

# Termodinámica - Clase 5

---

Graeme Candlish

Instituto de Física y Astronomía, UV  
*graeme.candlish@ifa.uv.cl*

Conceptos en esta clase

Procesos ciclos

El motor térmico de Carnot

Resumen

## Conceptos en esta clase

- Motores y refrigeradores
- Eficiencia de los motores
- Motor de Carnot
- Motor de Otto

Conceptos en esta clase

Procesos ciclos

El motor térmico de Carnot

Resumen

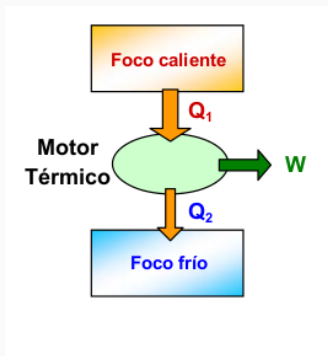
## Definición: Proceso cíclico reversible

El sistema vuelve a su estado de equilibrio inicial después de completar un proceso reversible. Durante el ciclo las variables termodinámicas cambian sus valores y generalmente hay intercambios de energía y calor con el entorno. Al final del ciclo tanto el sistema como el entorno están en sus estados iniciales.

## Definición: fuente calorífica

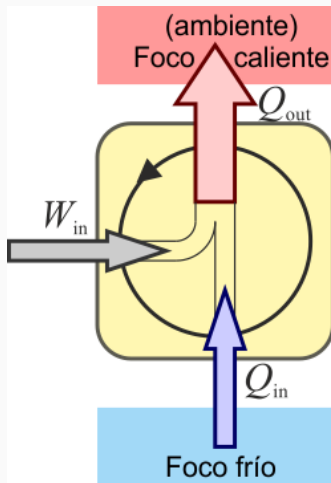
Una fuente calorífica (o un foco calorífico o un reservorio calorífico) es un cuerpo a cierta temperatura  $T$ , cuyo capacidad calorífica es infinita. Es decir, no importa cuanto calor fluye hacia/desde el cuerpo, su temperatura nunca cambia.

# Máquina térmica (motor térmico) generalizado



Ojo: un motor generalmente opera entre un cuerpo caliente y un cuerpo frío. No son necesariamente **fuentes caloríficas** según nuestra definición.

## Máquina frigorífica: motor térmico al revés





## Eficiencia de un motor térmico

Primera ley:

$$\Delta U = W + Q = 0 \quad (\text{proceso cíclico}) \quad \Rightarrow \quad W = Q_1 - Q_2 \quad (1)$$

