

Universidad Nacional de Río Negro

Física III B – 2021

- **Unidad** 02
- **Clase** U02 C05 - 11/30
- **Fecha** 22 Abr 2021
- **Cont** Máquinas Térmicas (II)
- **Cátedra** Asorey - Calderón
- **Web** <https://gitlab.com/asoreyh/unrn-f3b>



Unidad 2: Primer Principio

Unidad 1

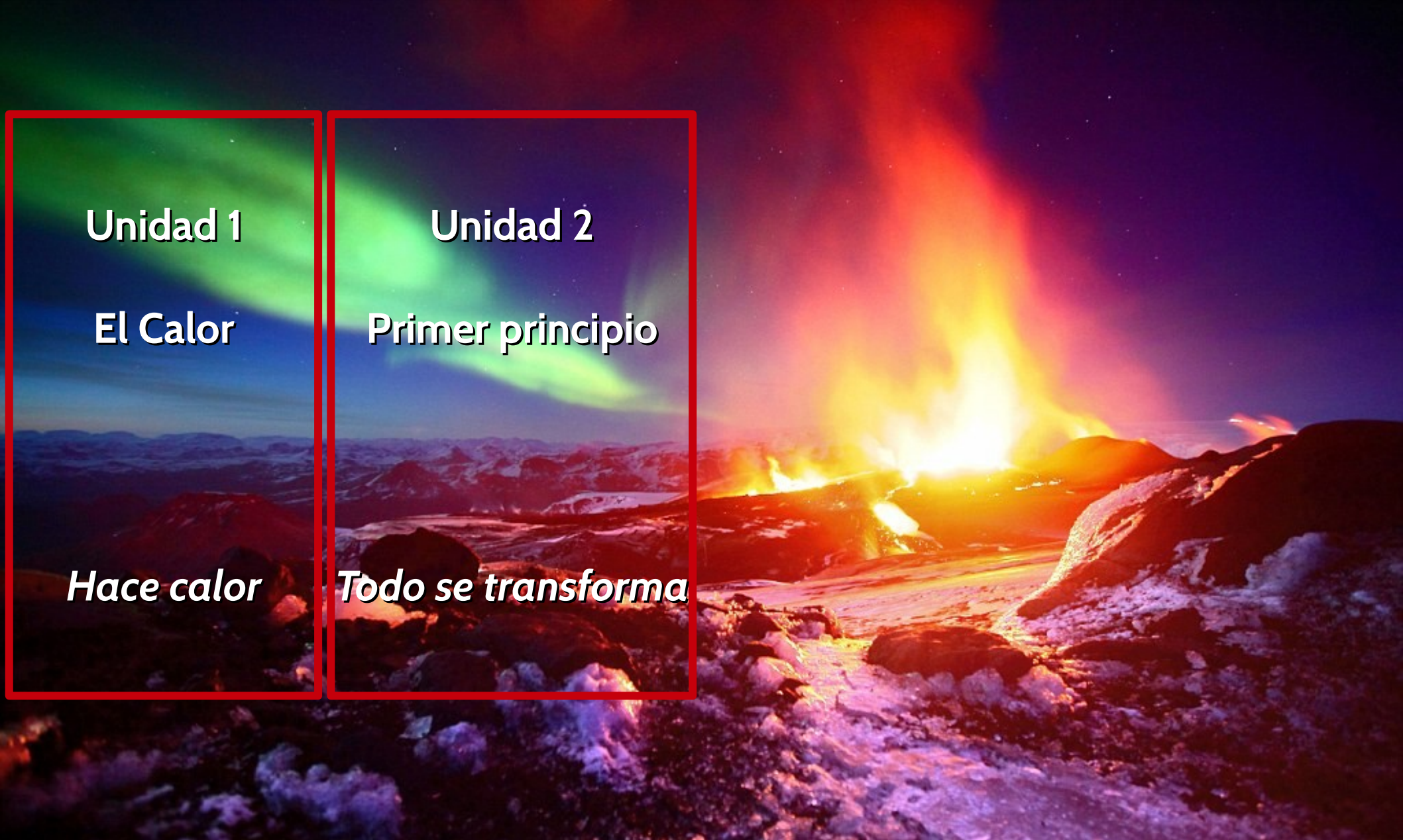
El Calor

Hace calor

Unidad 2

Primer principio

Todo se transforma

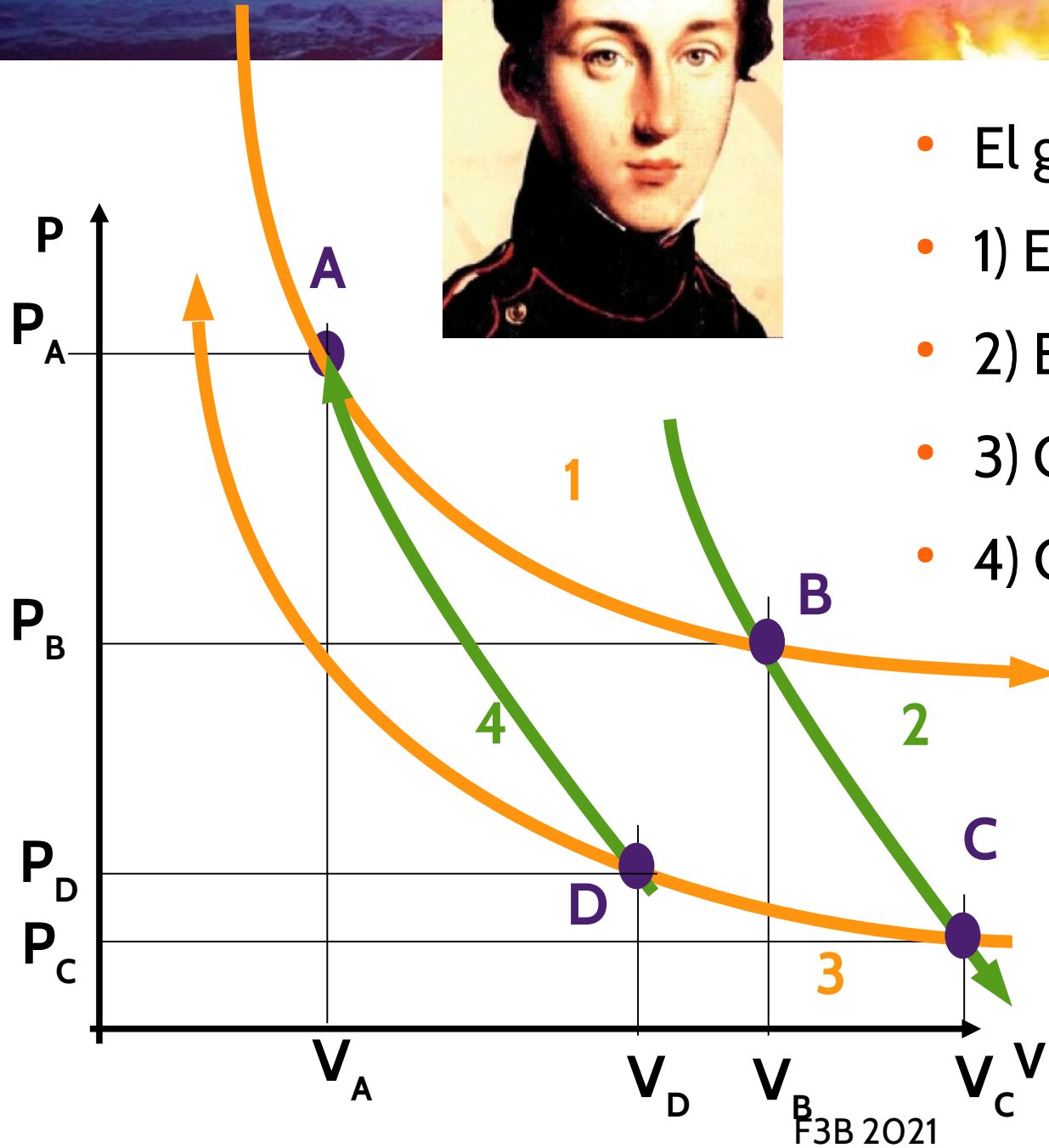


Módulo 1 - Unidad 2: Primer Principio

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



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 Adiabática D→A

**Ciclo completo
reversible
(fuera de escala)**

Maldita termodinámica, 1ra parte

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

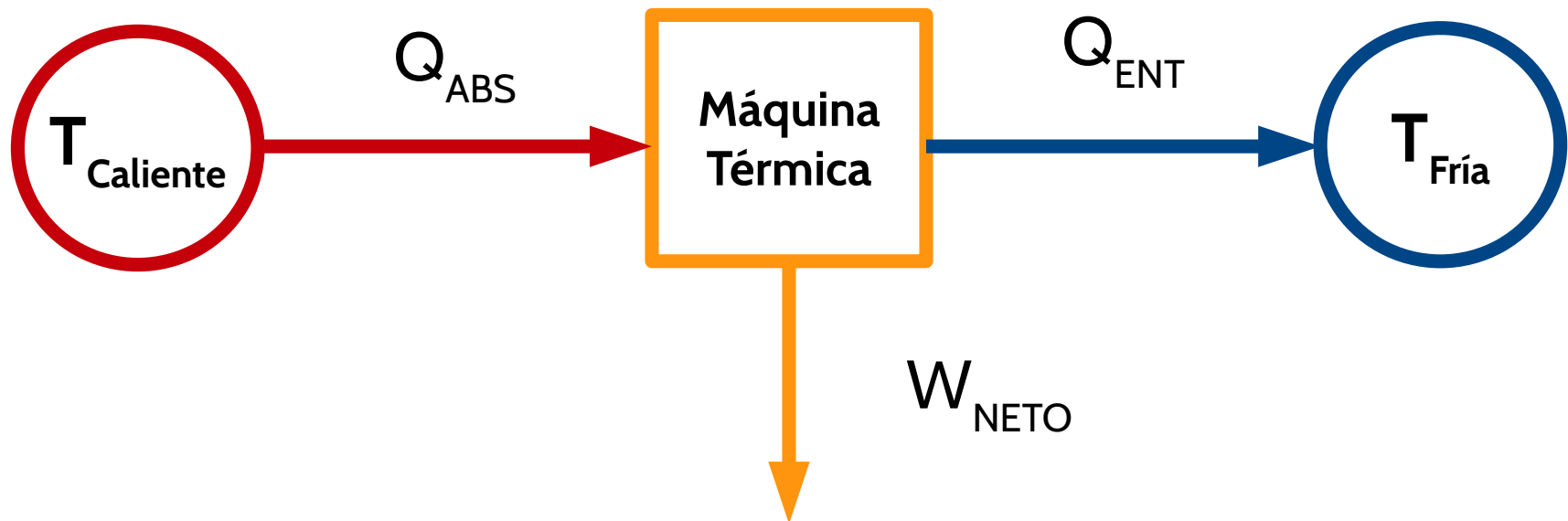
$$\eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_C}{T_A} < 1$$

- El rendimiento de una máquina de Carnot siempre es menor que 1:
- 1^{er} 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).

