

# Ciclos Termodinámicos

M del Carmen Maldonado Susano

# Objetivo

El alumno conocerá los ciclos termodinámicos fundamentales empleados en la transformación de la energía.

# Contenido

- ▶ 4.1 Ciclos de generación de potencia mecánica. Ciclos de Brayton, de Diesel y de Otto.
- ▶ 4.2 Ciclo de Rankine.
- ▶ 4.3 Ciclo de refrigeración por la compresión de un vapor.

## 4.1.0 Ciclos de generación de potencia mecánica

# Ciclos de generación de potencia mecánica

- ▶ Los ciclos de potencia de gas o dispositivos cíclicos generadores de potencia son de gran importancia en el estudio de la termodinámica ya que varios sistemas y máquinas se basan en su funcionamiento.

# Ciclos de generación de potencia mecánica

- ▶ Los modernos motores automotrices, camiones, barcos, turbinas de gas son ejemplo de aplicaciones extremadamente útiles de estos procesos.

# Ciclos de generación de potencia mecánica

- ▶ Los motores endotérmicos son máquinas motrices cíclicas en las que la energía interna que posee un fluido (vapor, gas) se transforma parcialmente en energía mecánica.
- ▶ Este fluido es el medio al que se le proporciona o sustrae en adecuados puntos del ciclo

