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

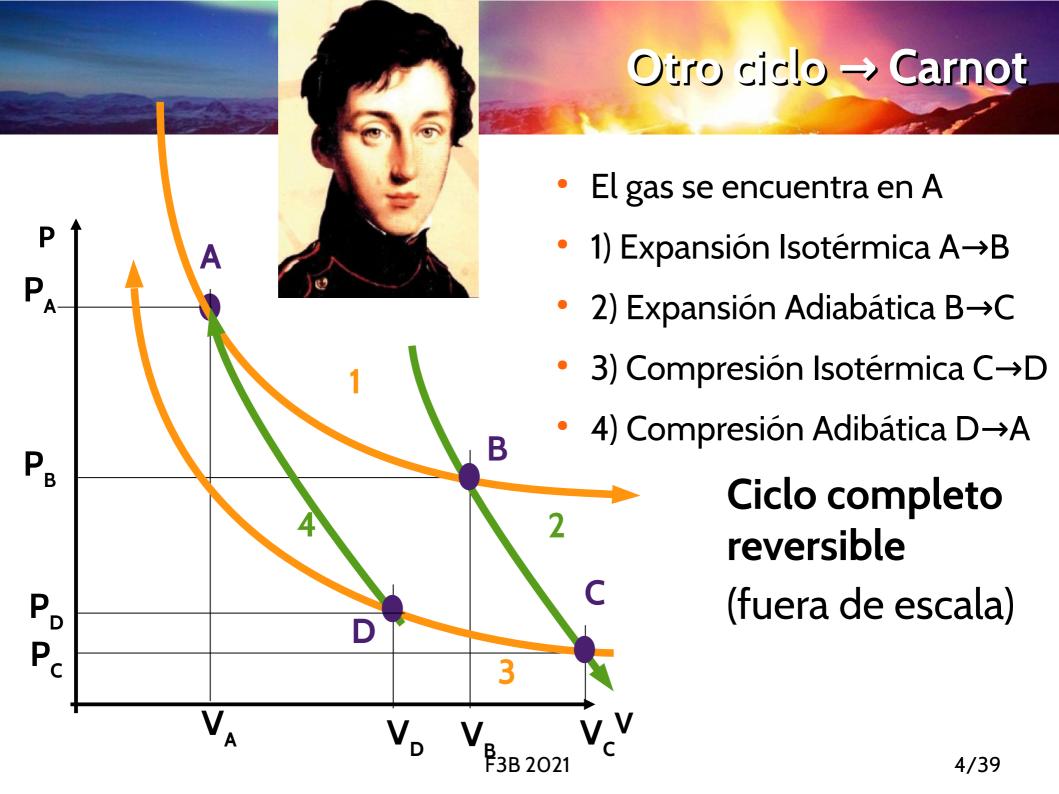


Unidad 2: Primer Principio



Módulo 1 - Unidad 2: Primer Principio





Maldita termodinámica, 1ra parte

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

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

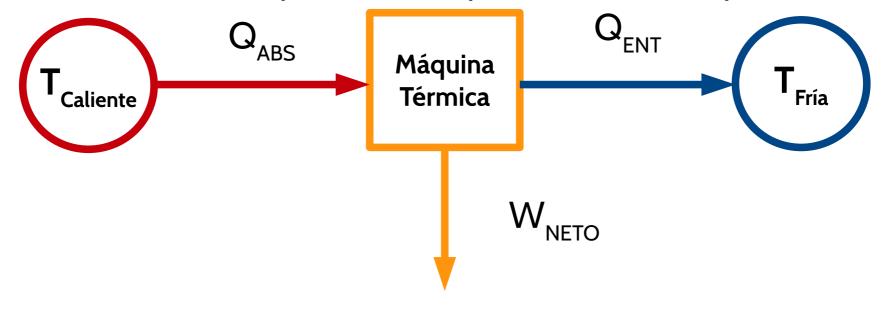
- El rendimiento de una máquina de Carnot siempre es menor que 1:
- 1er Teorema de Carnot (demostración en la próx. unidad)

