el ciclo completo, el primer principio garantiza

$$Q = W$$

- Pero esos valores son “netos”

Otro ciclo, el cuadrado letal
n=cte



- El gas se encuentra en estado A
  - P_A, n_A, $V_A \rightarrow T_A$
- 1) Transformación isócora hasta B, $P_B=3\,P_A$
  - $P_B=3P_A$, n_A, $V_B=V_A \rightarrow T_B$
- 2) Transformación isóbara hasta C, $V_C=3V_A$
  - $P_C=P_B$, n_A, $V_C=3V_B \rightarrow T_C$
- 3) Transformación isócora hasta D
  - $V_D=V_C$, n_A, $P_D= P_A \rightarrow T_D$
- 4) Transformación isóbara hasta A

Signos

- Calor
  - Q>0 ← Calor entra al sistema desde una fuente
  - Q<0 ← Calor sale del sistema → No es aprovechable
- Trabajo
  - W>0 ← Trabajo producido por el sistema → Útil
  - W<0 ← Trabajo realizado sobre el sistema → Costo
- ¿Qué obtuve luego de un ciclo? → Trabajo Neto
- ¿Que tuve que poner para lograr el ciclo? → Calor Q>0

Rendimiento

- Definimos al rendimiento como

$$\eta = \frac{\text{Lo que obtuve}}{\text{Lo que tuve que poner}}$$

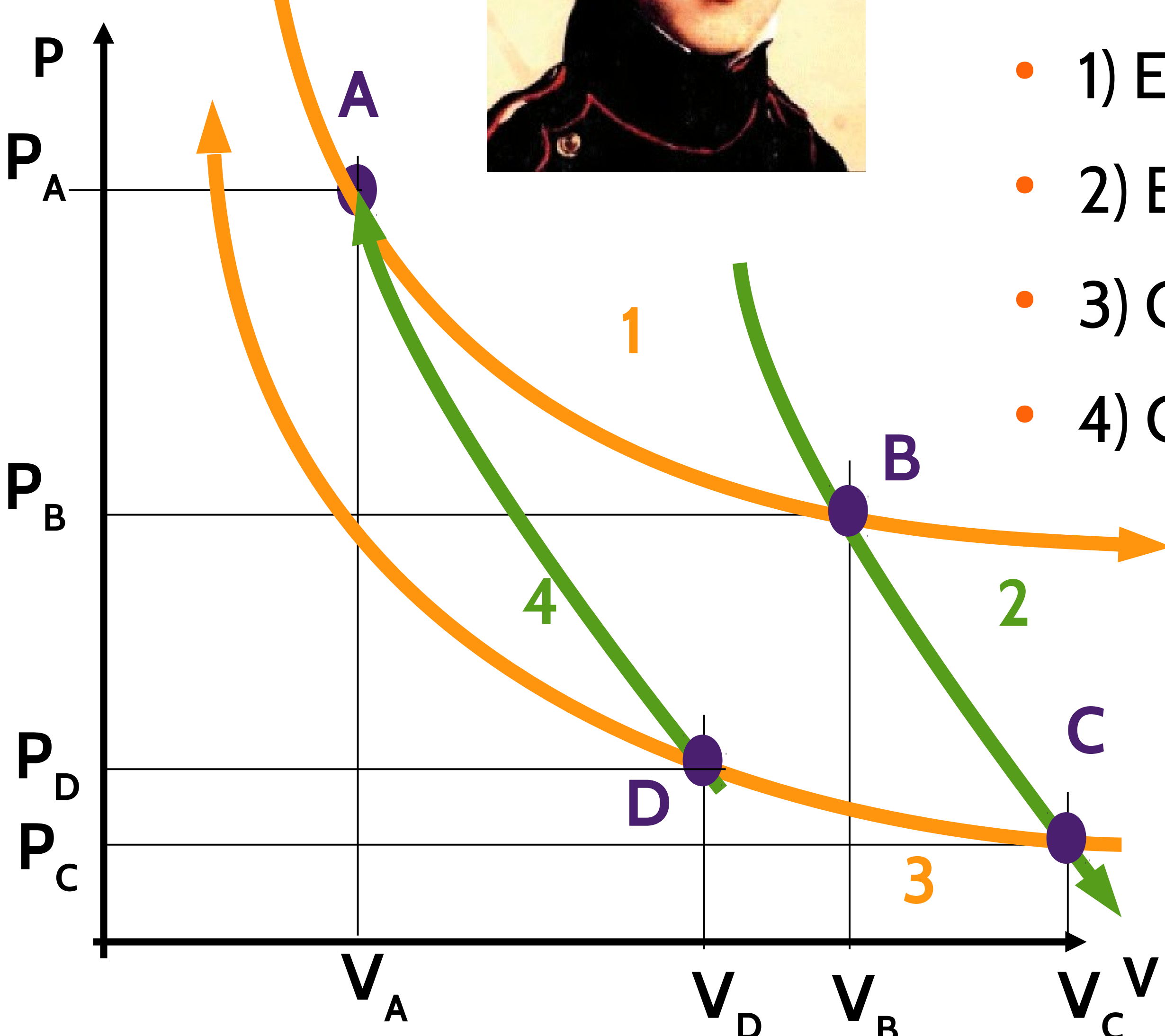
- En términos del ciclo,

$$\eta = \frac{W_{neto}}{Q_{>0}}$$

Reversibilidad termodinámica (volveremos)