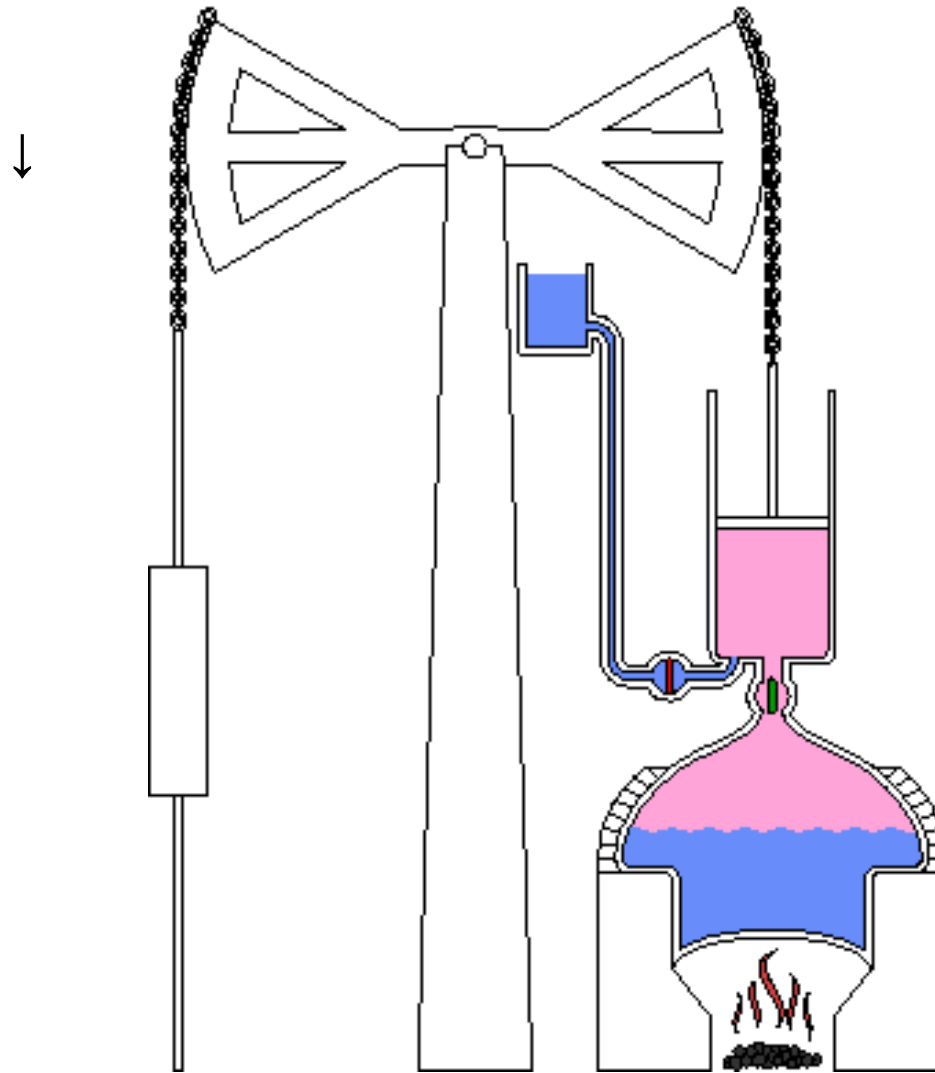
Máquinas térmicas

- **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

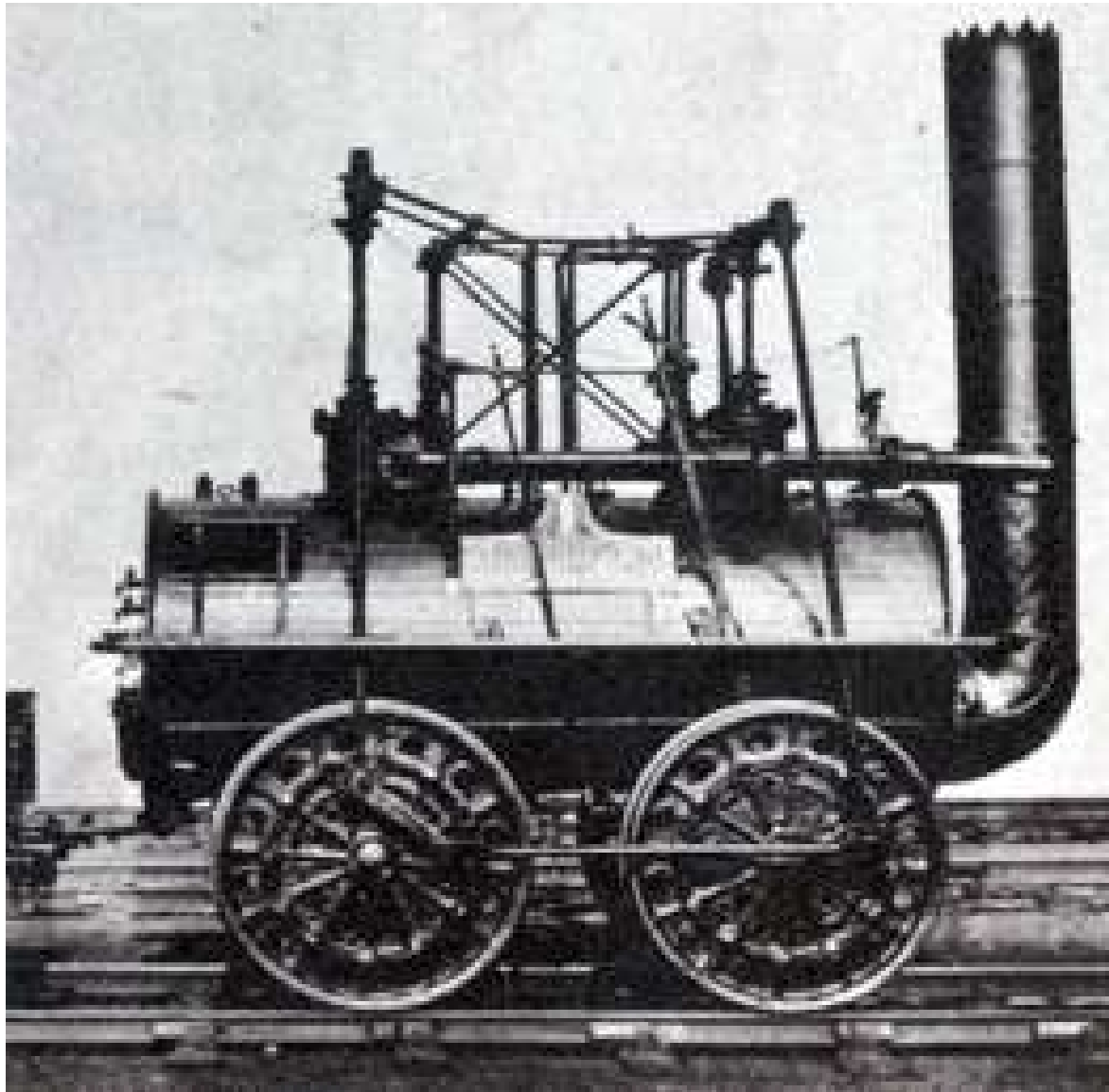




Otra: máquina de Newcomen



Una locomotora primitiva

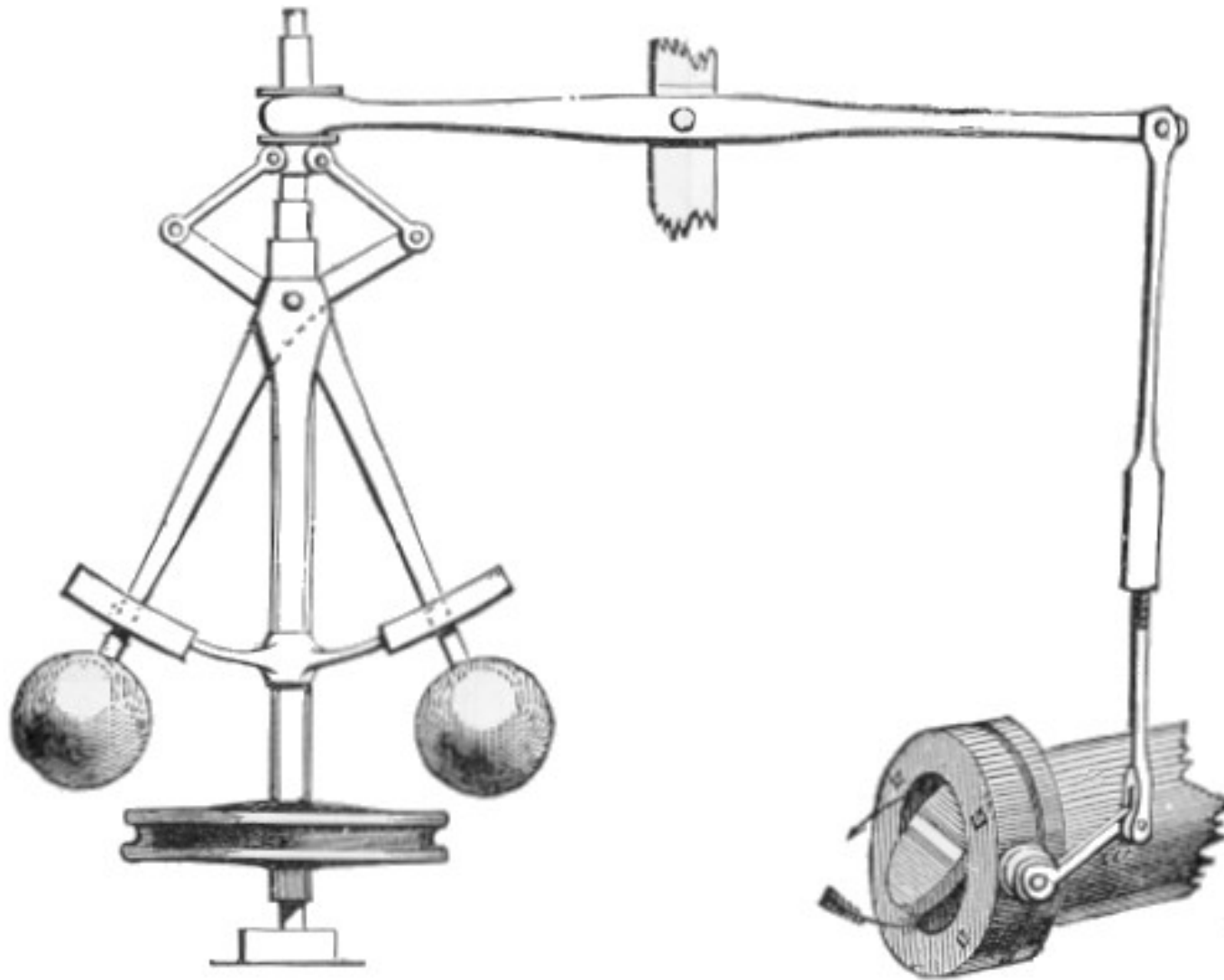


James Watt (1736-1819) matemático e ingeniero escocés.

- Ayudó al desarrollo de la máquina de vapor convirtiéndola en una forma viable y económica de producir energía.
- Desarrolló una cámara de condensación que incrementó significativamente la eficiencia.