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

F3B 2O21 5/39

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



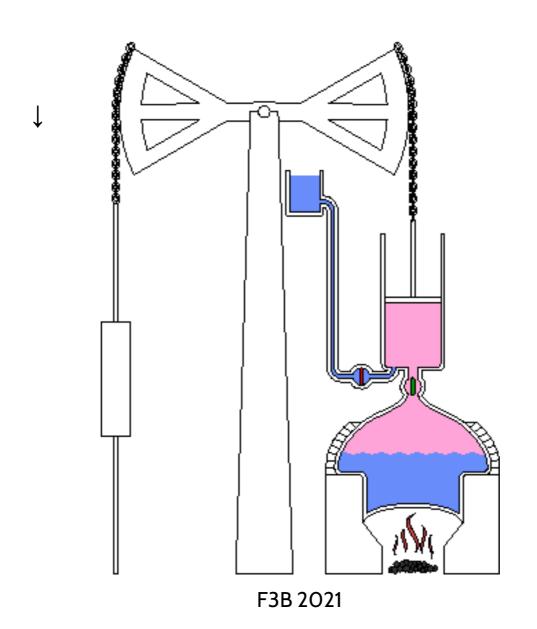
F3B 2O21 6/39

Versión Siglo XXI



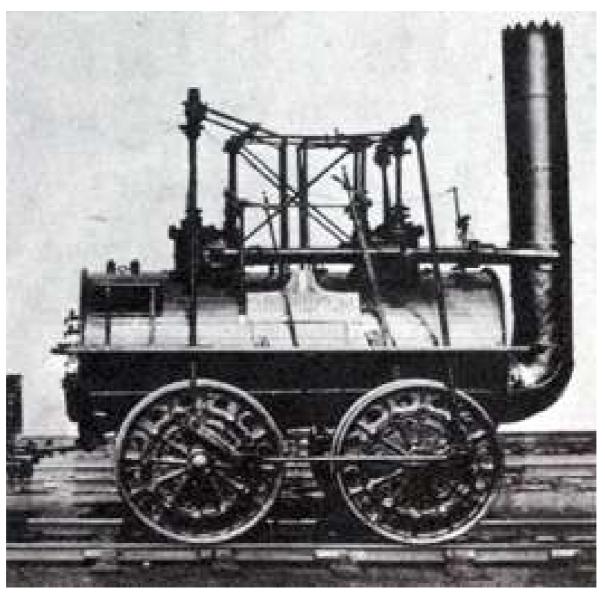
F3B 2O21 7/39

Otra: máquina de Newcomen



8/39

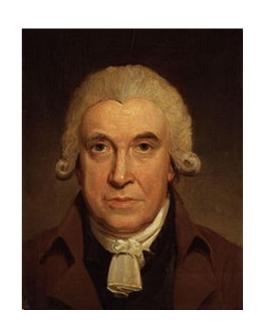
Una locomotora primitiva



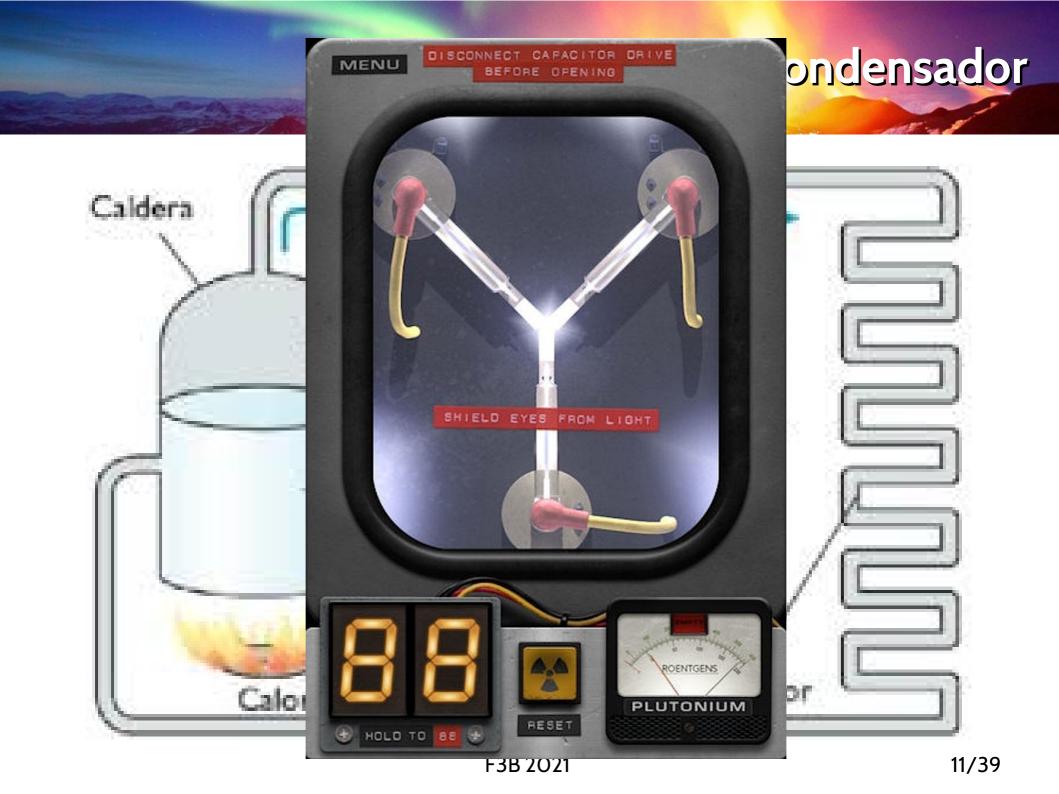
F3B 2O21 9/39

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

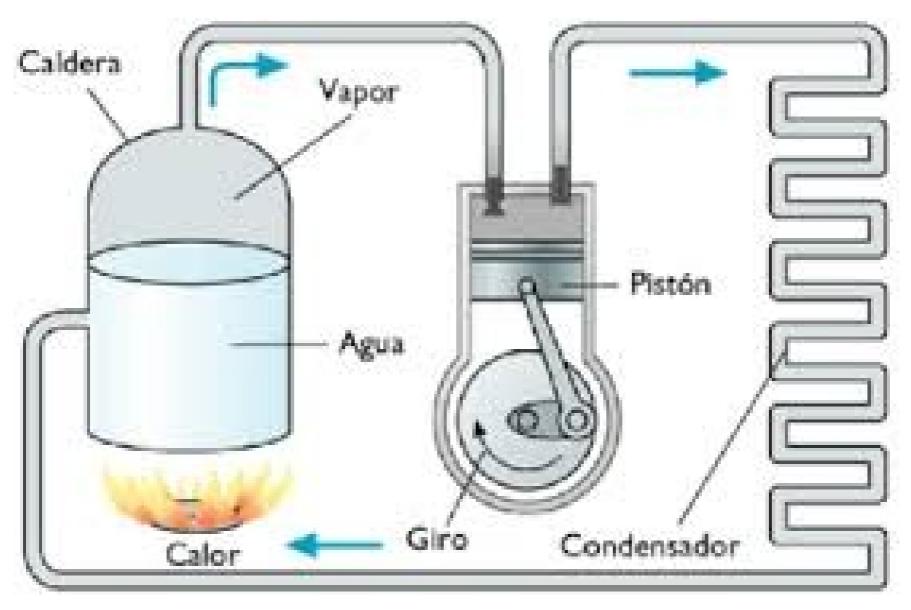
- Ayudó al desarrollo de la máquina de vapor convirtiéndola en una forma viable y económica de producir energía.
- Desarrolló una cámara de condensación que incrementó significativamente la eficiencia.