- **Proceso Reversible es aquel en el que el sentido puede invertirse mediante un cambio infinitesimal de las condiciones de entorno**
  - Idealización
  - Punto a punto → desplazamiento infinitesimal del equilibrio
  - Procesos conservativos
  - Al invertirse el proceso, el sistema regresa al estado inicial
  - Coloquial: procesos muuyyyy lentos
- **Un ciclo reversible es aquel ciclo en el que todas las transformaciones son reversibles**

Otro ciclo → Carnot



- El gas se encuentra en A
- 1) Expansión Isotérmica A→B
- 2) Expansión Adiabática B→C
- 3) Compresión Isotérmica C→D
- 4) Compresión Adibática D→A

Ciclo completo reversible

(fuera de escala)

Cuadros

Transf.	Q	ΔU	W
1) Isoterma A→B	$=W_1$ (>0)	**0**	$nRT_A \ln(V_B/V_A)$
2) Adiabática B→C	**0**	$(z/2)\ nR(T_C-T_B)$	$-\Delta U_2$ (>0)
3) Isoterma C→D	$=W_3$ (<0)	**0**	$nRT_C \ln(V_D/V_C)$
4) Adiabática D→A	**0**	$(z/2)\ nR(T_A-T_D)$	$-\Delta U_4$ (<0)

- **Verificar**
  - $\Delta U=0$ ← En el ciclo no hay cambio en U
  - $Q = W$ ← Primer principio: El calor neto = El trabajo neto

Rendimiento de la máquina de Carnot

- Lo que obtuve / Lo que puse
  - Obtuve: Trabajo neto (Suma de los W)
  - Puse: Calor entrante (Sólo cuento los calores positivos $Q>0$)
- Nos preparamos, respiramos hondo, y vamos...

Eficiencia del ciclo de Carnot

- Primero verifiquemos que a lo largo del ciclo $\Delta U=0$:

$$\Delta U_T=\sum U_i \rightarrow \Delta U_T=\left(\frac{z}{2}R\right)n\left(T_C-T_B\right)+\left(\frac{z}{2}R\right)n\left(T_A-T_D\right)$$

$$\Delta U_T=\left(\frac{z}{2}R\right)n\left(T_C-T_B+T_A-T_D\right)$$

y dado que las transformaciones 1 y 3 son isotérmicas:

$$\Delta U_T=\left(\frac{z}{2}R\right)n\left(T_C-T_A+T_A-T_C\right), \Rightarrow \boxed{\Delta U_T=0,}\ \text{y además}$$

$$\boxed{W_2=-W_4}$$

Eficiencia del ciclo de Carnot

- ¿cual es la relación entre volúmenes en las adiabáticas?

$$\text{Adiabática: } pV^{\gamma} = \text{cte} \rightarrow T\,V^{\gamma-1} = \text{cte}$$

$$T_B V_B^{\gamma-1} = T_C V_C^{\gamma-1} \quad \text{y} \quad T_A V_A^{\gamma-1} = T_D V_D^{\gamma-1}$$

$$\frac{T_B V_B^{\gamma-1}}{T_A V_A^{\gamma-1}} = \frac{T_C V_C^{\gamma-1}}{T_D V_D^{\gamma-1}}$$

$$\left(\frac{T_B}{T_A}\right)\left(\frac{V_B}{V_A}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{T_C}{T_D}\right)\left(\frac{V_C}{V_D}\right)^{\gamma-1}$$

$$\left(\frac{V_B}{V_A}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{V_C}{V_D}\right)^{\gamma-1}$$

$$\boxed{\frac{V_B}{V_A} = \frac{V_C}{V_D}}$$

- Trabajo neto

$$W=\sum W_i=W_1+W_2+W_3+W_4 \text{ y dado que } W_2=-W_4 \rightarrow W=W_1+W_3$$

$$W_1=nRT_A\ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right) \quad y \quad W_3=nRT_C\ln\left(\frac{V_D}{V_C}\right)$$

$$W=nRT_A\ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)+nRT_C\ln\left(\frac{V_D}{V_C}\right)$$