La eficiencia de la máquina se define como

$$\eta = W/Q_1 = 1 - Q_2/Q_1 \quad (2)$$

## Coeficiente de rendimiento de una máquina frigorífica

$$\eta_R = Q_2/W = Q_2/(Q_1 - Q_2) \quad (3)$$

Conceptos en esta clase

Procesos ciclos

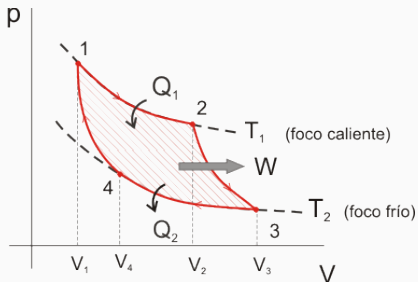
El motor térmico de Carnot

Resumen

# Ciclo de Carnot

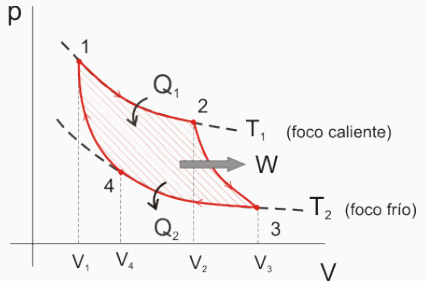


Nicolas Léonard Sadi Carnot 1796-1832, físico francés



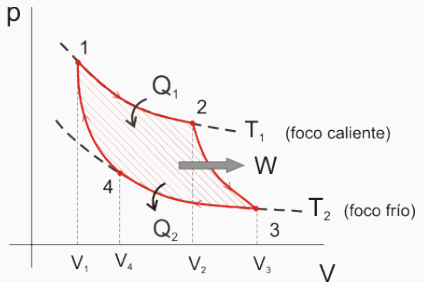
# Ciclo de Carnot

1. Expansión isotérmica
2. Expansión adiabática
3. Compresión isotérmica
4. Compresión adiabática



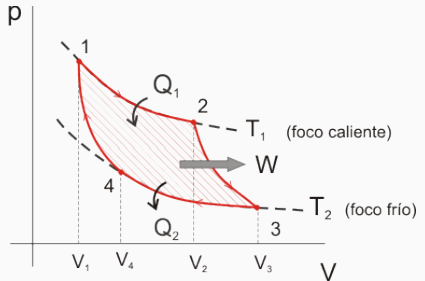
# Máquina (motor) de Carnot

- Un motor de Carnot ocupa el ciclo de Carnot para hacer trabajo.
- El sistema consiste de cualquier fluido (la **sustancia de trabajo**).
- En el entorno hay dos fuentes caloríficas a temperaturas  $T_2 < T_1$ .
- Hay un mecanismo para suministrar/extraer trabajo mecánico al/del sistema (pistones etc.)



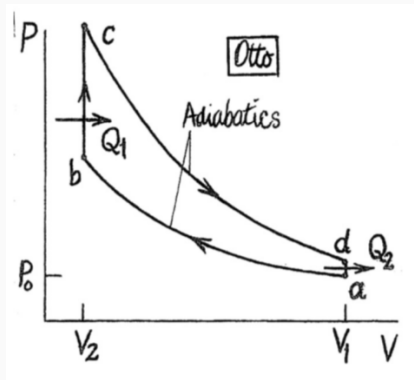
# Máquina (motor) de Carnot

$$\frac{|Q_2|}{|Q_1|} = \frac{T_2}{T_1} \quad \eta = 1 - T_2/T_1$$



# Máquina (motor) de Otto

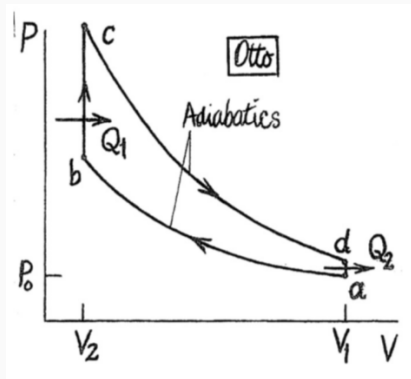
- Versión simplificada de un motor de dos tiempos.
- Simplificaciones:
  - Un gas ideal como sustancia de trabajo (no una mezcla de aire y gasolina).
  - No hay reacciones químicas.
  - Fuente de calor externa (no interna al motor)





# Máquina (motor) de Otto

1. Compresión adiabática reversible.
2. Combustión: absorción de calor a volumen constante (proceso isocórico).
3. Expansión adiabática reversible.
4. Rechazo de calor al entorno a volumen constante.



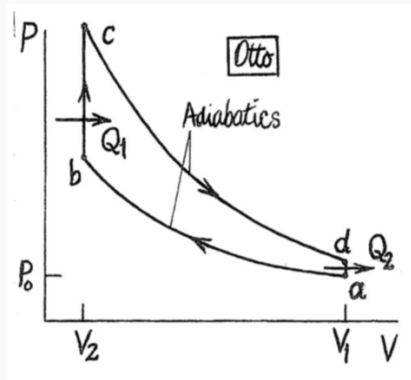
# Máquina (motor) de Otto

Eficiencia:

$$\eta = 1 - \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} = 1 - \frac{1}{r_c^{\gamma-1}}$$