F3B 2O21 10/39

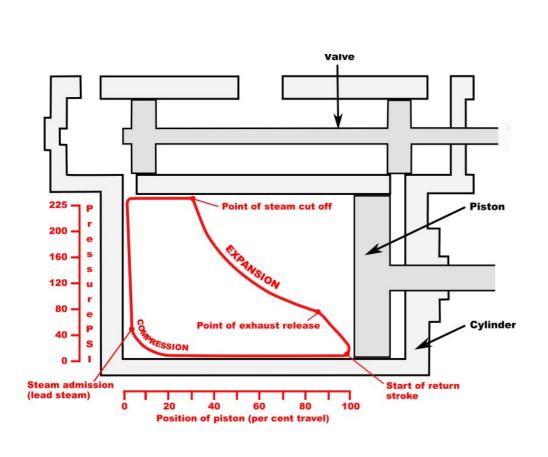


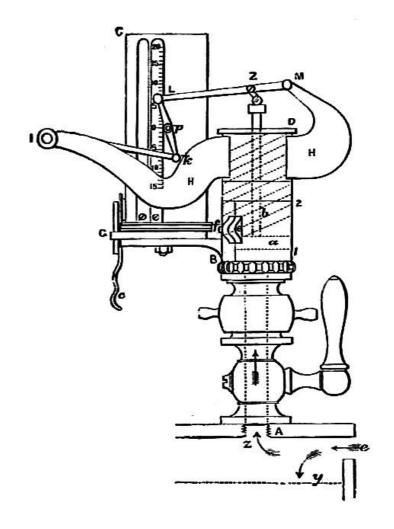
El condensador (y válvulas) mejora de rendimiento al no enfriar el pistón



F3B 2O21 12/39

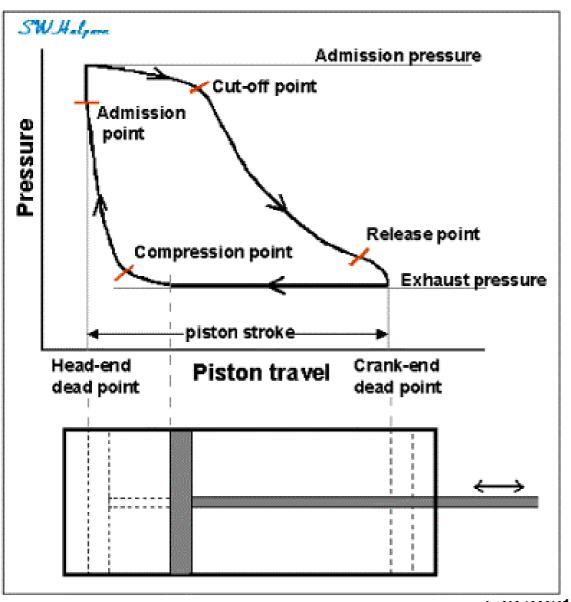
Indicador de evolución de Richard ¡diagrama PV real!





F3B 2O21 13/39

Un ciclo que funciona El inicio de la revolución industrial



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:

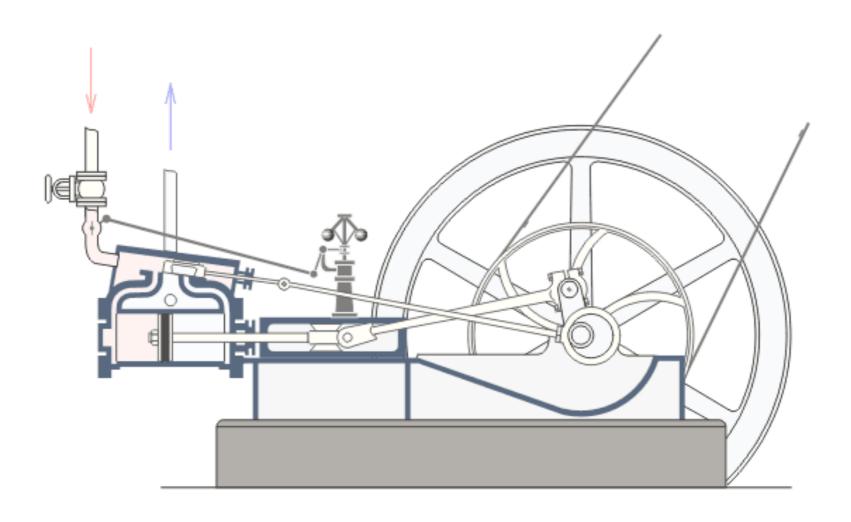
Rápida salida de vapor de baja presión hacia la fuente fría

Compresión:

La admisión de vapor del otro lado del cilindro comprime el remanente y ecualiza las presiones para la nueva admisión