$$W=nRT_A\ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)-nRT_C\ln\left(\frac{V_C}{V_D}\right)$$

$$W=nRT_A\ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)-nRT_C\ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$$

$$\boxed{W=nR\ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)(T_A-T_C)}$$

Eficiencia del ciclo de Carnot

- Calor entregado al sistema (sólo en transformación 1)

$$Q_{>0} = n R T_A \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$$

- Entonces el rendimiento:

$$\eta = \frac{\sum_i W_i}{\sum_j \left(Q_j > 0\right)}$$

$$\eta_{\text{Carnot}} = \frac{n R T_A \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)\left(T_A - T_C\right)}{n R T_A \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)}$$

$$\boxed{\eta_{\text{Carnot}} = \frac{T_A - T_C}{T_A} \quad \rightarrow \quad \eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_A}{T_C} < 1}$$

Eficiencia de la máquina de Carnot

- Lo que obtuve / Lo que puse
  - Obtuve: Trabajo neto (Suma de los W)
  - Puse: Calor entrante (Sólo cuento los calores positivos Q>0)
- Entonces, para el ciclo de Carnot

$$\eta = \frac{\sum_i W_i}{\sum_j \left(Q_j > 0\right)} \rightarrow \eta_{\mathrm{Carnot}} = 1 - \frac{T_C}{T_A} < 1$$

- T_C :baño térmico de la transformación 3; T_A:térmico de la transformación 1 → $T_C < T_A$.
- T_C → Baño frío; T_A → baño caliente

Maldita termodinámica, 1ra parte

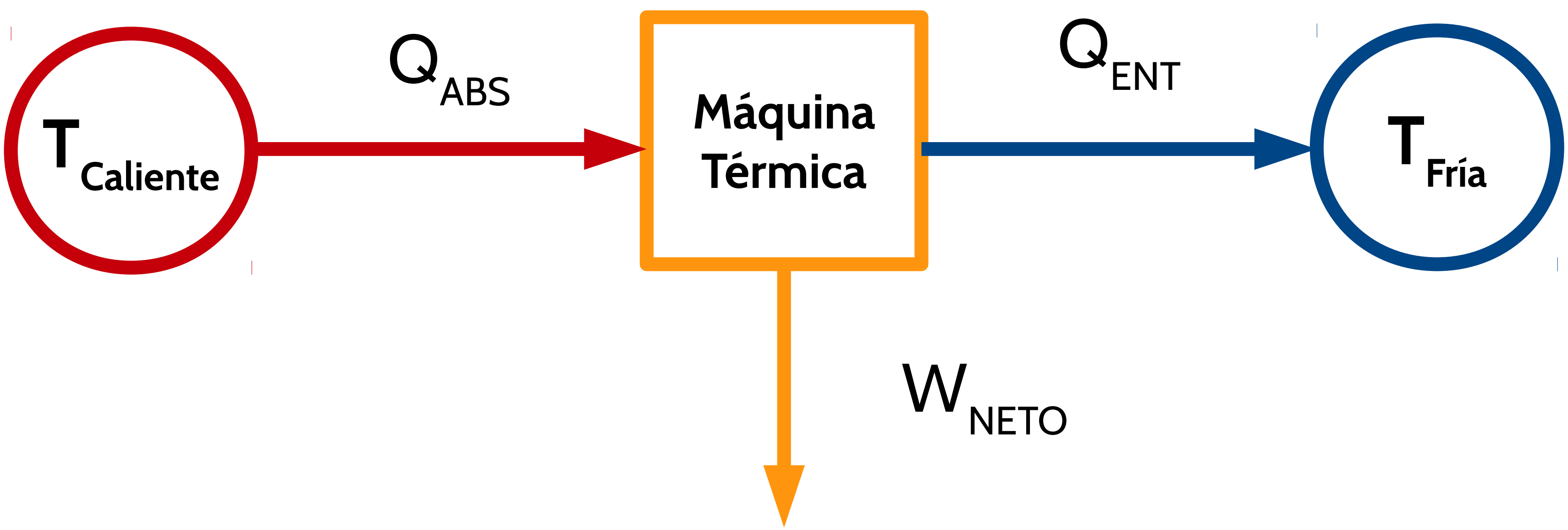
- Vemos que a pesar de ser un gas ideal y todas las transformaciones son reversibles,