## 4.1.1 Ciclo de Brayton

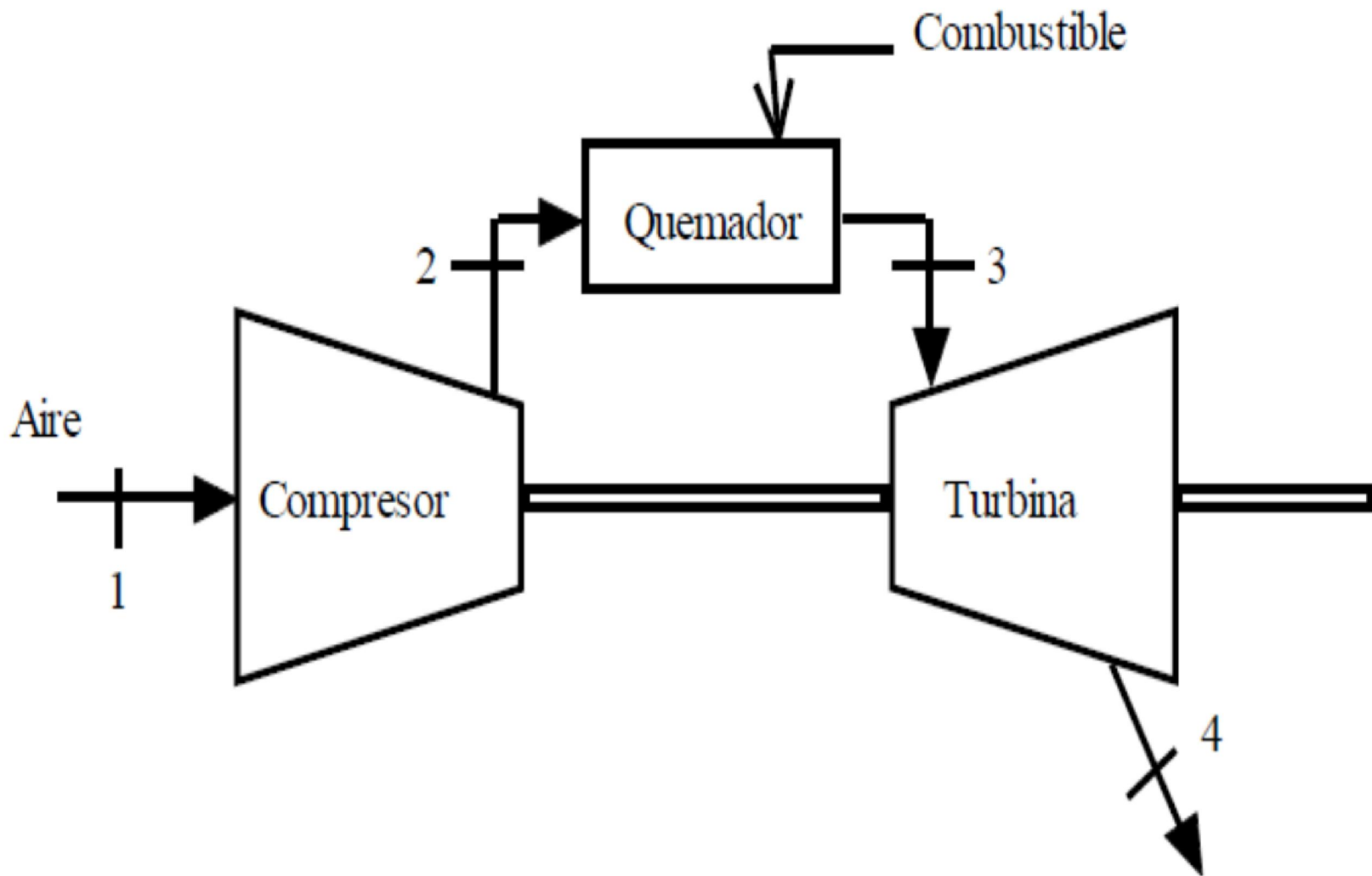


# Ciclo de Brayton

- ▶ Este ciclo se considera el básico en el análisis de turbinas.
- ▶ Es un ciclo abierto ya que debe introducirse aire continuamente.

# Ciclo de Brayton

- ▶ El aire se comprime en forma adiabática en un compresor rotatorio axial o centrífugo.