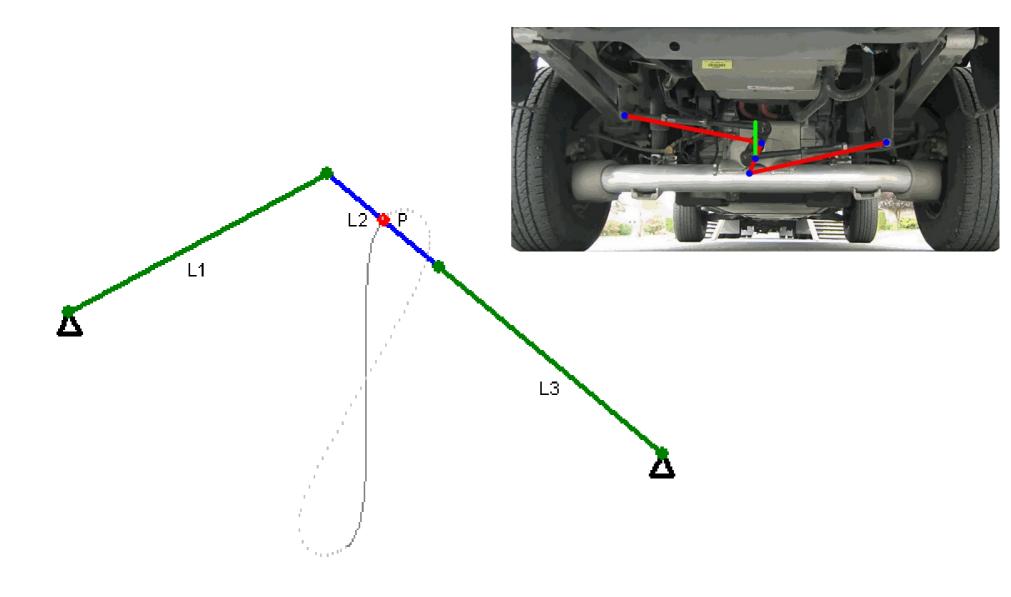
F3B 2O21 14/39

La máquina de vapor



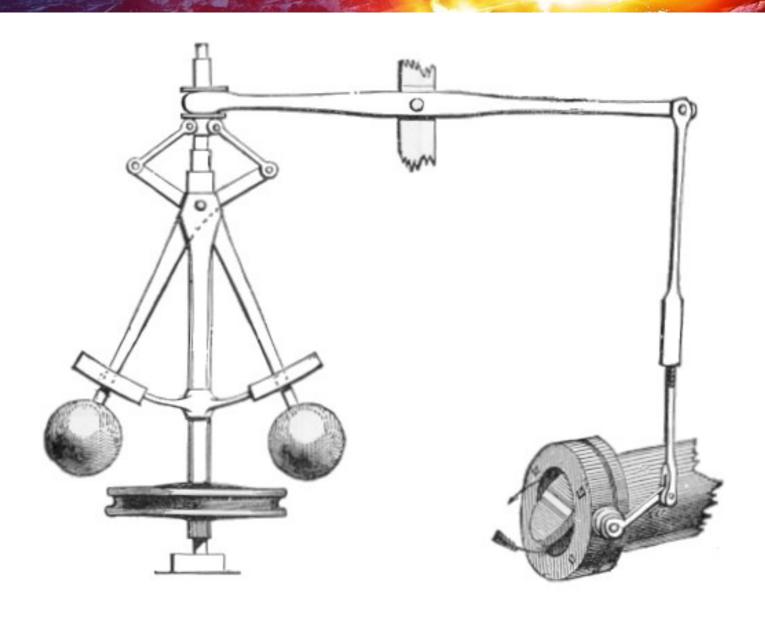
F3B 2O21 15/39

Mecanismo de Watt

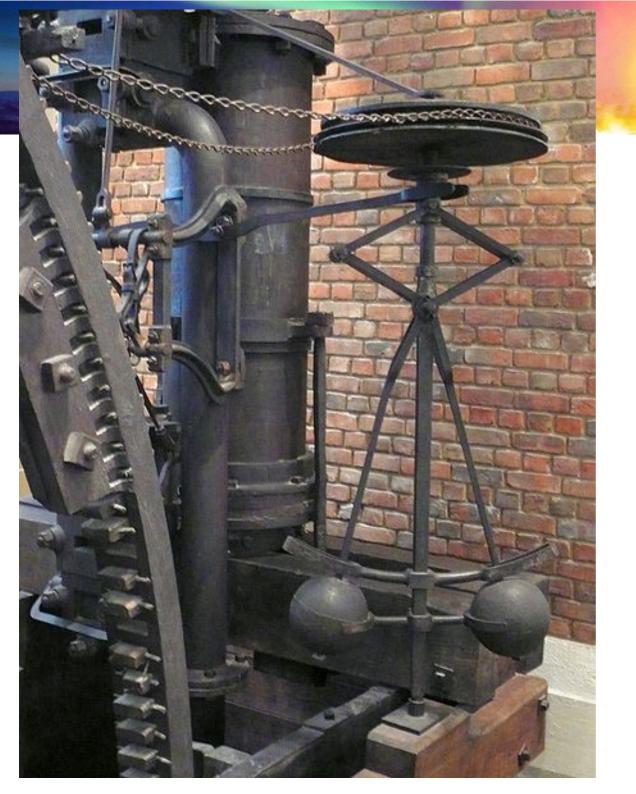


F3B 2O21 16/39

Regulador de Watt