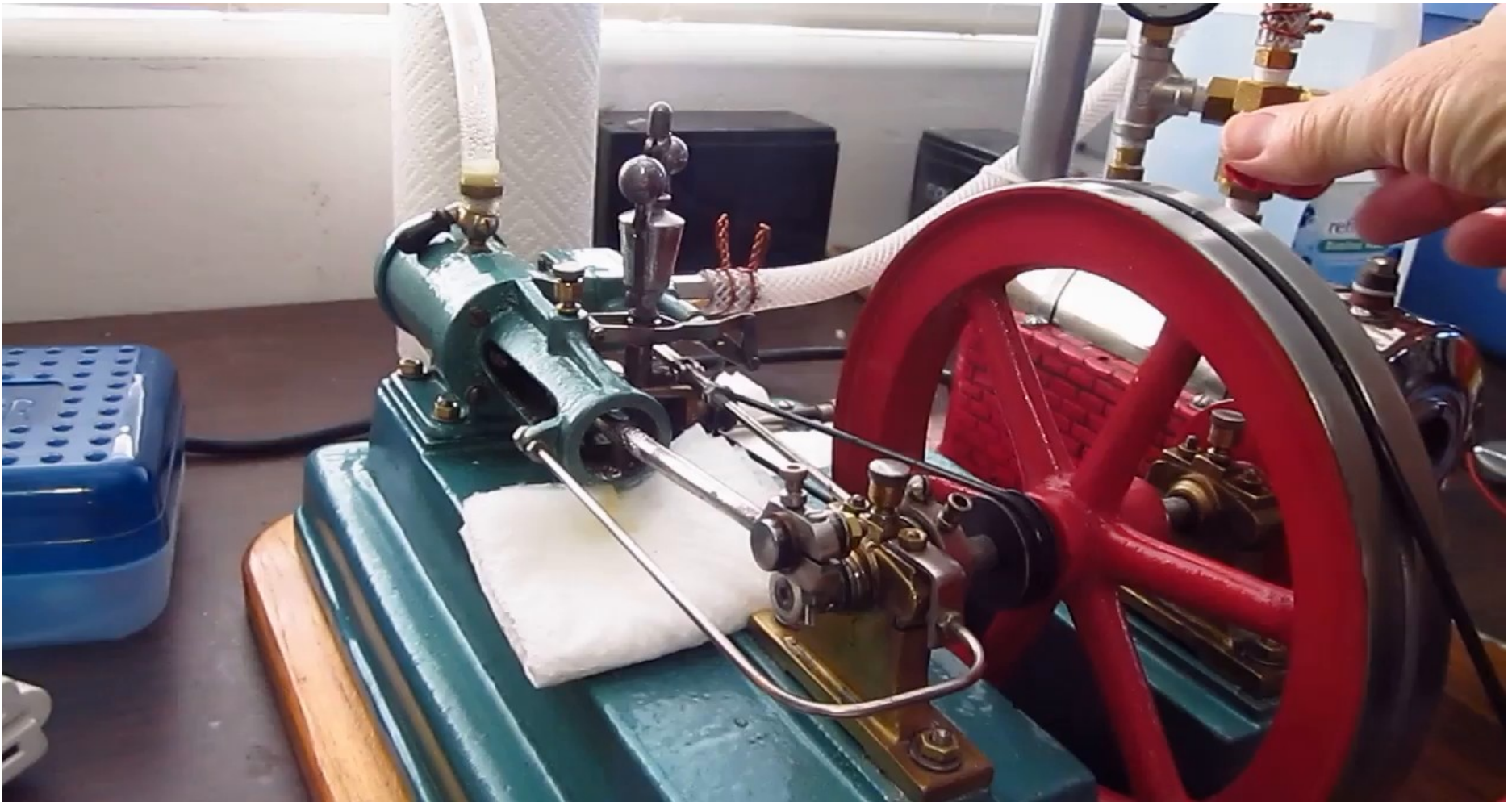
Regulador de Watt



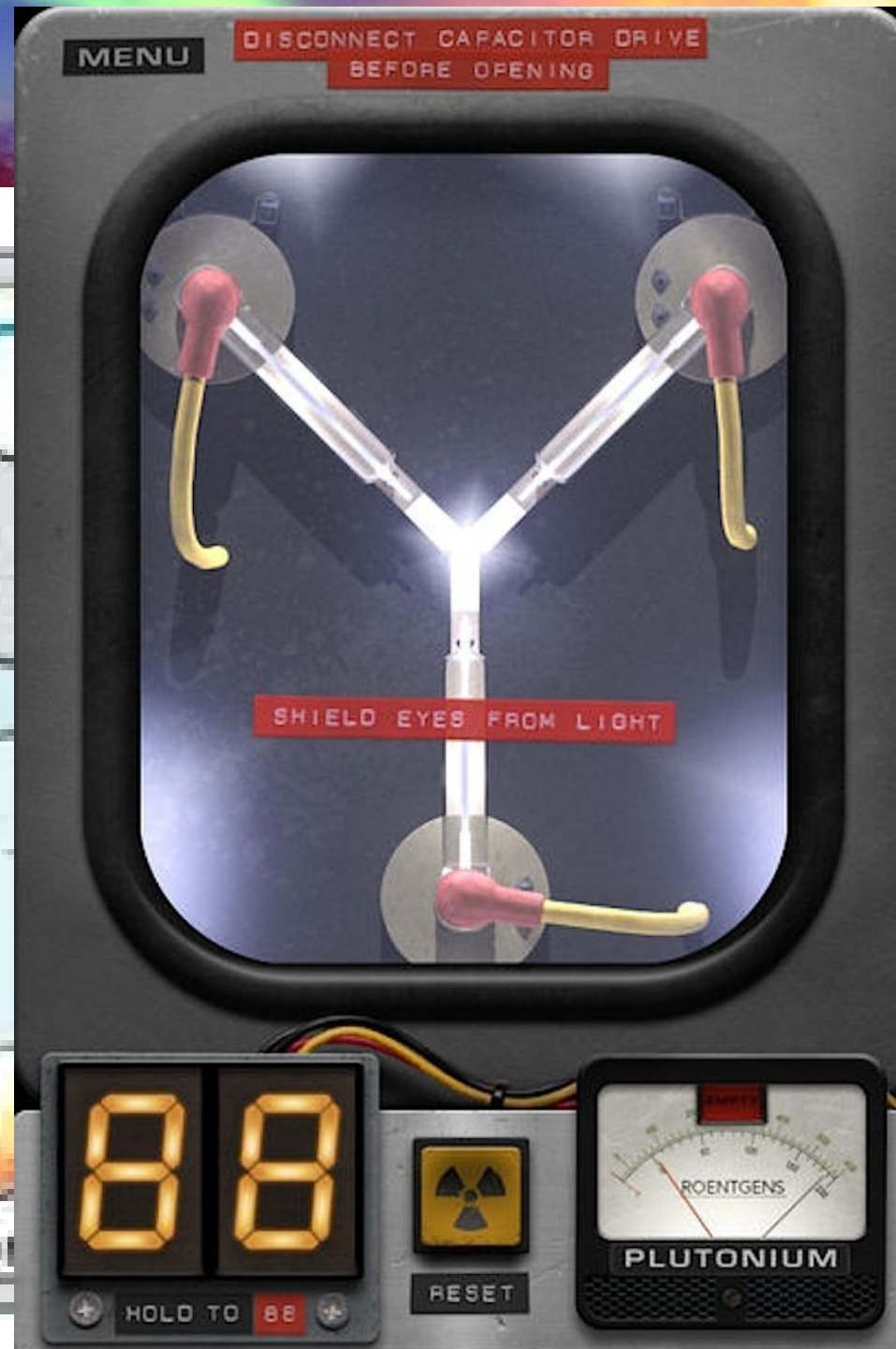
Regulador de Watt



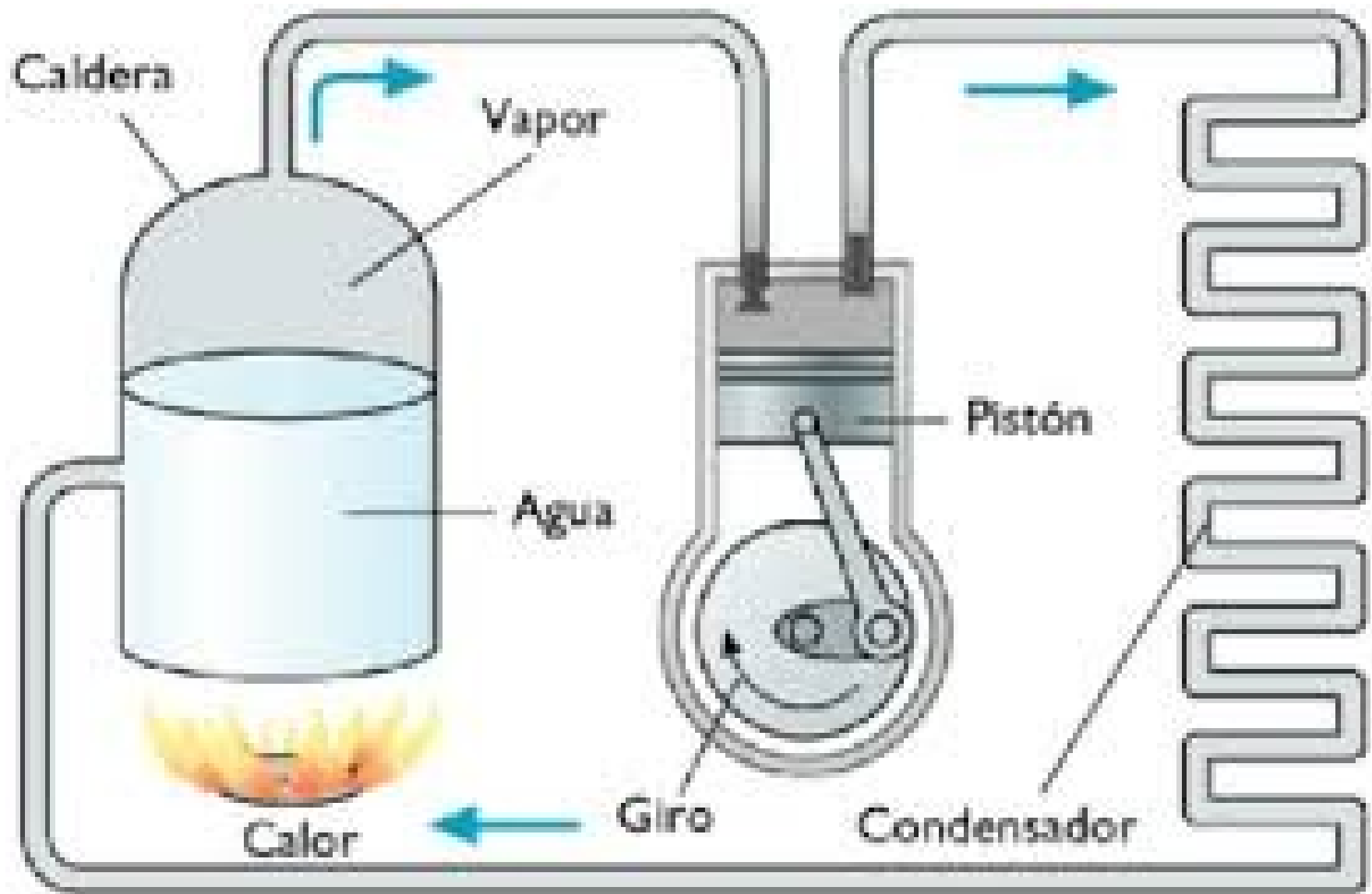
**Funcionamiento: regular con precisión es una
tarea complicada... (PID)**



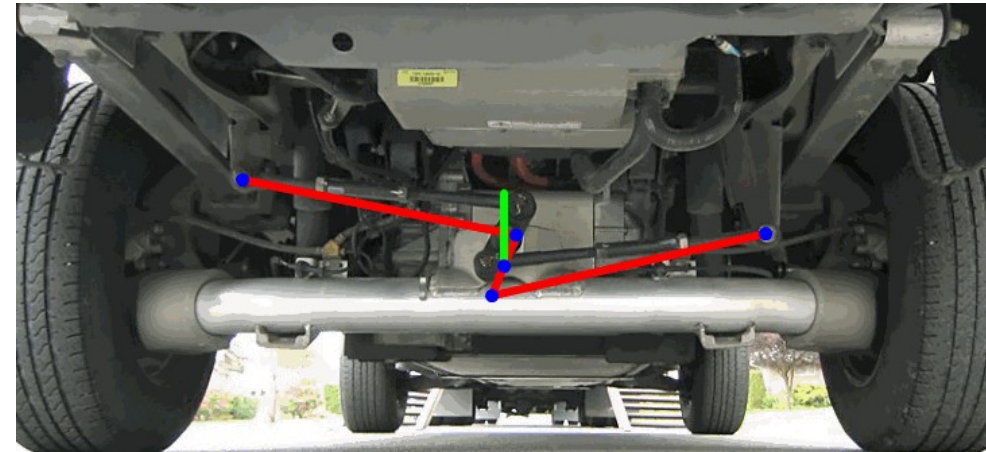
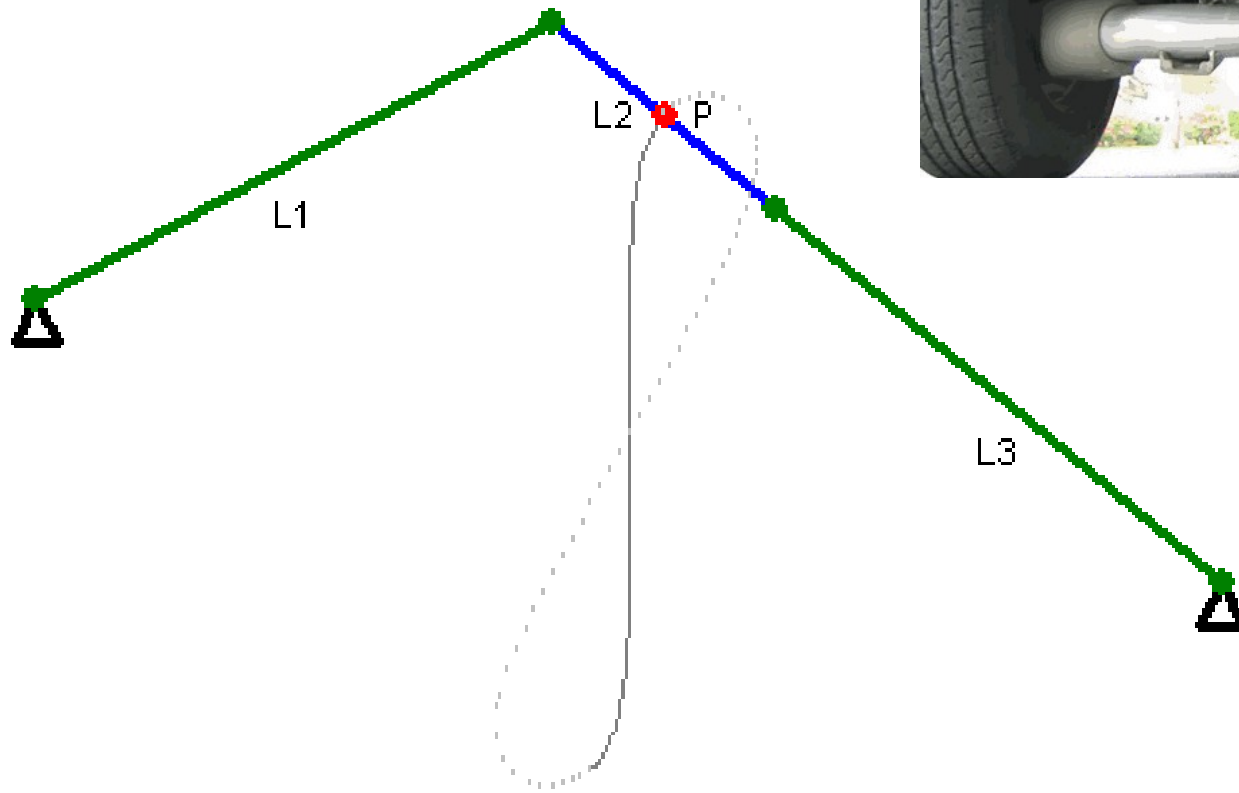
Condensador