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_C}{T_A} < 1$$

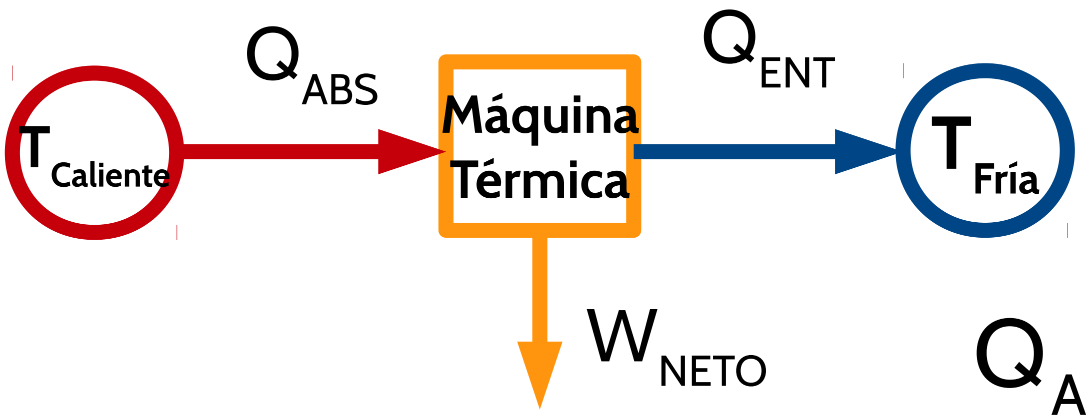
- El rendimiento de una máquina de Carnot siempre es menor que 1:
- 1er Teorema de Carnot (demostración en la próx. unidad)

No existe una máquina térmica que funcionando entre dos fuentes térmicas dadas tenga un rendimiento mayor que una máquina reversible (de Carnot).

- **Máquina térmica: dispositivo cíclico que absorbe calor de una fuente caliente, realiza un trabajo mecánico y entrega la energía remanente en forma de calor a una fuente fría**
  - Este calor no es aprovechable por la misma máquina térmica



Según el primer principio



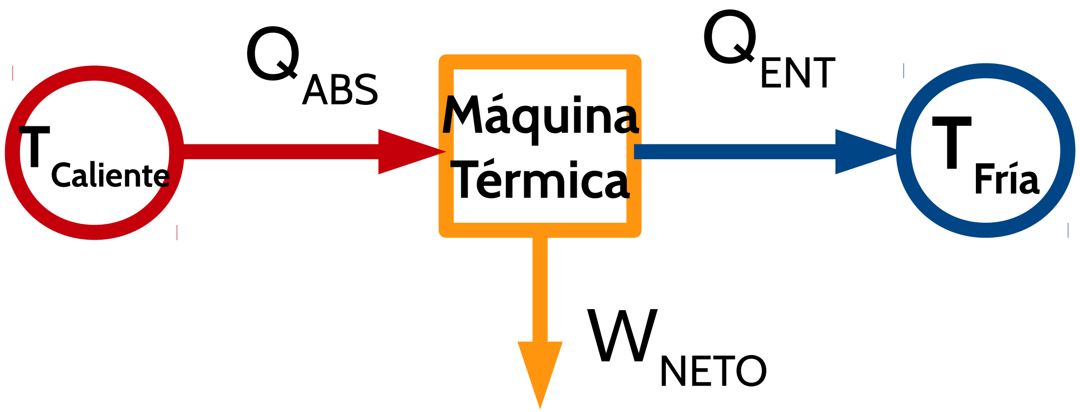
$$Q_{ABS} = W_{NETO} + Q_{ENT}$$

$$W_{NETO} = Q_{ABS} - Q_{ENT}$$

$$\eta = \frac{W_{NETO}}{Q_{ABS}}$$

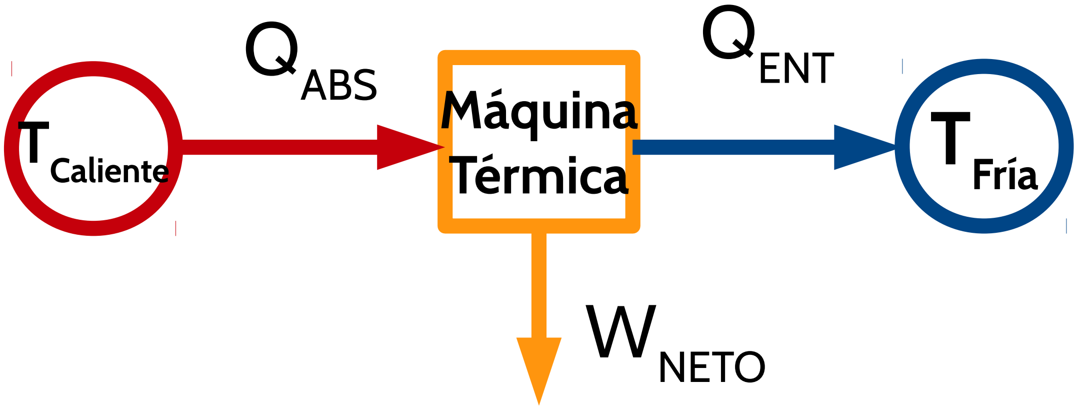
$$\Rightarrow \boxed{\eta = \frac{Q_{ABS} - Q_{ENT}}{Q_{ABS}} = 1 - \frac{Q_{ENT}}{Q_{ABS}}}$$