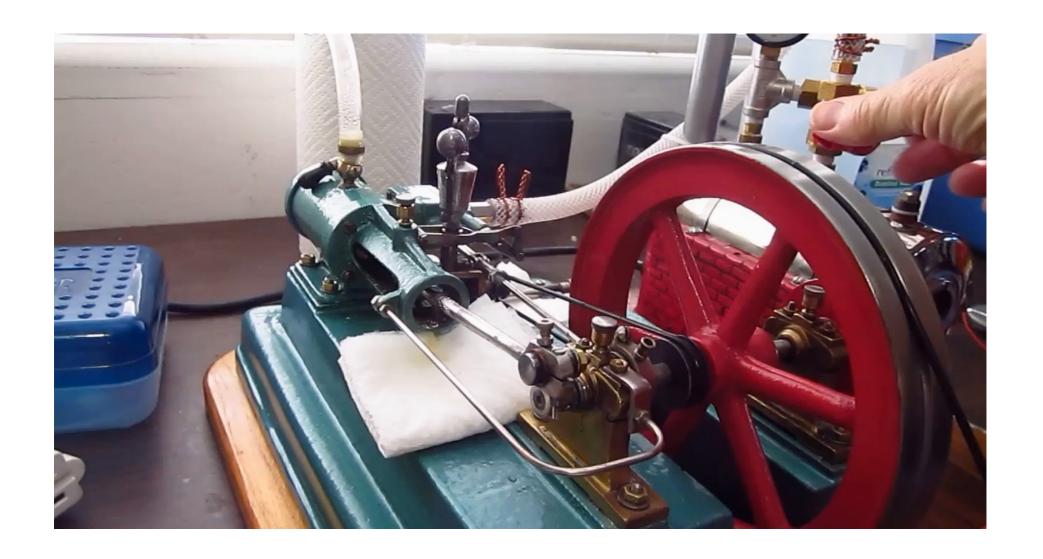


F3B 2O21 17/39

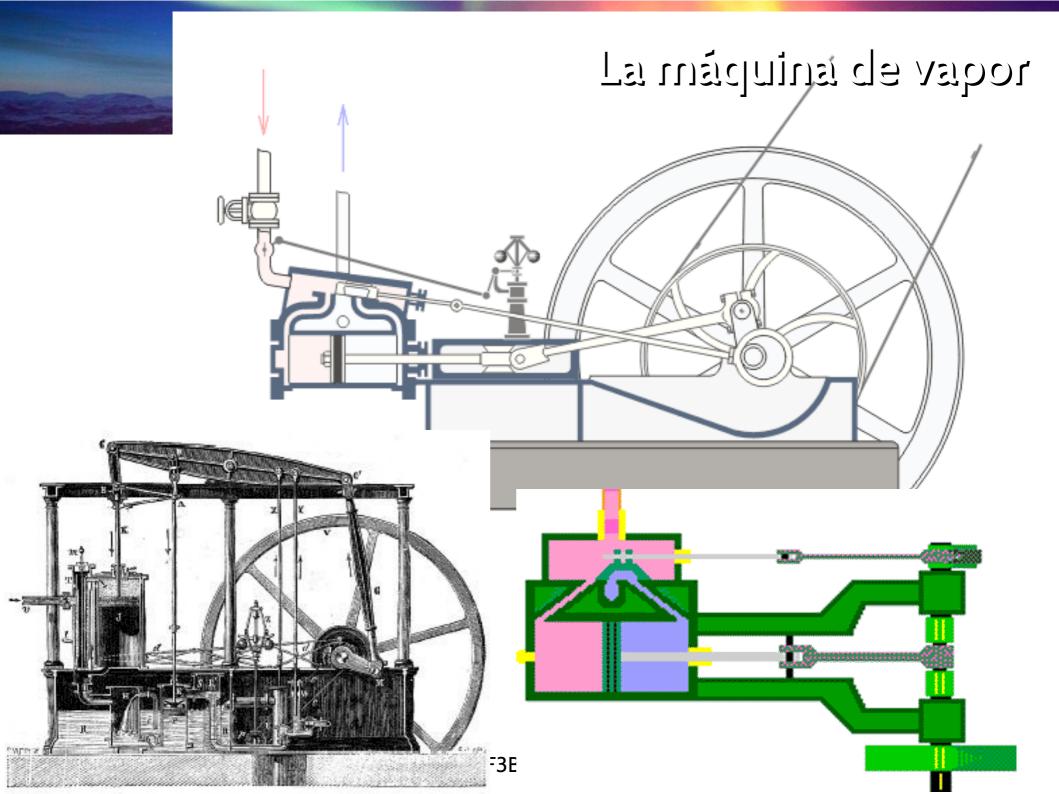


Regulador de Watt

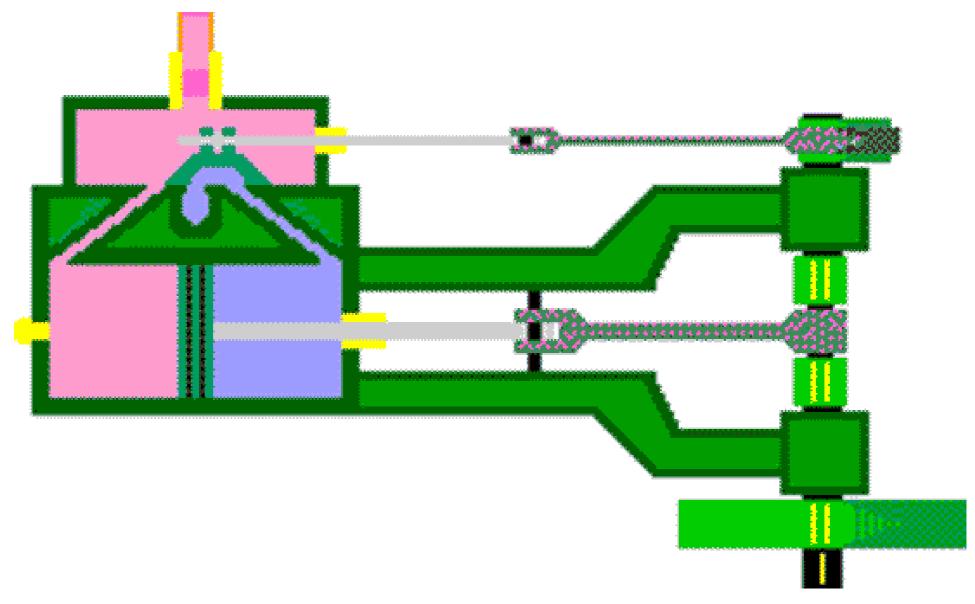
Funcionamiento: regular con precisión es una tarea complicada... (PID)