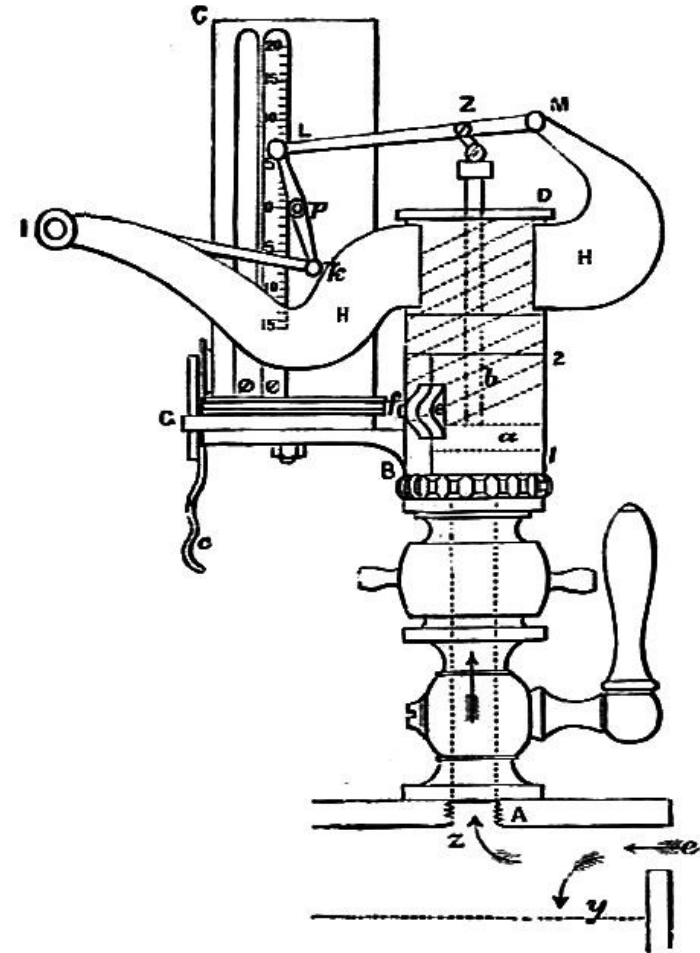
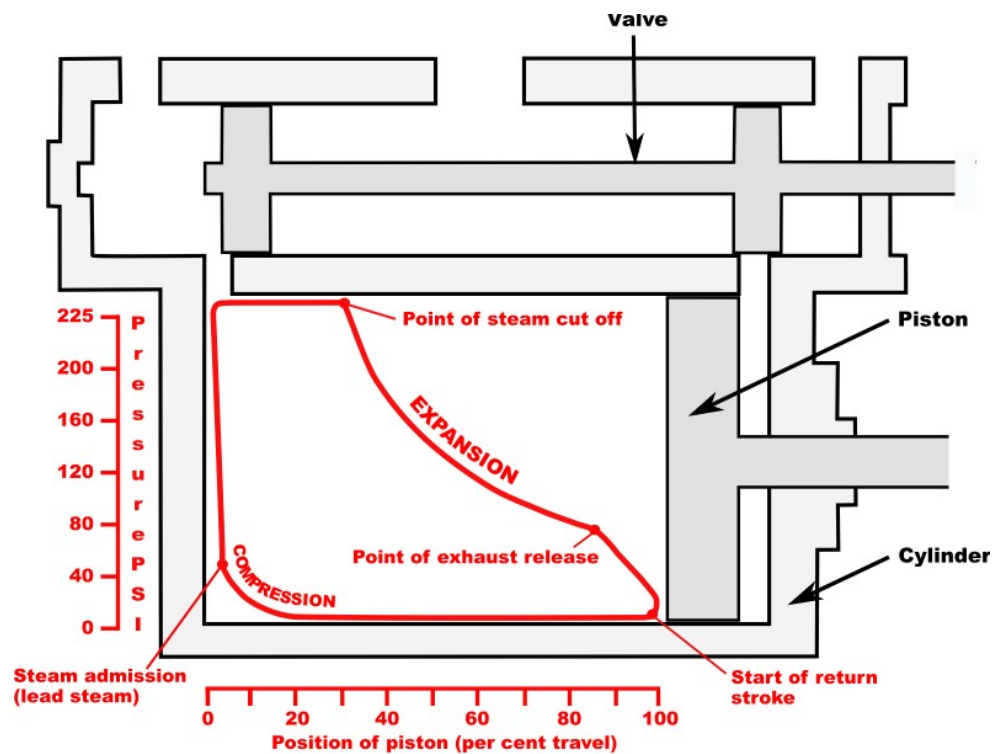
El condensador (y válvulas) mejora de rendimiento al no enfriar el pistón



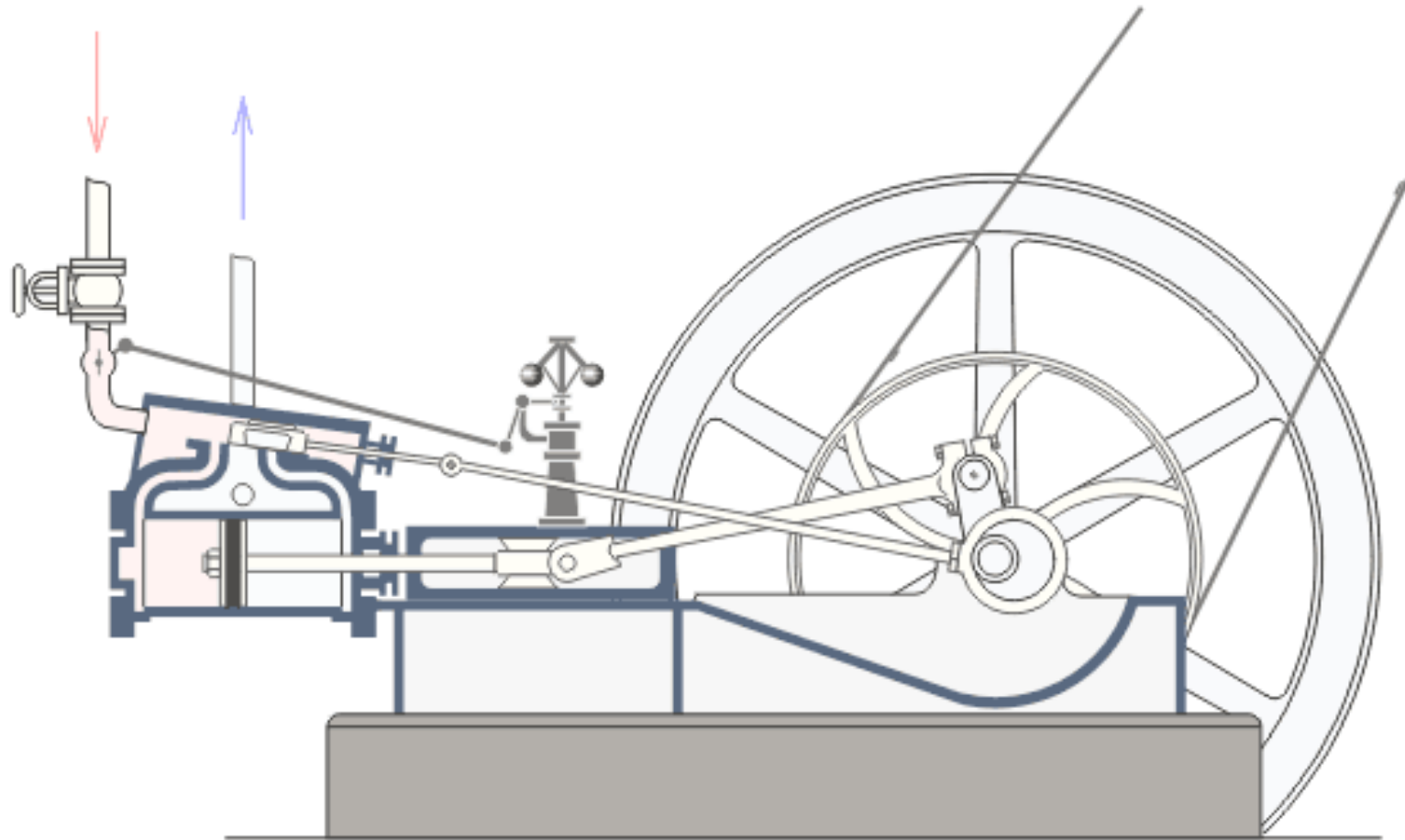
Mecanismo de Watt, 2



Indicador de evolución de Richard ¡diagrama PV real!