# Ciclo de Brayton

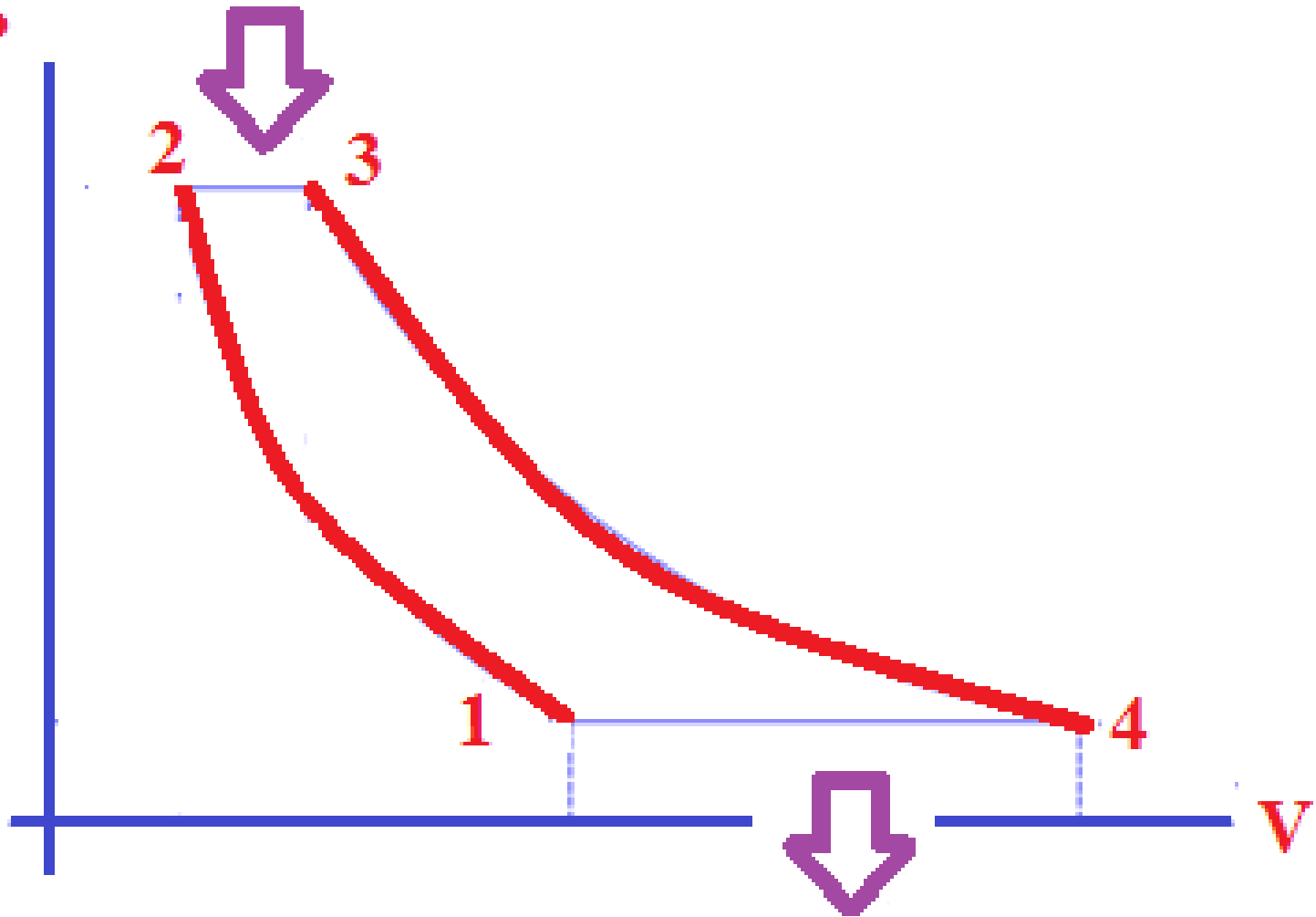
- ▶ El aire entra a una cámara de combustión donde se inyecta y quema combustible a presión constante.
- ▶ Luego se expanden en una turbina hasta que alcanza la presión ambiente de los alrededores.