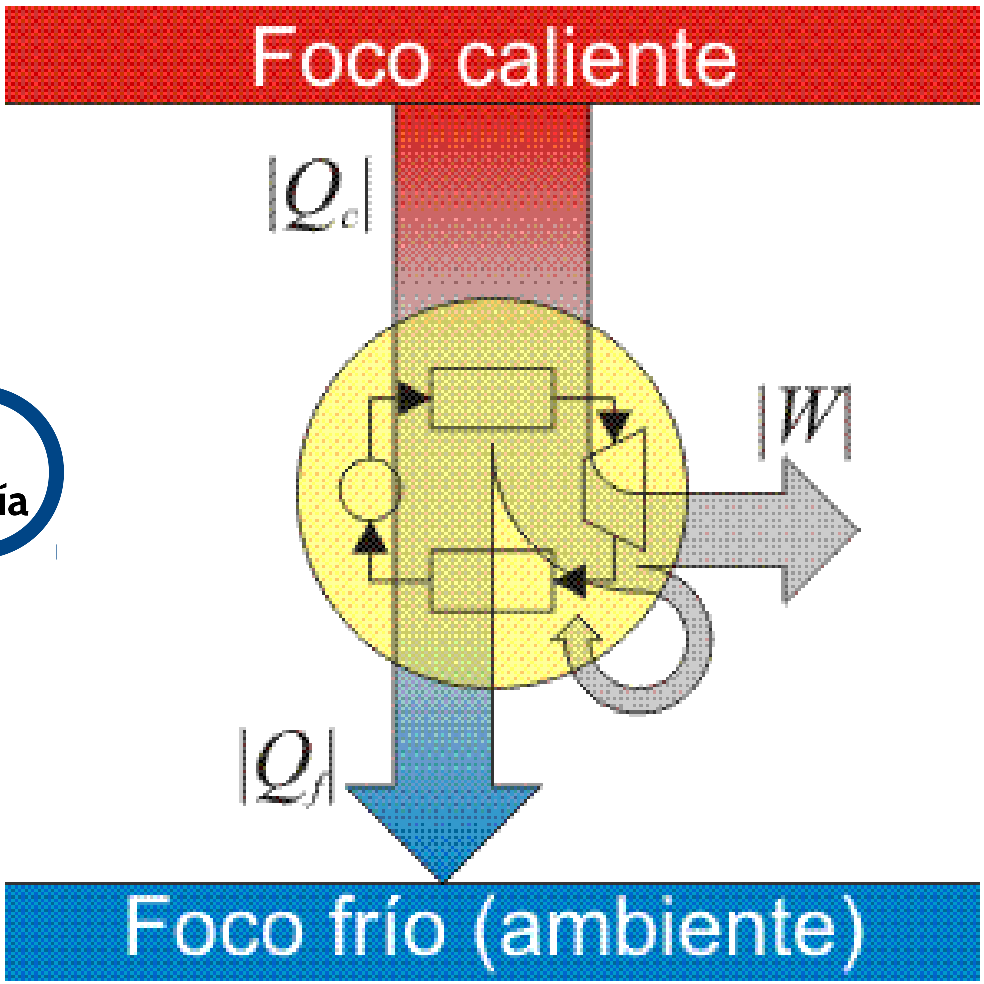
Y según Carnot....



$$\boxed{\eta = \frac{Q_{ABS} - Q_{ENT}}{Q_{ABS}} = 1 - \frac{Q_{ENT}}{Q_{ABS}} \leqslant 1 - \frac{T_{Fría}}{T_{Caliente}}}$$