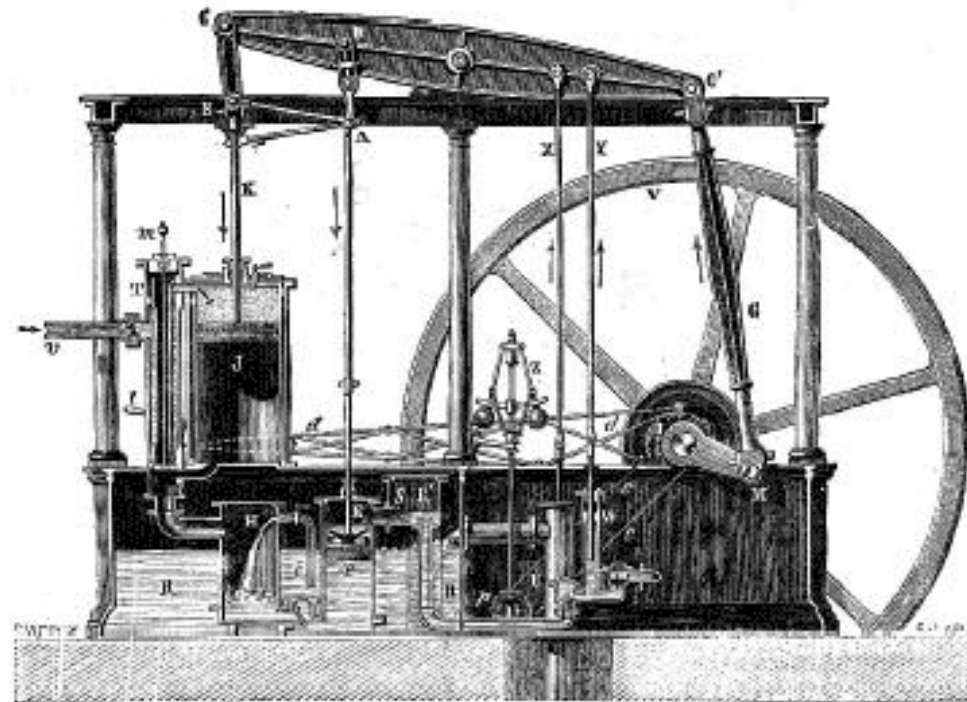
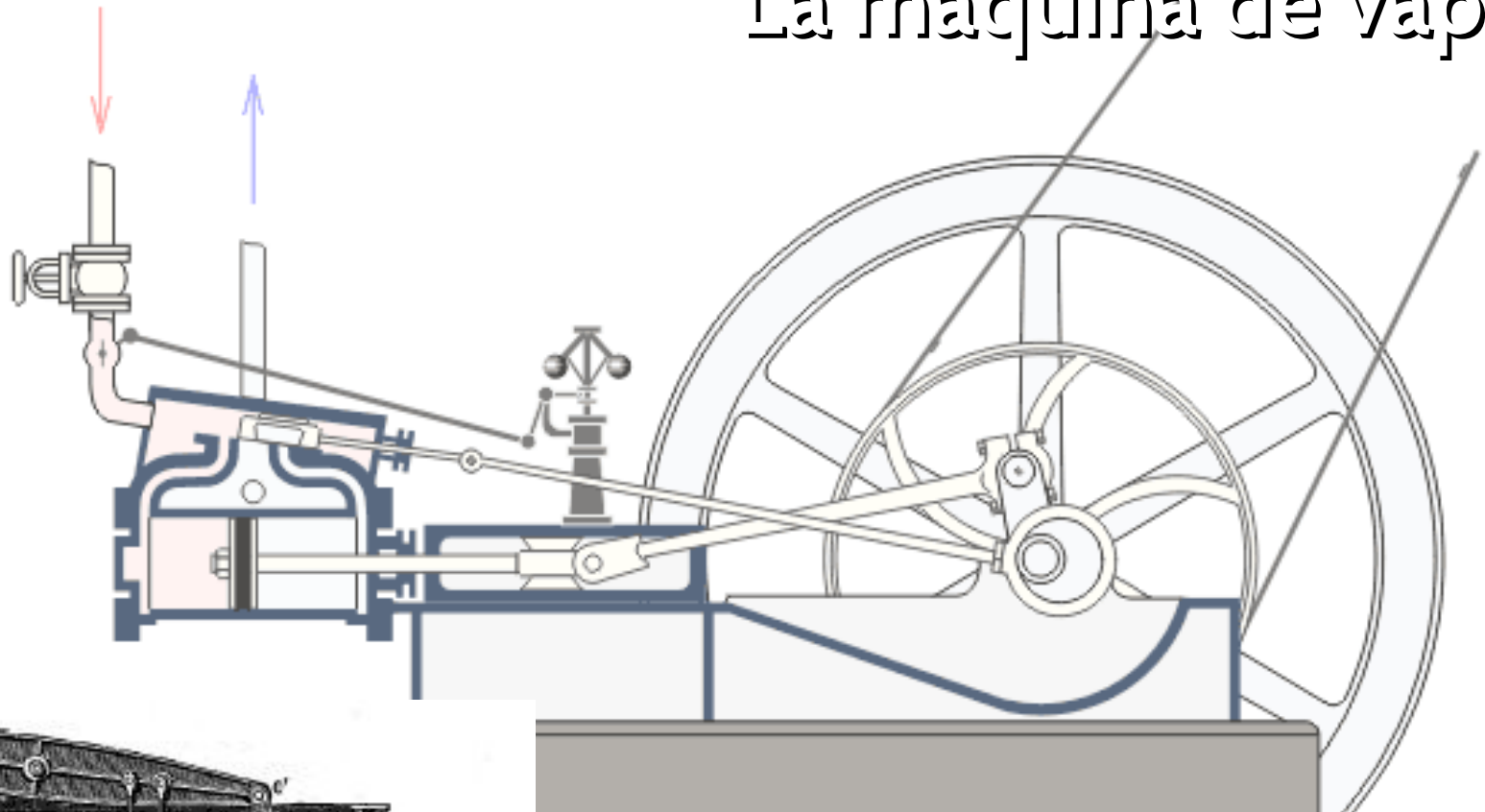