# Proceso de Brayton

- 1 - 2 Compresión adiabática, el sistema recibe trabajo, se hace trabajo sobre el sistema
- 2 - 3 Proceso a presión constante en el cual se le suministra calor al sistema
- 3 - 4 Expansión adiabática en la cual el sistema entrega trabajo
- 4 - 1 Sistema cede calor al medio ambiente a presión constante.

**Q suministrado**

**P**



**Q rechazado**

# Eficiencia térmica de Brayton

- ▶ La eficiencia térmica del ciclo de Brayton depende principalmente de la relación de presiones, la temperatura de admisión a la turbina y las pérdidas parásitas

$$\eta = 1 - \frac{(T_4 - T_1)}{(T_3 - T_2)}$$

# Ciclo de Brayton

$$\eta = 1 - \frac{1}{r_p^{(k-1)/k}}$$

$$r_p = \frac{P_3}{P_4} = \frac{P_2}{P_1}$$

$$k = \frac{c_p}{c_v}$$

$r$ : relación de compresión

$r_p$ : relación de presiones



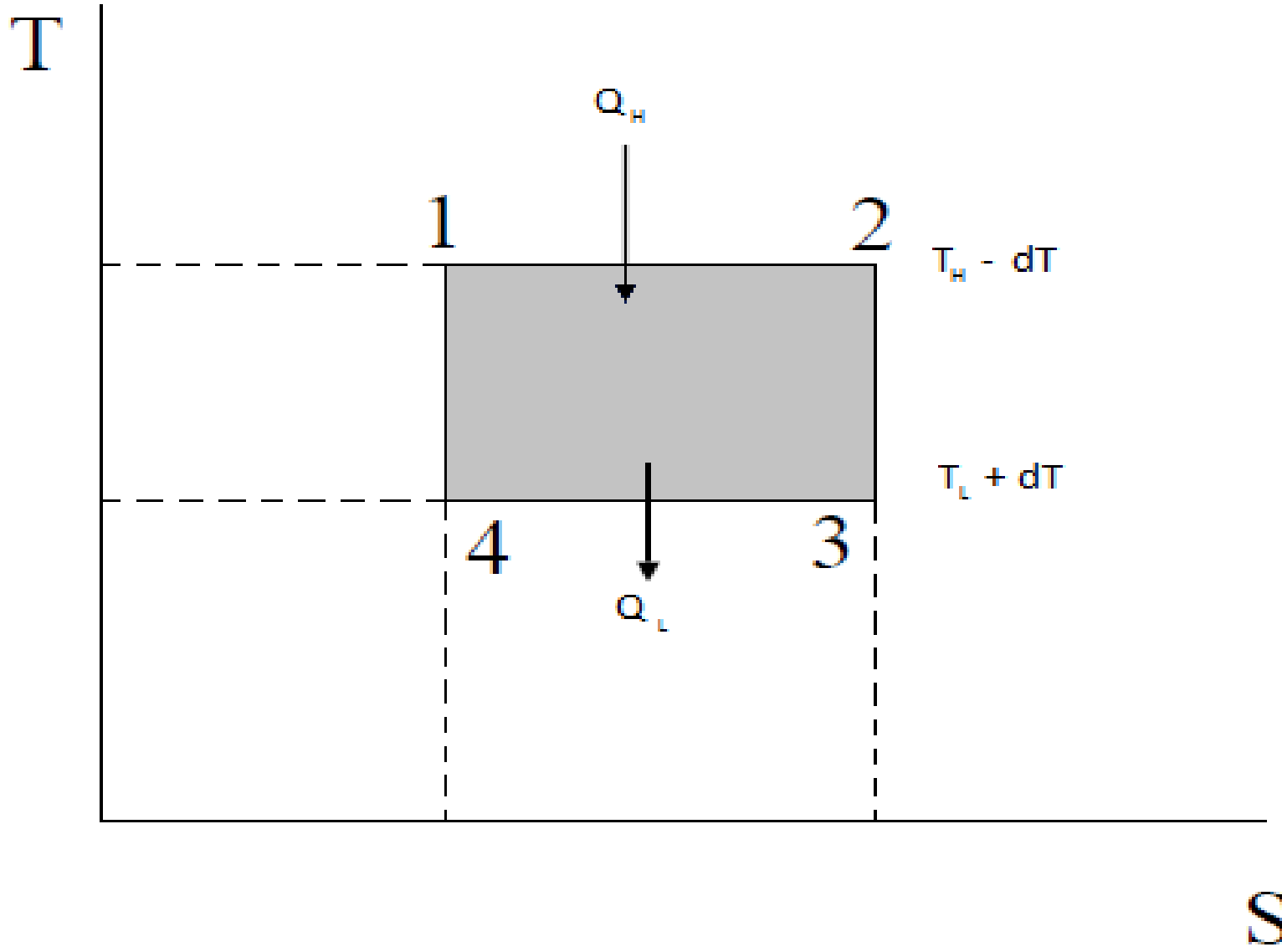
## 4.1.2 Ciclo de Rankine

# Ciclo de Rankine

- ▶ Este ciclo se usa en las centrales eléctricas de vapor.
- ▶ Utiliza vapor de agua como medio de trabajo.

# Ciclo de Rankine

- ▶ El estado de agua saturado húmedo, estado 1, se comprime isoentrópicamente (entropía es constante) hasta un líquido saturado, punto 2.