F3B 2O21 19/39

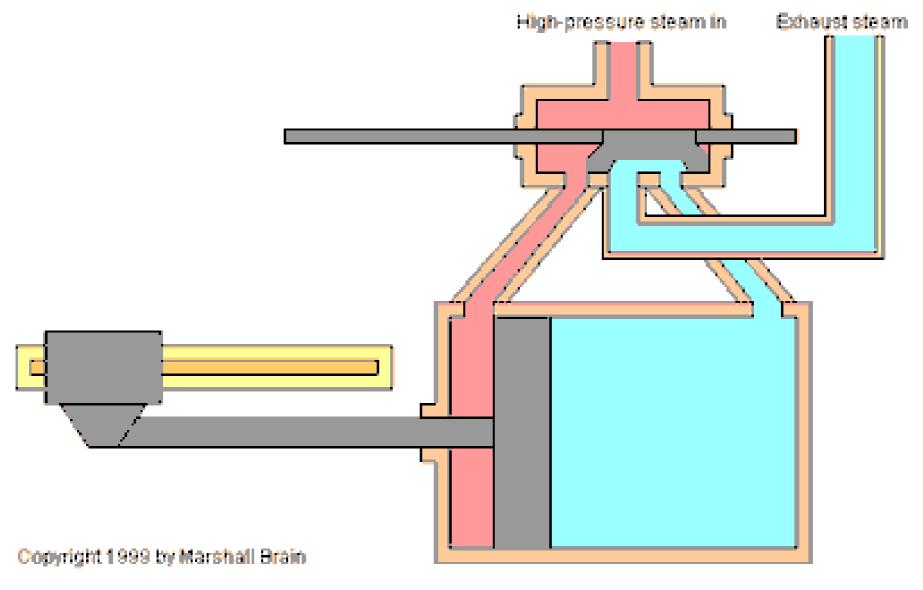


El pistón de doble acción



F3B 2O21 21/39

El pistón de doble acción



F3B 2O21 22/39

La locomotora a vapor: un ciclo en acción



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

F3B 2O21 23/39

Sistemas mecánicos de control y transmisión del movimiento

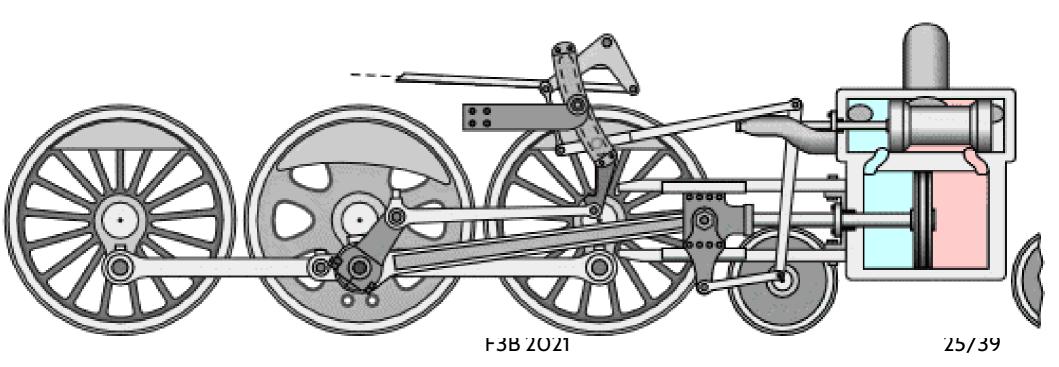


F3B 2O21 24/39

Doble acción real: motor de Walschaert







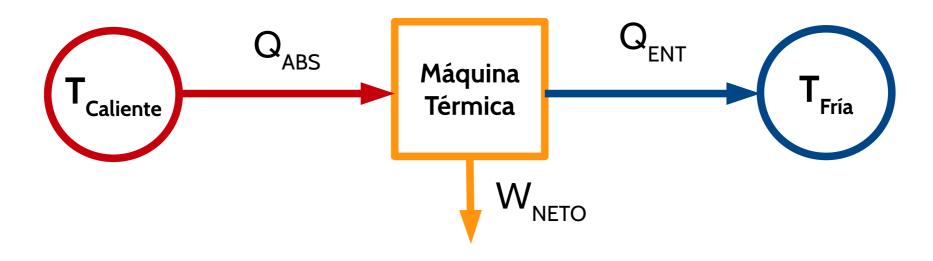
El conjunto (circa 1850)



F3B 2O21 26/39

Máquinas térmicas

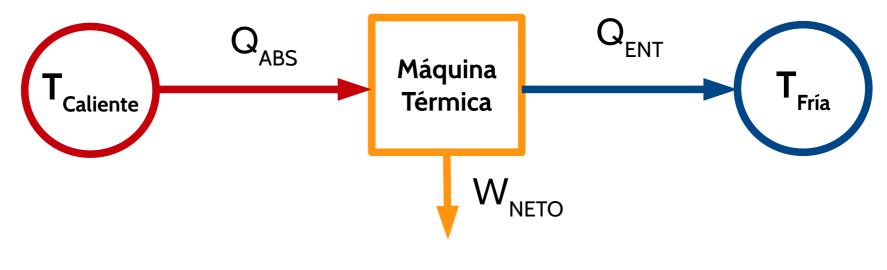
 Máquina térmica: obtengo trabajo mecánico a partir de la transferencia de calor de la fuente caliente a la fuente fría...