La máquina de vapor

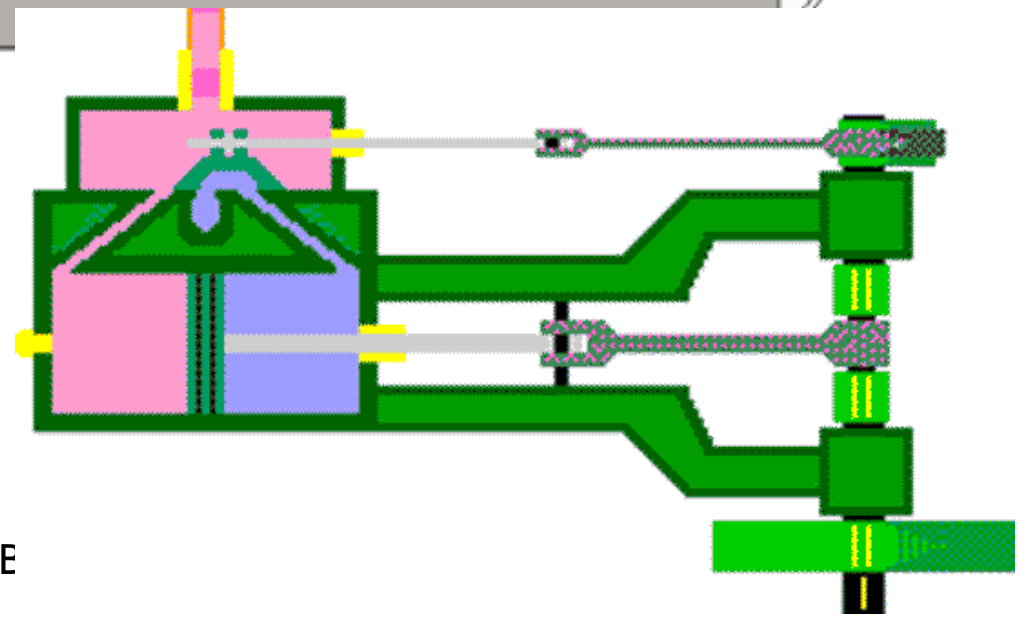




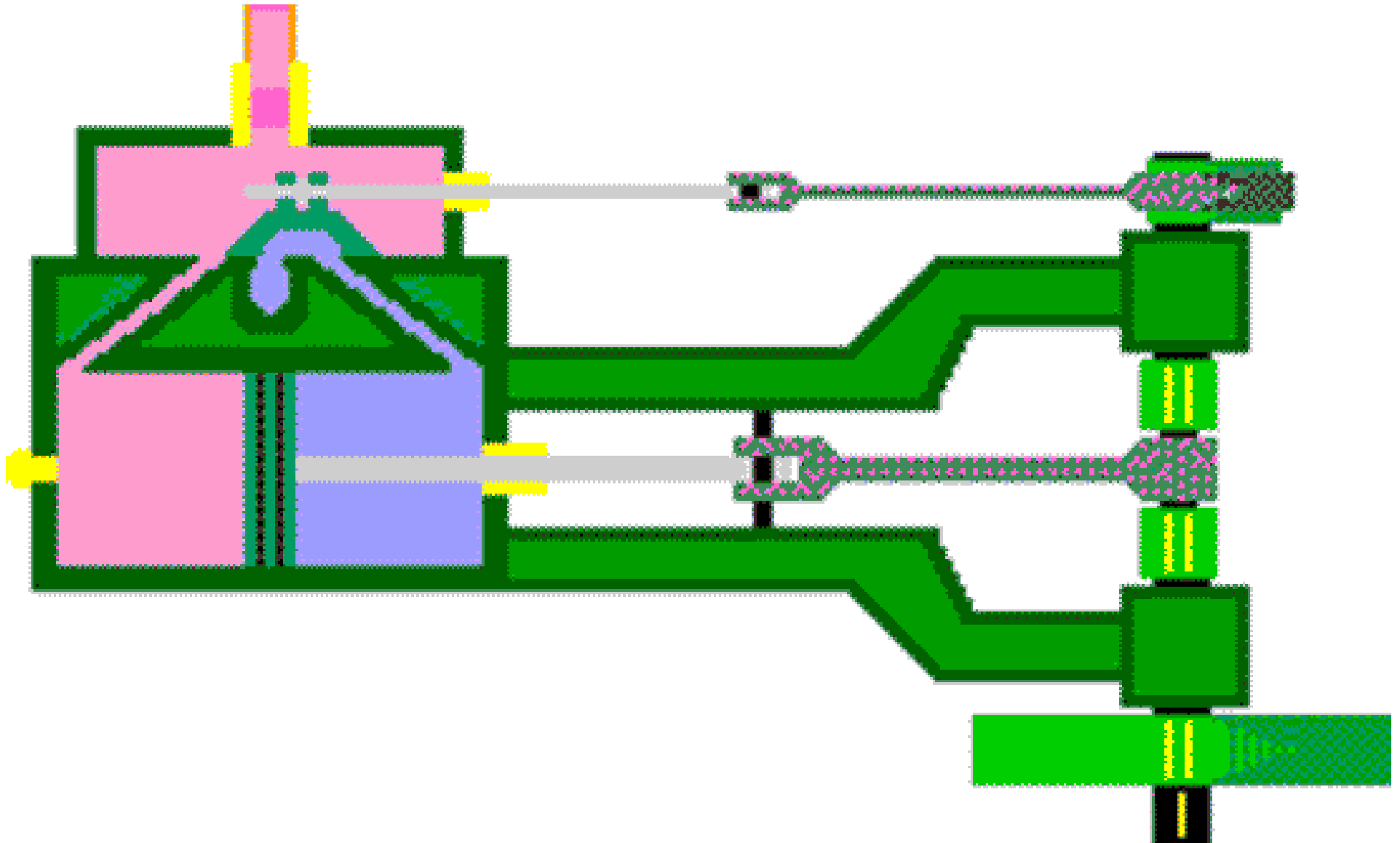
La máquina de vapor



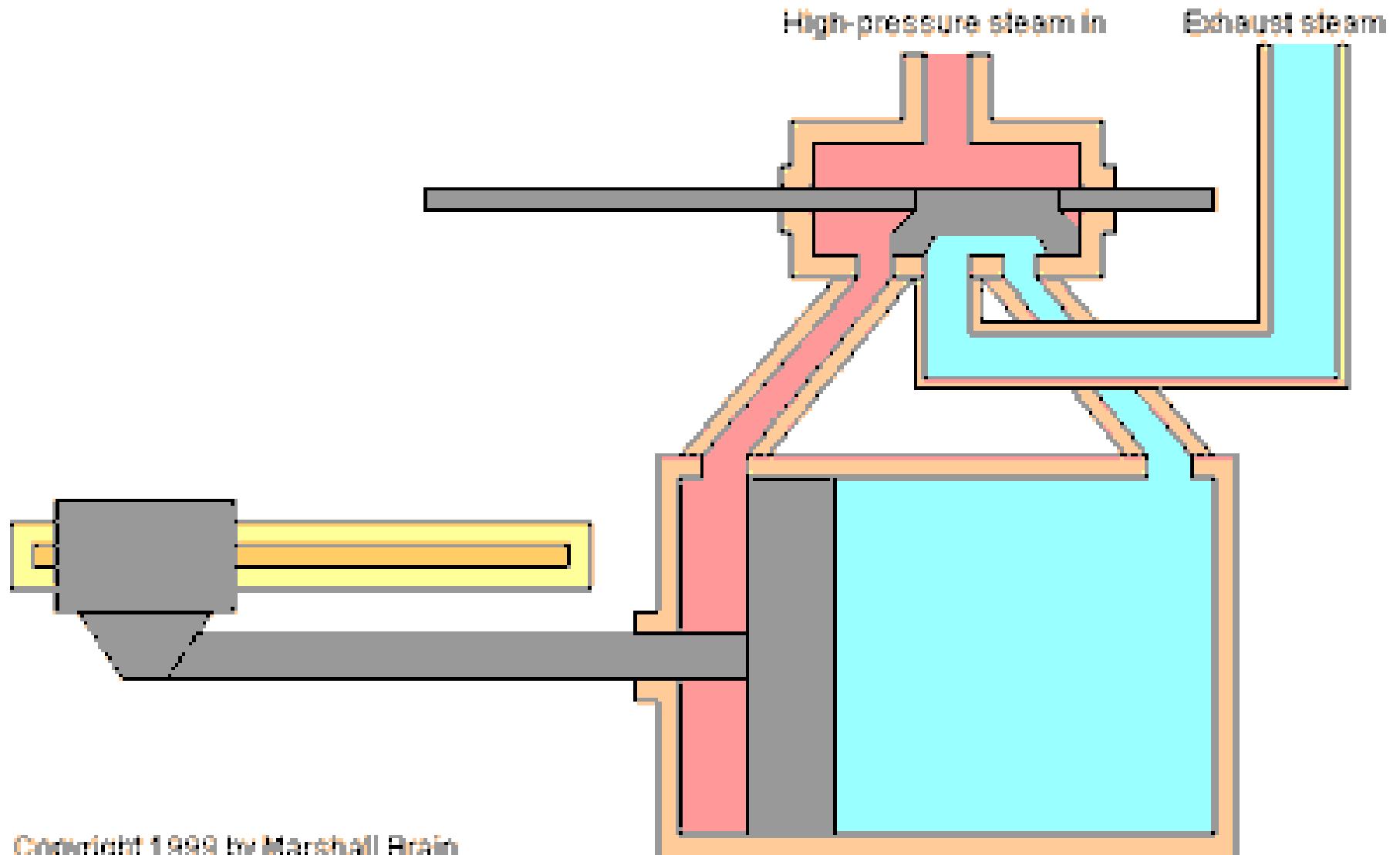
F3E



El pistón de doble acción



El pistón de doble acción

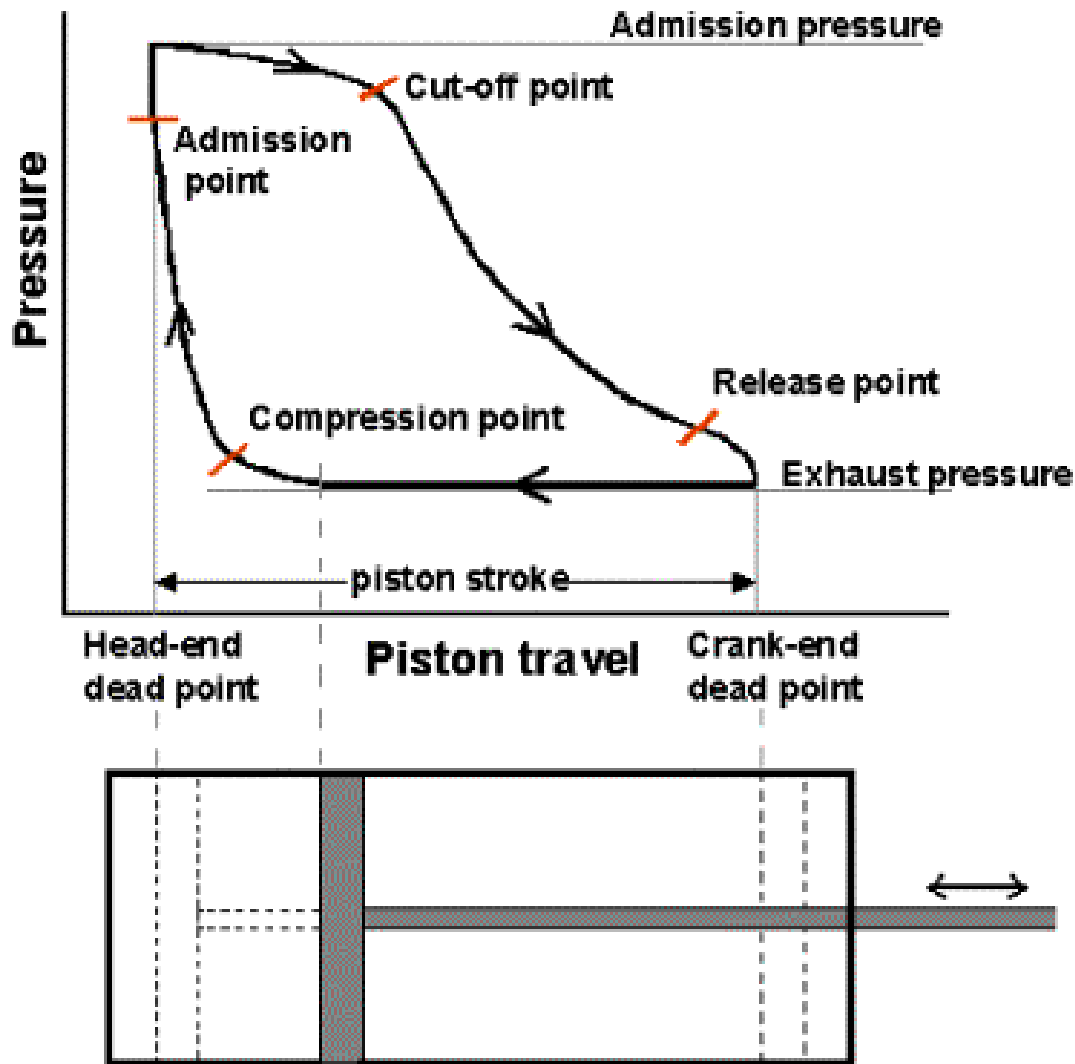


Copyright 1999 by Marshall Brain

Un ciclo que funciona

El inicio de la revolución industrial

SW Halpene



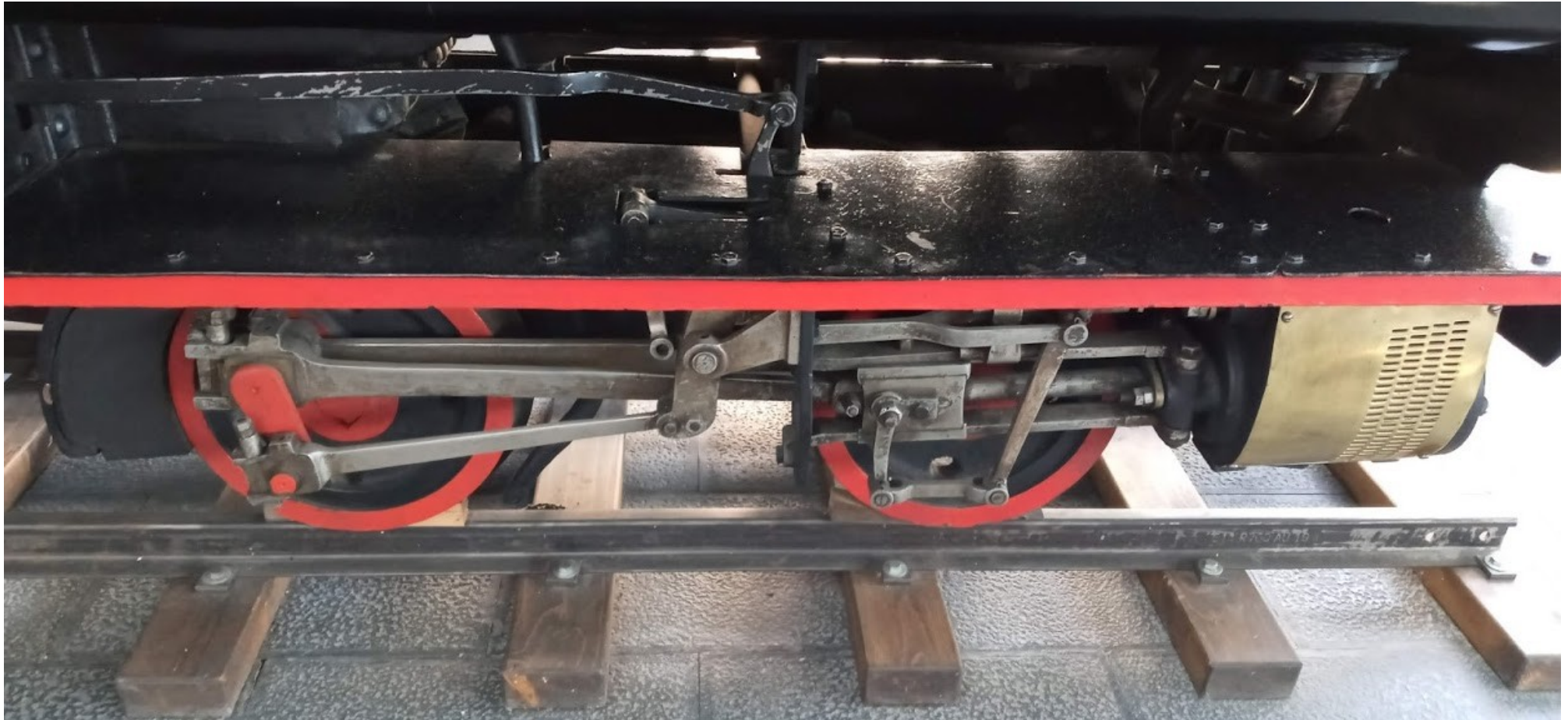
- **Admisión:**
el vapor de alta presión ingresa (ingreso de energía desde la fuente caliente)
- **Expansión:**
comienza la expansión del vapor desplazando al pistón y produciendo trabajo mecánico
- **Escape:**
Rápida salida de vapor de baja presión hacia la fuente fría
- **Compresión:**
La admisión de vapor del otro lado del cilindro comprime el remanente y ecualiza las presiones para la nueva admisión

La locomotora a vapor: un ciclo en acción

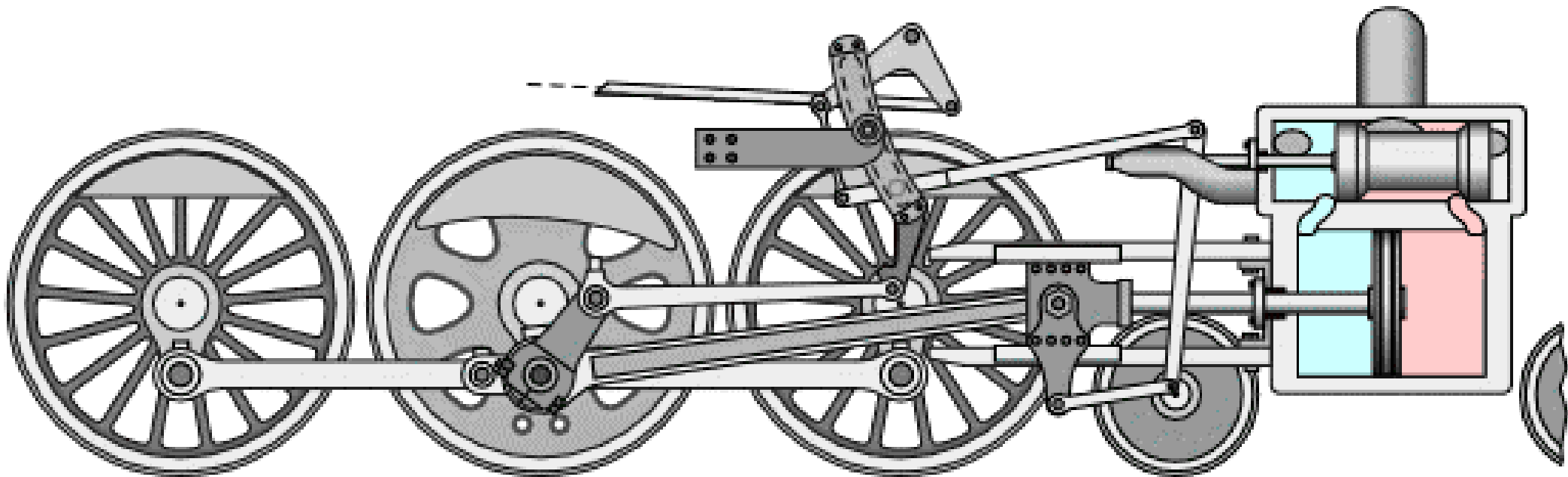
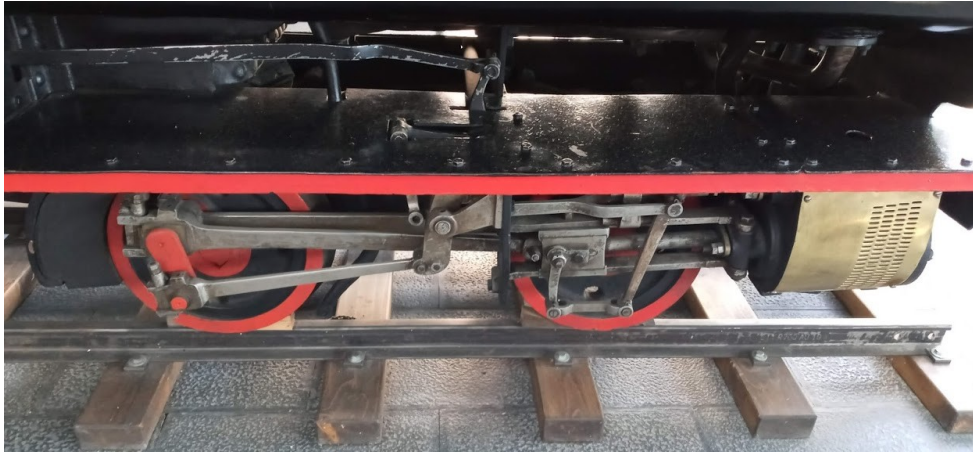