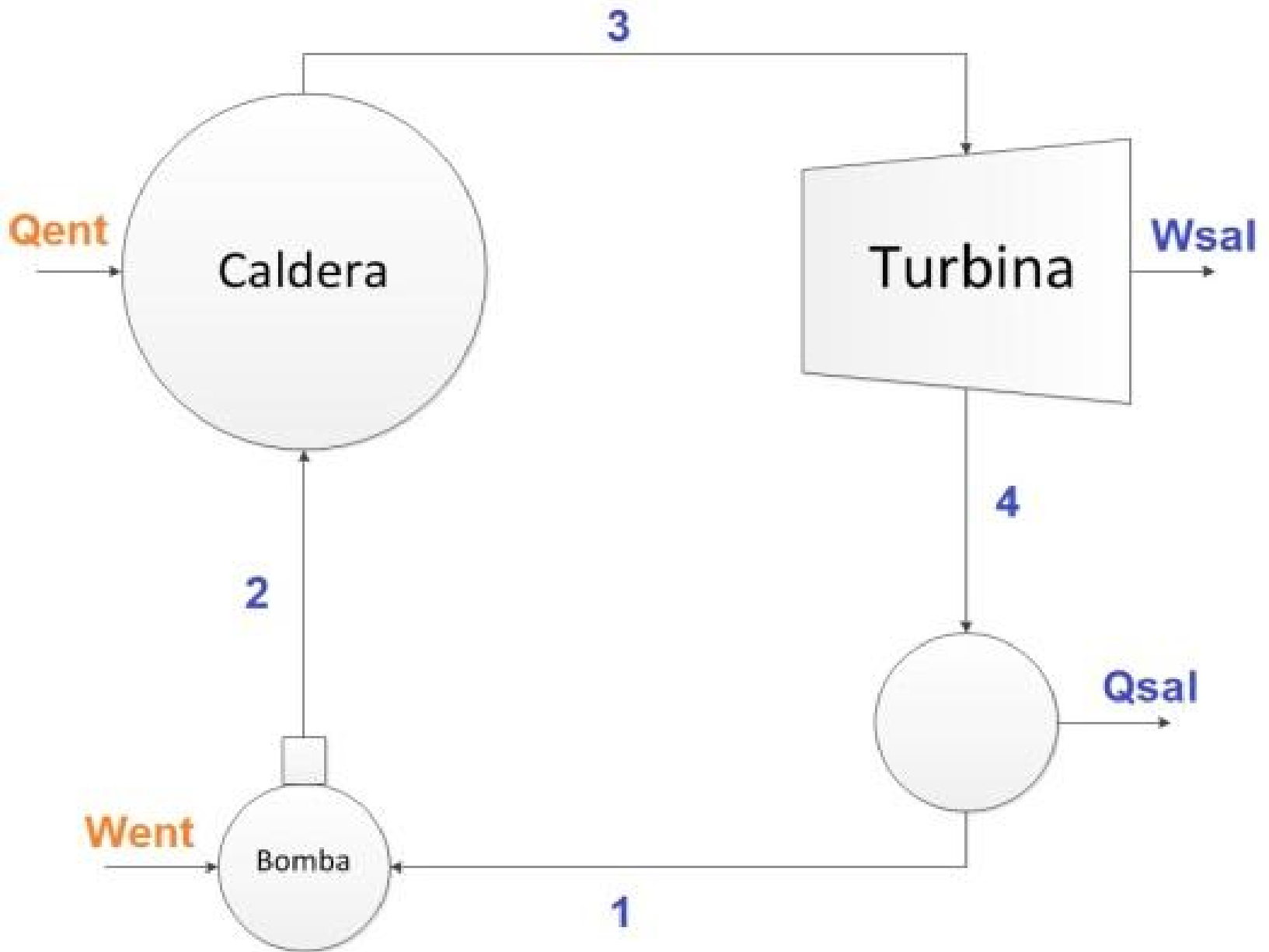


# Ciclo de Rankine

- ▶ A este estado de alta presión se agrega calor a presión constante hasta que el agua se evapora por completo y pasa a ser vapor saturado -punto 3-.

# Ciclo de Rankine

- ▶ De aquí se deja expandir isoentrópicamente a través de una turbina hasta el punto 4.
- ▶ El Vapor parcialmente húmedo se condensa a temperatura constante hasta el punto 1.