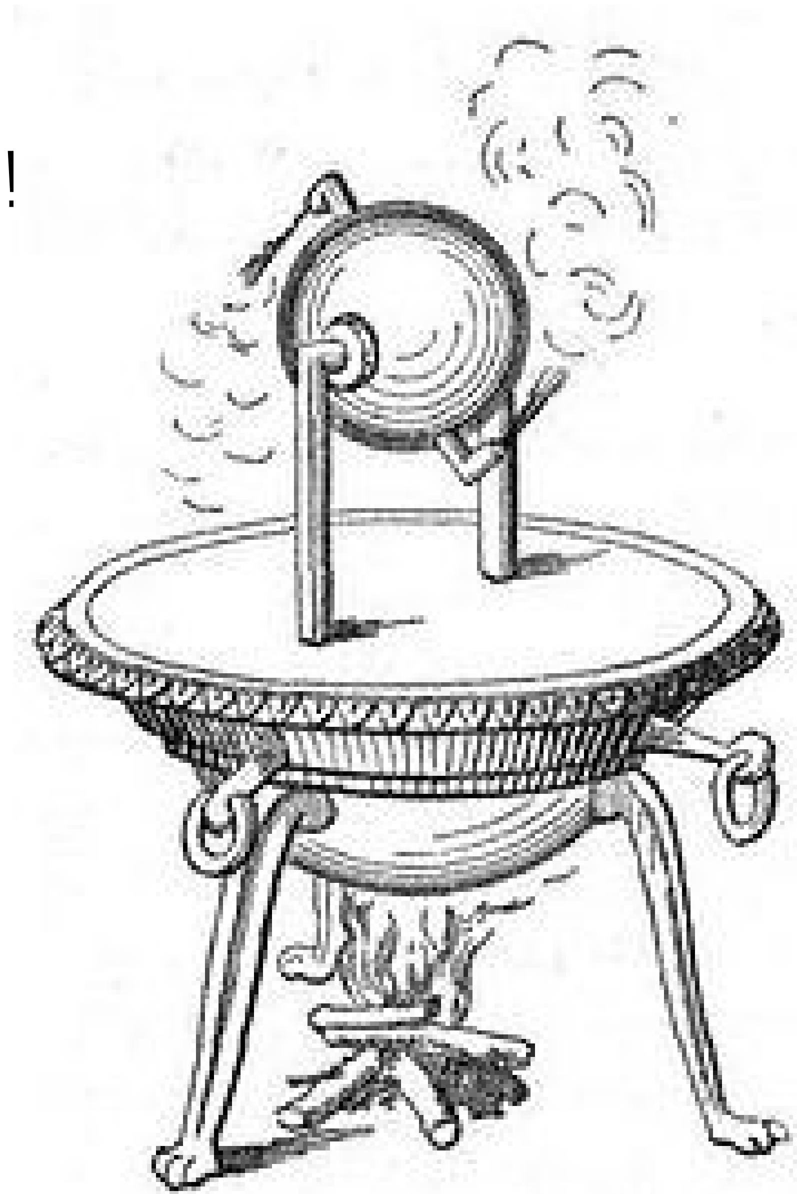
Máquina térmica – un poco más realista





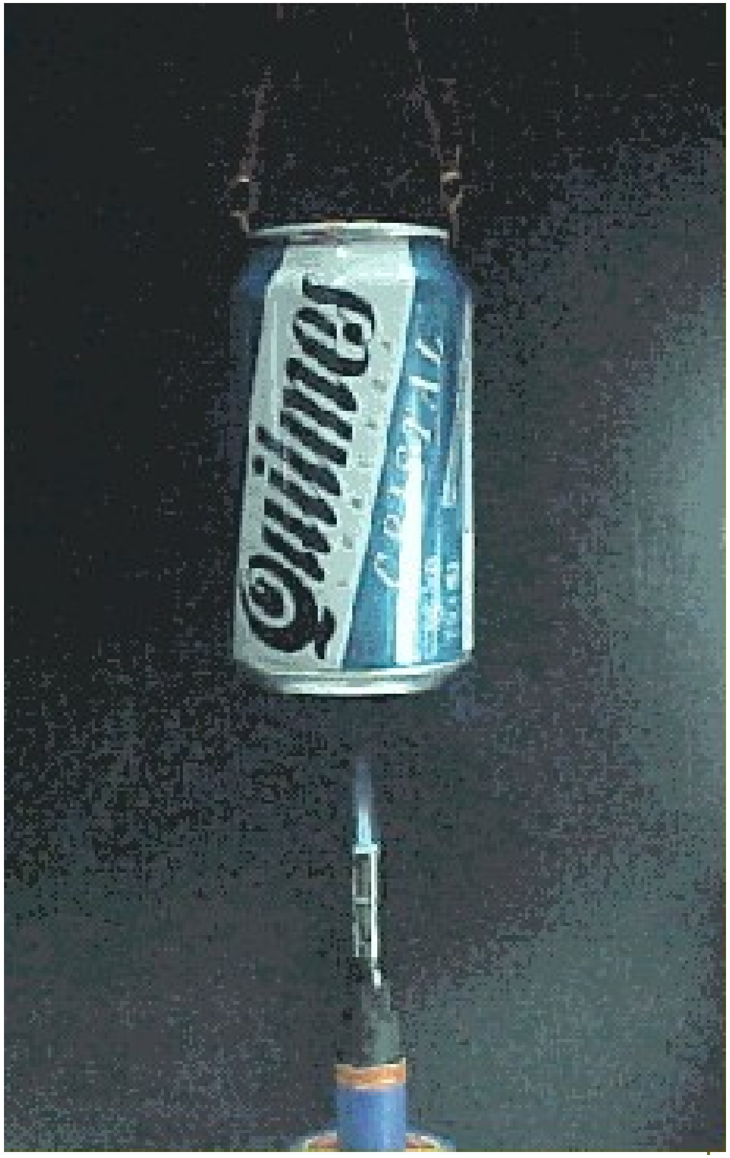
Las primeras

- Herón de Alejandría (siglo I ó II a.C.)
- Libro "Neumática", ¡¡100 máquinas!!