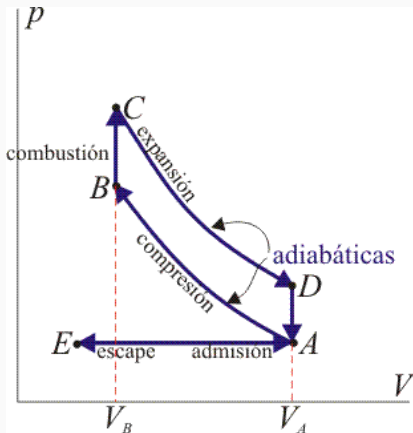
donde  $r_c = V_1/V_2$  (índice de compresión) y  $\gamma = C_P/C_V$  (índice adiabático).

- $\eta$  depende de la sustancia de trabajo (a través de  $\gamma$ ) si lo escribimos en términos de  $V$  en vez de  $T$ .

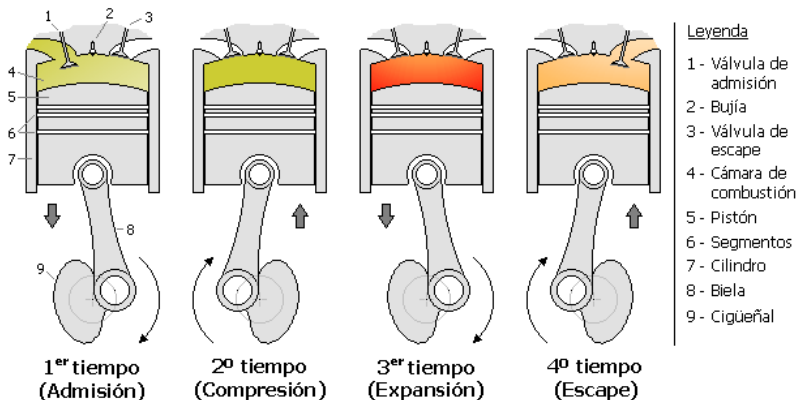


## Motor (casi) real

- Podemos considerar el ciclo de Otto con 4 tiempos:
  - Procesos de “escape” y “admisión” entre  $d \rightarrow a$  y  $a \rightarrow b$ .
  - Los motores reales tienen una eficiencia menor que la del motor de Otto (típicamente 25 – 50%).



# Motor real (4 tiempos)



# Comparación entre el ciclo de Carnot y de Otto

Carnot:

- 2 procesos **isotérmicos** y **reversibles**.
- Procesos isotérmicos en la realidad son muy lentos.
- El motor de Carnot no es un diseño práctico.

Otto:

- 2 procesos **isocóricos** e **irreversibles**.
- Estos son procesos muy rápidos.
- El motor de Otto es una idealización de los motores reales.

Potencia de un motor = trabajo por ciclo  $\times$  ciclos por segundo

$\Rightarrow$  el rendimiento del motor de Otto es mucho mayor que el de Carnot, pero la eficiencia es mucho menor.

Conceptos en esta clase

Procesos ciclos

El motor térmico de Carnot

Resumen

- Un **motor térmico** (o máquina térmica) extrae calor de un foco caliente, hace trabajo y rechaza calor a un foco frío.
- En una **máquina frigorífica** el entorno hace trabajo en el sistema para extraer calor de un foco frío y rechazar calor al foco caliente (el medioambiente).
- Eficiencia de un motor térmico:  $\eta = W/Q_1$ , coeficiente de rendimiento de una máquina frigorífica:  $\eta_R = Q_2/W$ .
- El ciclo de Carnot es un motor idealizado de 4 procesos reversibles (expansión isotérmica, expansión adiabática, compresión isotérmica, compresión adiabática).
- El ciclo de Otto es una idealización de los motores reales con 2 procesos reversibles y 2 irreversibles.