# Proceso de Rankine

---

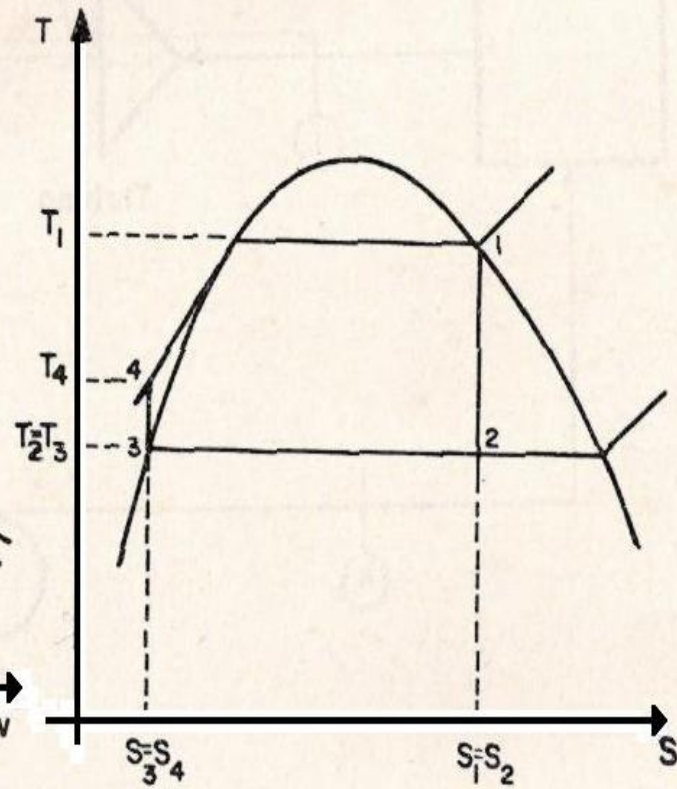
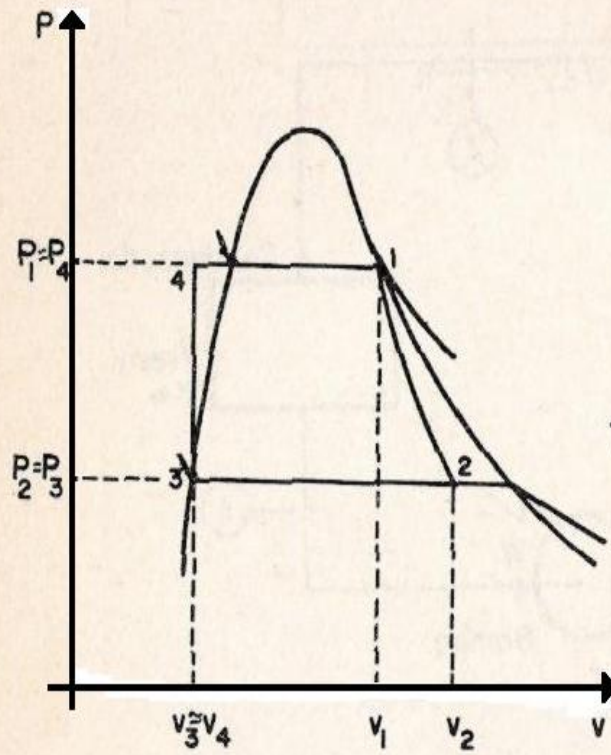
1 a 2 Expansión adiabática en la turbina.

2 a 3 Cambio de fase a presión y temperatura constantes en el condensador.