F3B 2O21 27/39

Muerte térmica

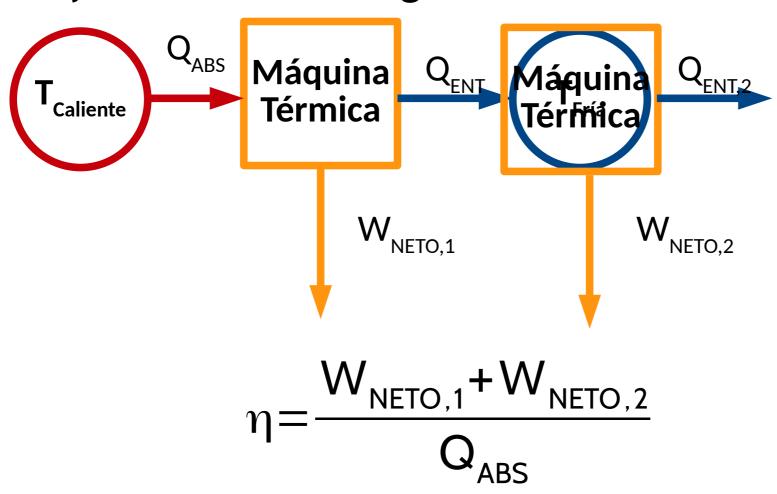
- Fuente caliente: cede calor, se enfría
- Fuente fría: absorbe calor, se calienta
- La máquina térmica "aprovecha" ese flujo para liberar energía en forma de trabajo mecánico "útil"
- Cuando T_c = T_f → no hay flujo de calor → muerte térmica



F3B 2O21 28/39

Ciclo combinado

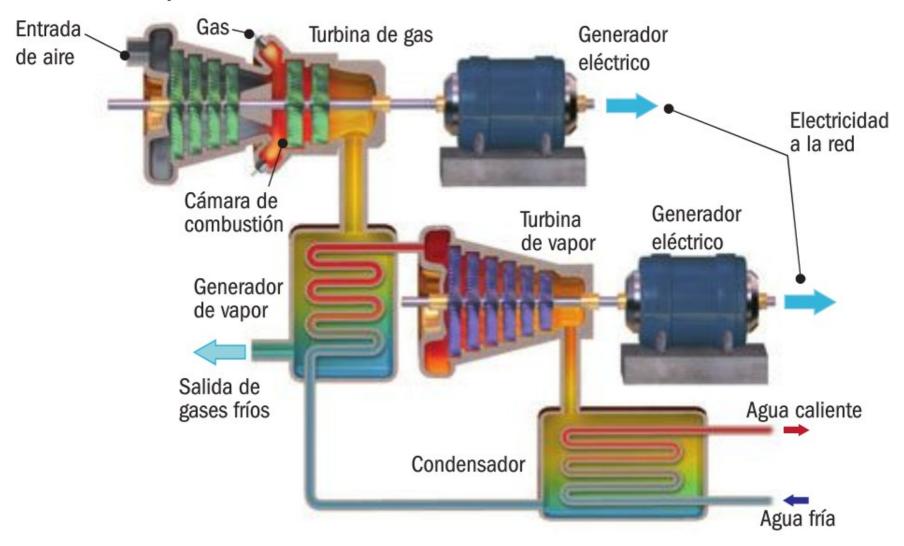
Mejora de la eficiencia global



F3B 2O21 29/39

Ciclo combinado real

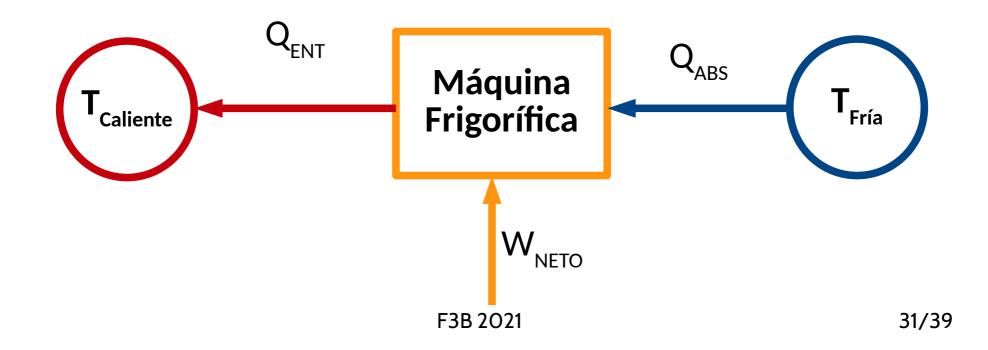
Esquema de una central térmica de ciclo combinado