<https://sites.google.com/site/mimaquetaz/homeweb/documentos/la-locomotora-de-vapor>

Sistemas mecánicos de control y transmisión del movimiento



Doble acción real: motor de Walschaert

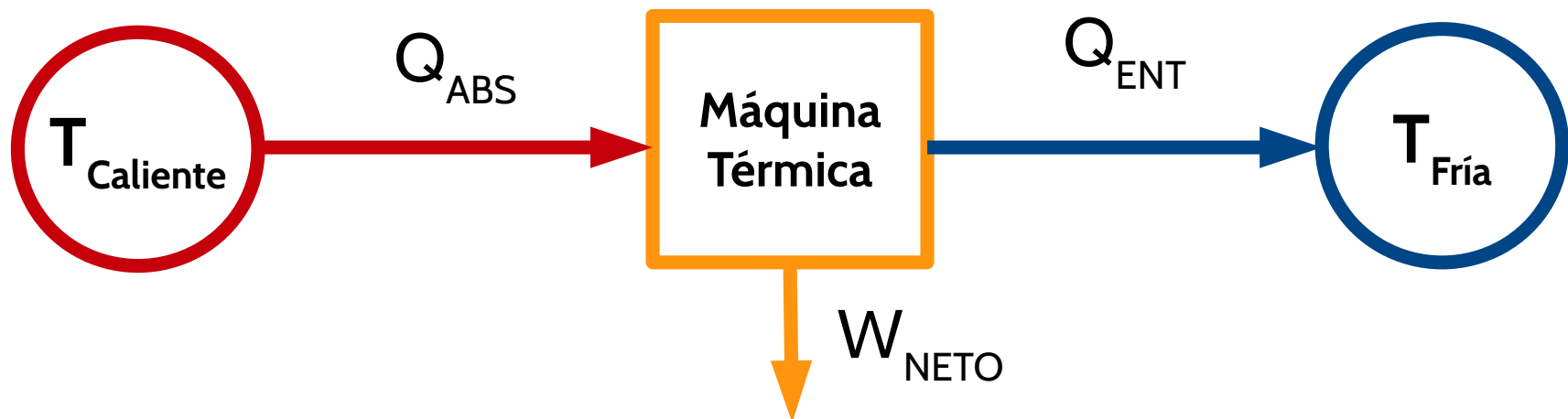


El conjunto (circa 1850)

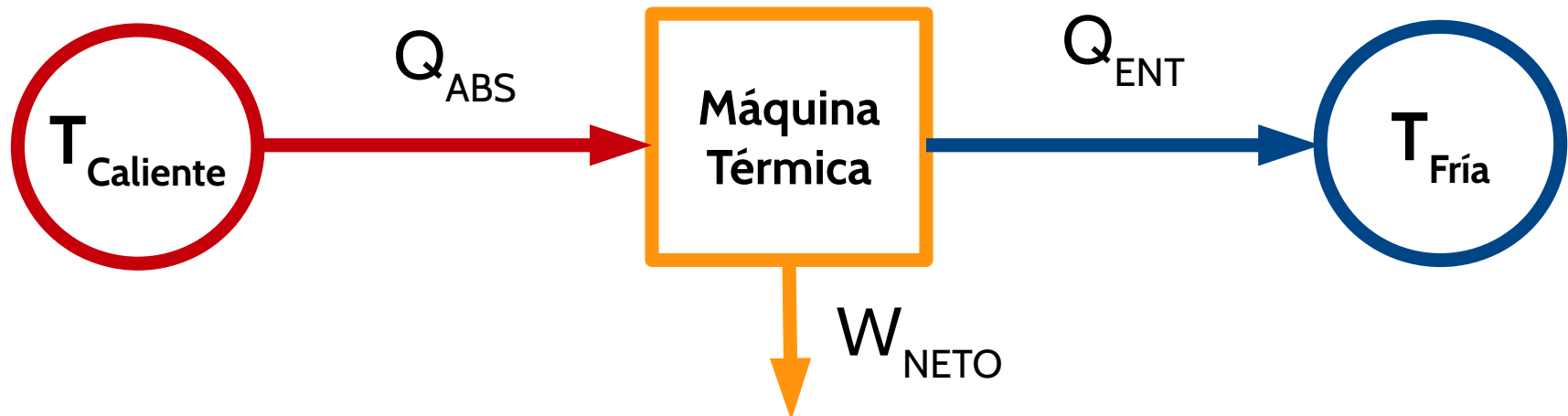


Máquinas térmicas

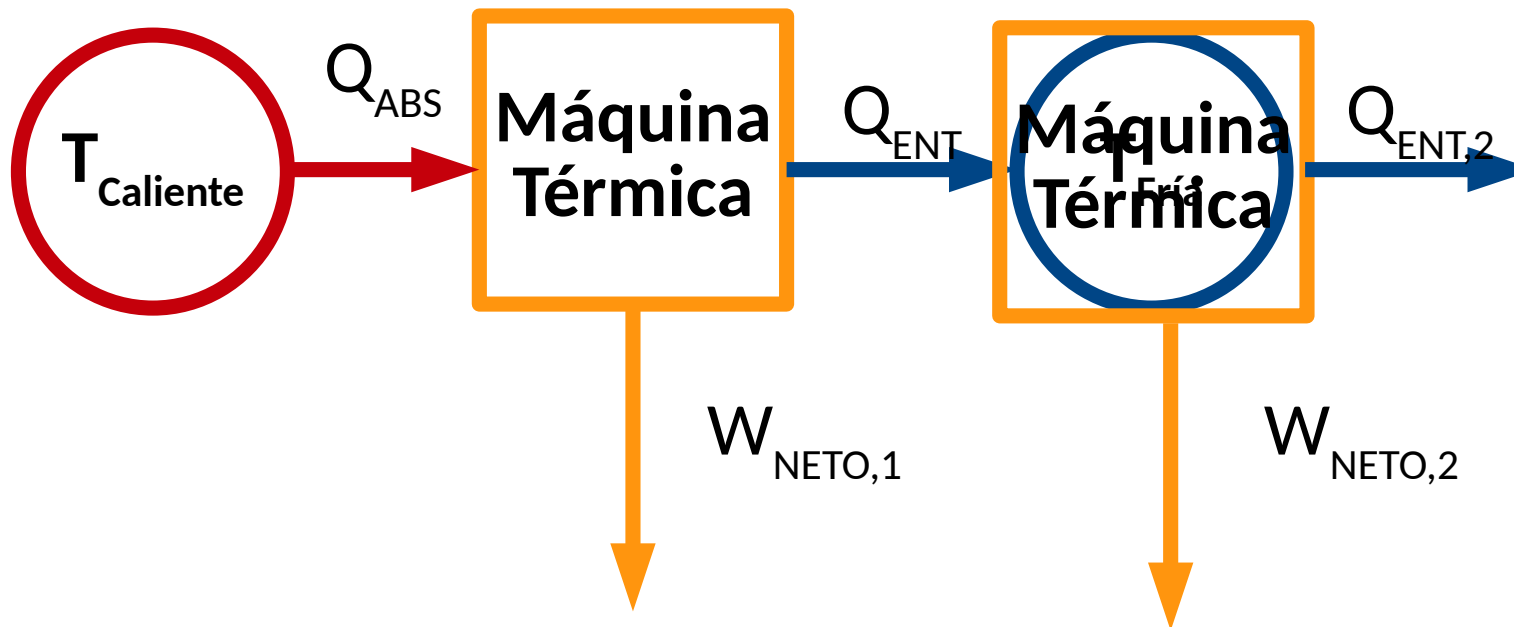
- Máquina térmica: obtengo trabajo mecánico a partir de la transferencia de calor de la fuente caliente a la fuente fría...



- **Fuente caliente:** cede calor, se enfría
- **Fuente fría:** absorbe calor, se calienta
- La máquina térmica “aprovecha” ese flujo para liberar energía en forma de trabajo mecánico “útil”
- Cuando $T_c = T_f \rightarrow$ no hay flujo de calor \rightarrow **muerte térmica**