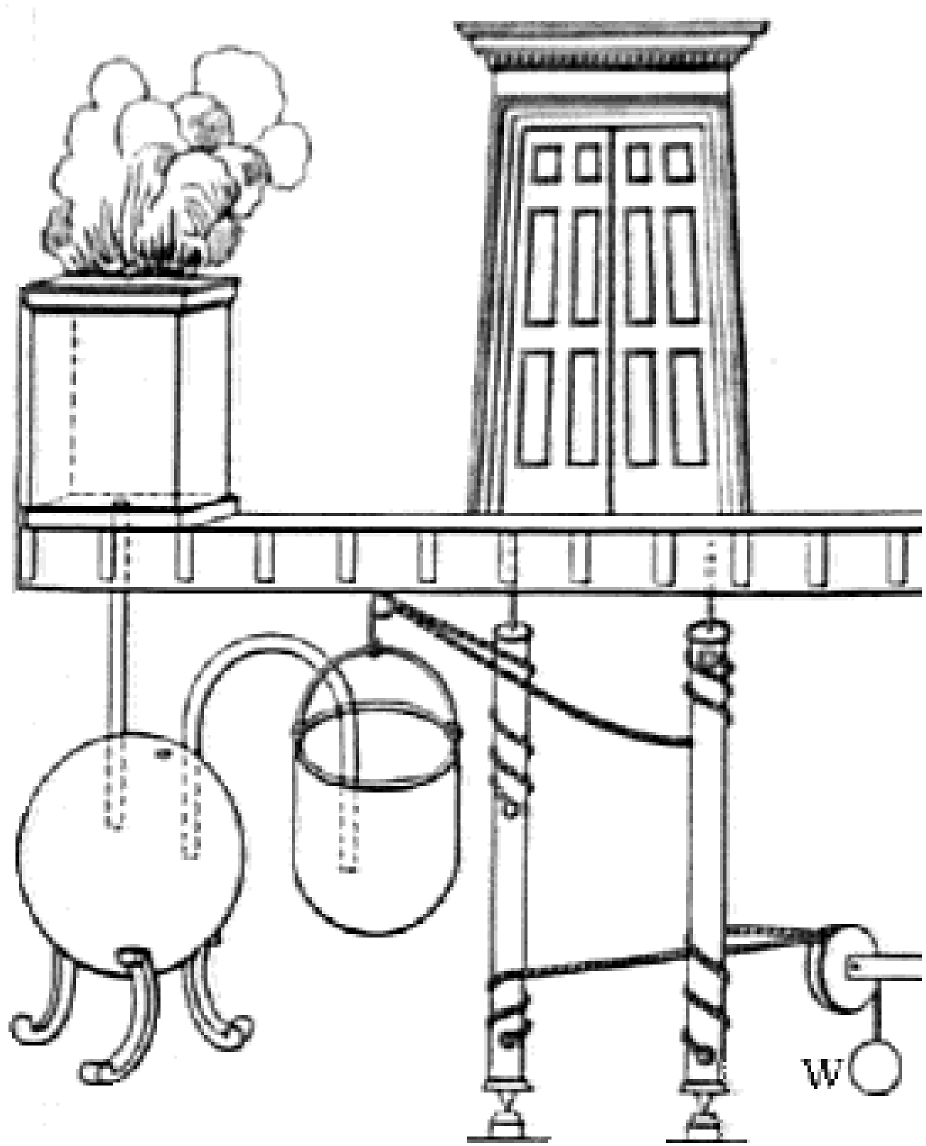


Eolípila

Versión Siglo XXI



Las puertas del templo



La bomba

La bomba por dentro

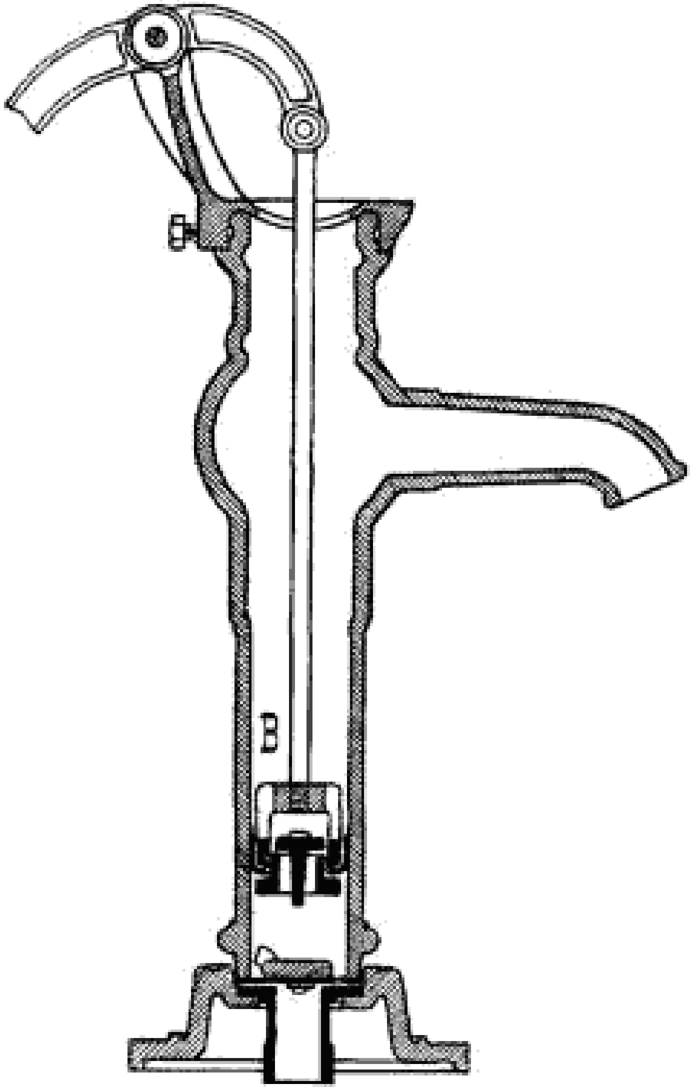