F3B 2O21 30/39

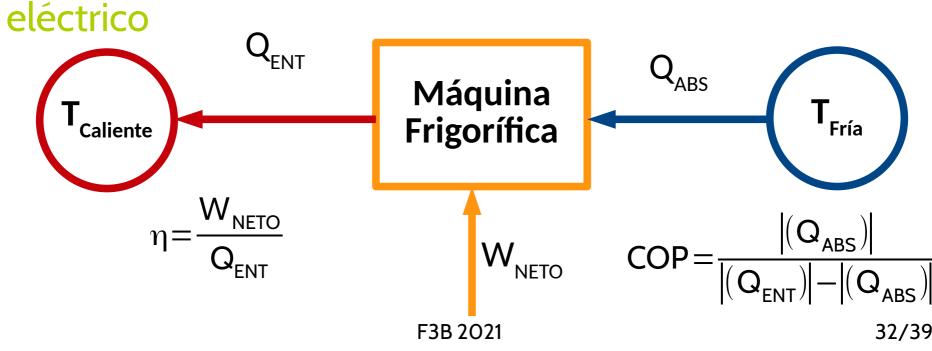
Ciclo inverso → Máquina frigorifica

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

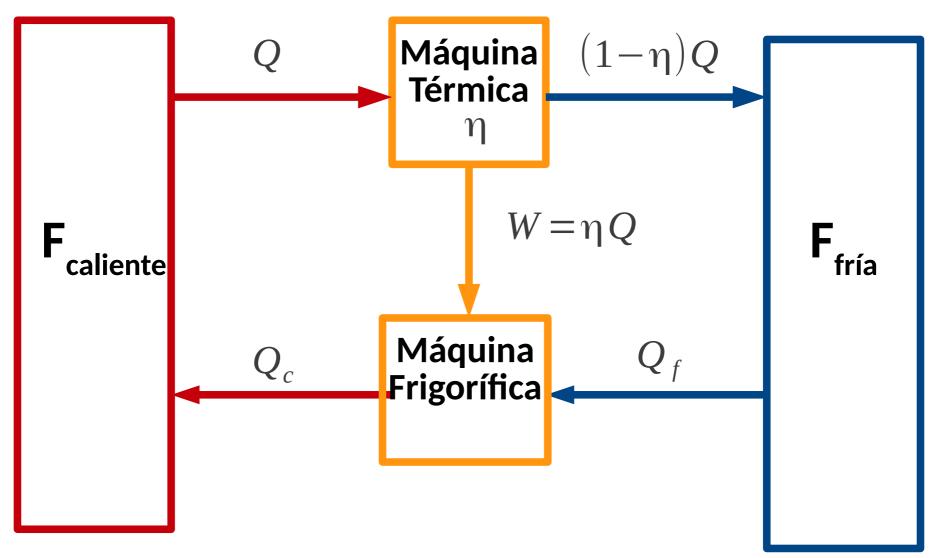


Ciclo inverso → Maguina frigorifica

- 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



Máquina reversible e irreversible



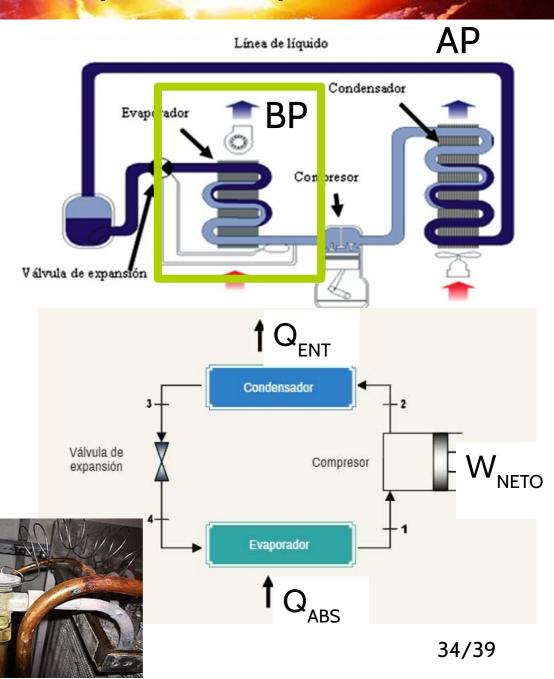
Si la máquina térmica no es reversible, Q < Q

F3B 2O21 33/39

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 → 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>O)
- Nos preparamos, respiramos hondo, y vamos...

F3B 2O21 35/39

Primero verifiquemos que a lo largo del ciclo ∆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:

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

$$W_2 = -W_4$$

F3B 2O21 36/39

¿cual es la relación entre volúmenes en las adiabáticas?

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

$$T_{B}V_{B}^{\gamma-1} = T_{C}V_{C}^{\gamma-1}$$
 y $T_{A}V_{A}^{\gamma-1} = T_{D}V_{D}^{\gamma-1}$

$$\frac{T_{B}V_{B}^{\gamma-1}}{T_{A}V_{A}^{\gamma-1}} = \frac{T_{C}V_{C}^{\gamma-1}}{T_{D}V_{D}^{\gamma-1}}$$

$$\left(\frac{T_{B}}{T_{A}}\right)\left(\frac{V_{B}}{V_{A}}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{T_{C}}{T_{D}}\right)\left(\frac{V_{C}}{V_{D}}\right)^{\gamma-1}$$

$$\left(\frac{V_{B}}{V_{A}}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{V_{C}}{V_{D}}\right)^{\gamma-1}$$

$$\frac{V_{B}}{V_{A}} = \frac{V_{C}}{V_{D}}$$

F3B 2O21 37/39

Trabajo neto

$$\begin{split} W = & \sum W_i = W_1 + W_2 + W_3 + W_4, y \text{ dado que } W_2 = -W_4 \Rightarrow W = W_1 + W_3 \\ & W_1 = nRT_A ln \left(\frac{V_B}{V_A} \right) \quad y \quad W_3 = nRT_C ln \left(\frac{V_D}{V_C} \right) \\ & W = nRT_A ln \left(\frac{V_B}{V_A} \right) + nRT_C ln \left(\frac{V_D}{V_C} \right) \\ & W = nRT_A ln \left(\frac{V_B}{V_A} \right) - nRT_C ln \left(\frac{V_C}{V_D} \right) \\ & W = nRT_A ln \left(\frac{V_B}{V_A} \right) - nRT_C ln \left(\frac{V_B}{V_A} \right) \\ & W = nR ln \left(\frac{V_B}{V_A} \right) (T_A - T_C) \end{split}$$

F3B 2O21 38/39

Calor entregado al sistema (sólo en transformación 1)

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

Entonces el rendimiento:

$$\eta = \frac{\sum_{i} W_{i}}{\sum_{j} (Q_{j} > 0)}$$

$$\eta_{Carnot} = \frac{nRT_{A} ln \left(\frac{V_{B}}{V_{A}}\right) (T_{A} - T_{C})}{nRT_{A} ln \left(\frac{V_{B}}{V_{A}}\right)}$$

$$\eta_{Carnot} = \frac{T_{A} - T_{C}}{T_{A}} \rightarrow \eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_{A}}{T_{C}} < 1$$

F3B 2O21 39/39