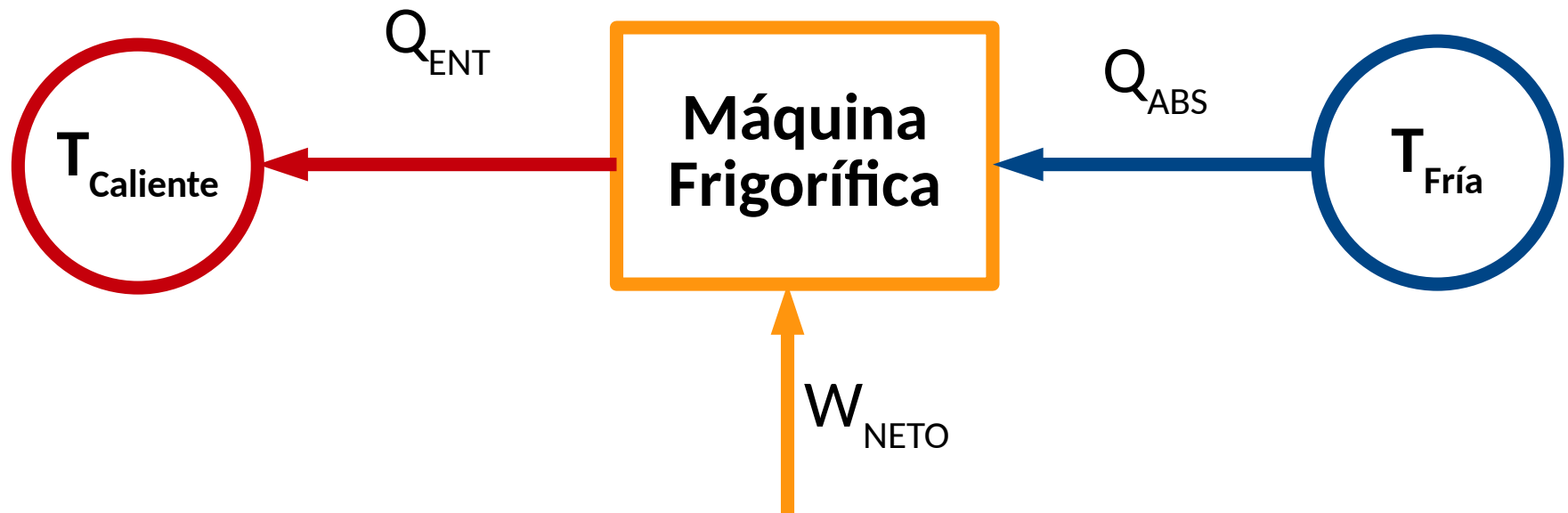
- Mejora de la eficiencia global



$$\eta = \frac{W_{\text{NETO},1} + W_{\text{NETO},2}}{Q_{\text{ABS}}}$$

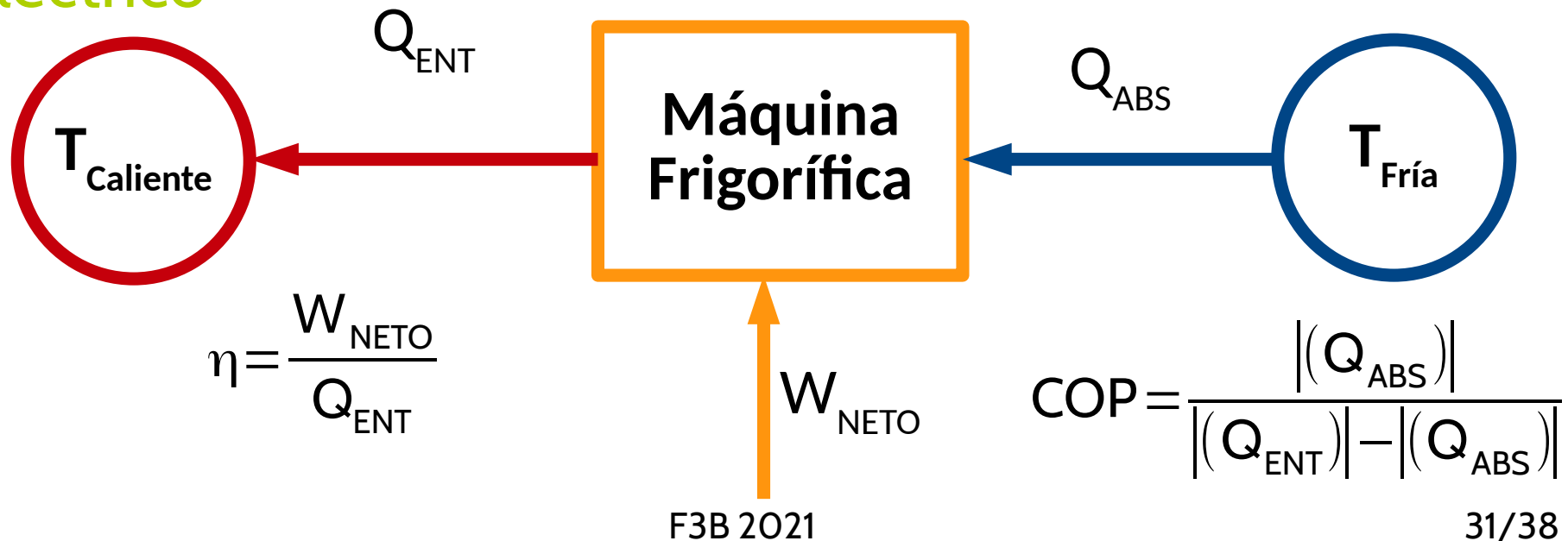
Ciclo inverso → Máquina frigorífica

- Si entrego trabajo, es posible transferir calor de la fuente fría a la caliente
- Heladera:

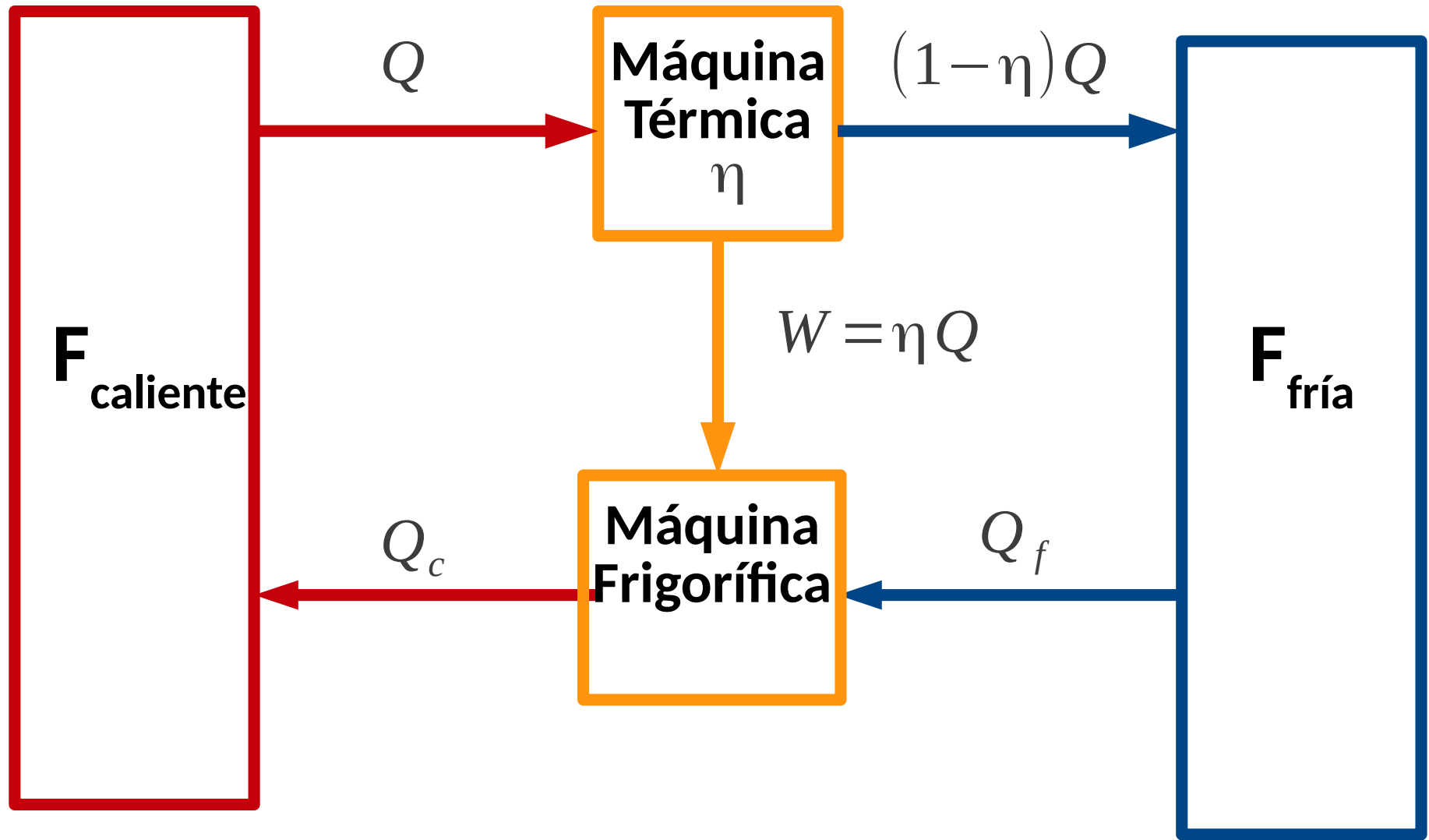


Ciclo inverso → Máquina frigorífica

- Si entrego trabajo, es posible transferir calor de la fuente fría a la caliente
- **Heladera:** es una “bomba de calor” que extrae calor de una fuente fría para cederlo a otro a una temperatura mayor, impulsada por un motor externo, usualmente eléctrico



Máquina reversible e irreversible

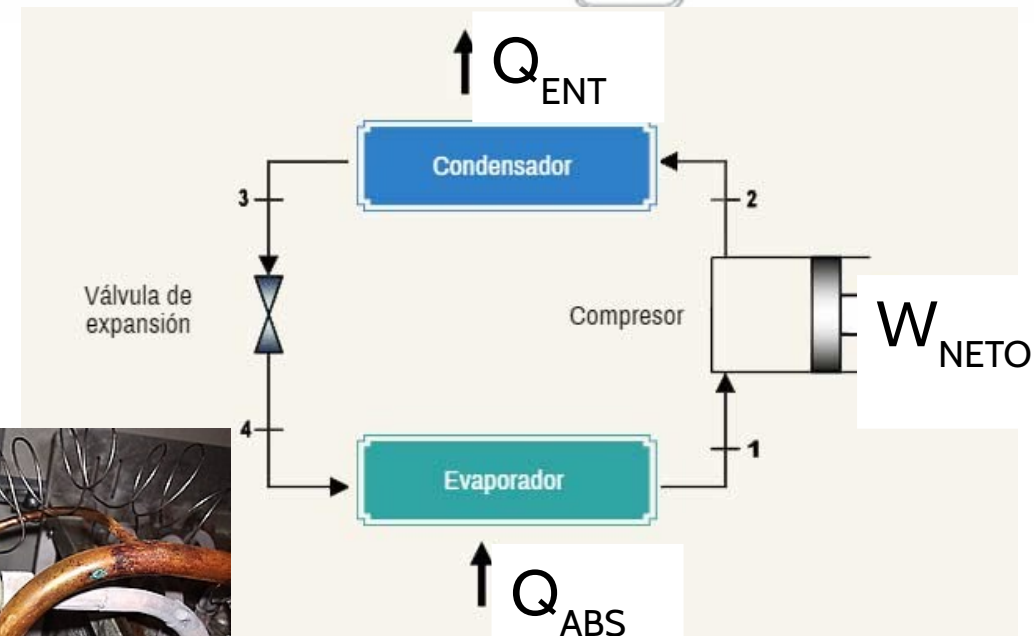
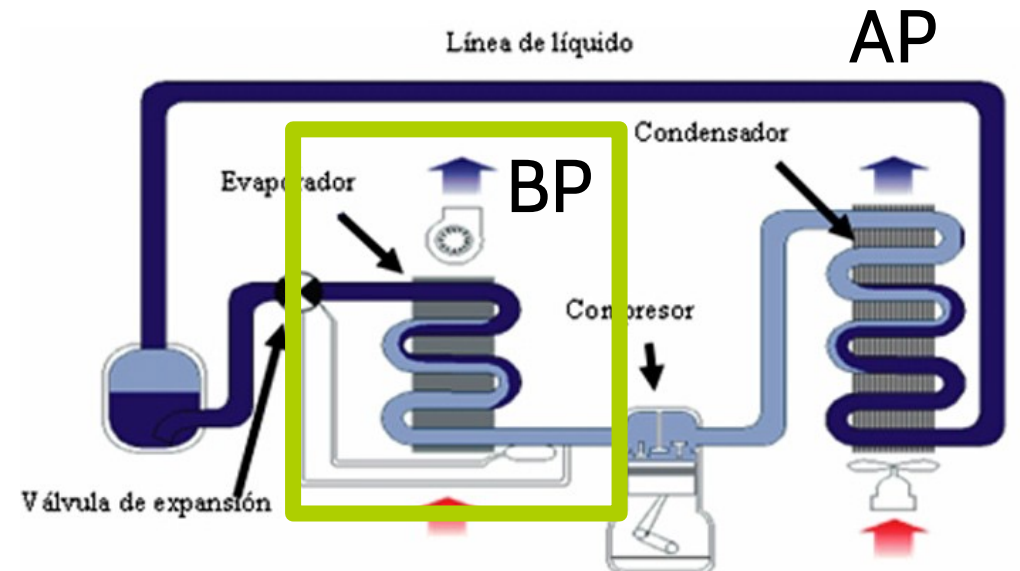


Si la máquina térmica no es reversible, $Q_c < Q$

Funcionamiento: refrigeración por compresión:

Líquido refrigerante: bajo punto de vaporización (típicamente -40°C)

- 1) **Compresor**: el gas se comprime (W_{NETO}) en forma adiabática y, en principio, reversible. Alta Presión (AP)
- 2) **Condensador**: se licúa e intercambia calor con la fuente caliente (Aire, Q_{ENT}). Cambio de estado: calor latente, proceso isotérmico (AP)
- 3) **Válvula de expansión**: descompresión adiabática \rightarrow enfriamiento del líquido a baja presión (BP)
- 4) **Evaporador**: el líquido frío absorbe calor de la fuente fría (heladera, Q_{ABS}) y se vaporiza: calor latente, proceso isotérmico (BP)
- Se reinicia el ciclo en el compresor



Apéndice: 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 $\Delta U=0$:

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

y dado que las transformaciones 1 y 3 son isotérmicas:

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

$$W_2 = -W_4$$

Eficiencia del ciclo de Carnot

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

Adiabática: $pV^\gamma = \text{cte} \rightarrow TV^{\gamma-1} = \text{cte}$

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

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

Eficiencia del ciclo de Carnot

- Trabajo neto

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

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

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

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

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

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

Eficiencia del ciclo de Carnot

- Calor entregado al sistema (sólo en transformación 1)

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

- Entonces el rendimiento:

$$\eta = \frac{\sum_i W_i}{\sum_j (Q_j > 0)}$$
$$\eta_{\text{Carnot}} = \frac{nRT_A \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)(T_A - T_C)}{nRT_A \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)}$$

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