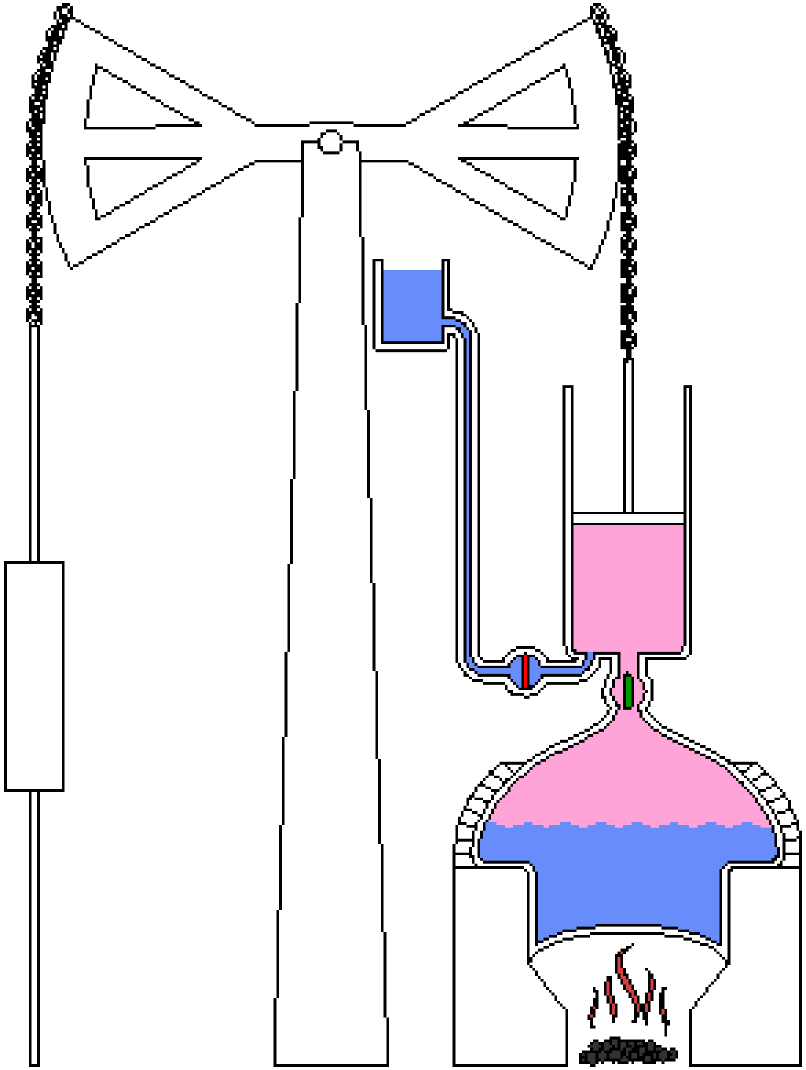


Fig. 9.

Misma bomba

¿Posible solución?

Otra: máquina de Newcomen



Una locomotora primitiva