3 a 4 Aumento de presión en la bomba, volumen constante

4 a 1 Transmisión de calor a presión constante en la caldera





# Eficiencia térmica

- ▶ La eficiencia térmica ideal del ciclo Rankine puede escribirse como:

$$\eta = \frac{W_{turbina} - W_{bomba}}{q_{caldera}}$$

# Eficiencia térmica

- ▶ La eficiencia térmica ideal del ciclo Rankine puede escribirse como:

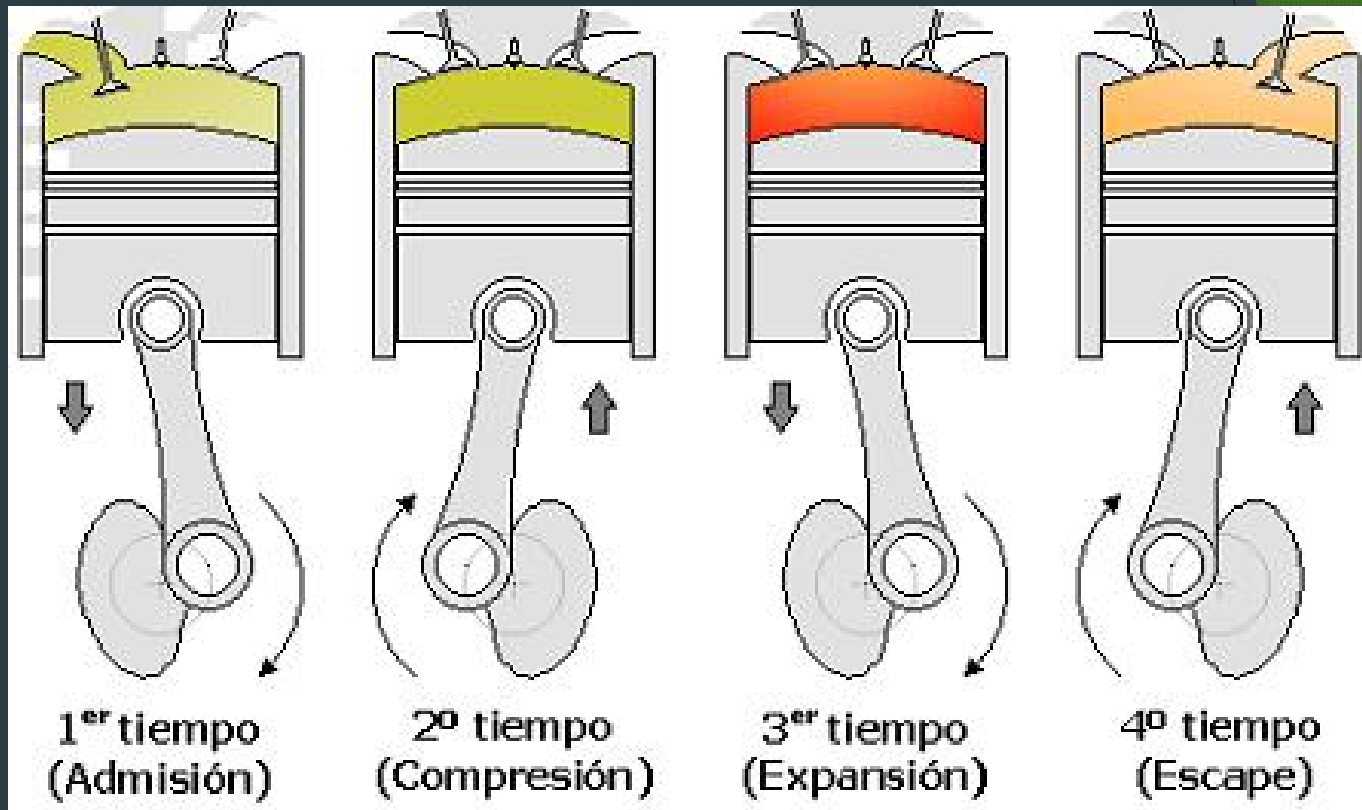
$$\eta = \frac{W_{neto}}{q_{suministrado}}$$

## 4.1.3 Ciclo de Otto

# Ciclo de Otto

- ▶ Se define como un ciclo teórico de interés en el análisis de una máquina reciprocante.
- ▶ Está integrado por cuatro procesos reversibles, acompañados de un proceso de admisión y uno de descarga.

# Ciclo de Otto



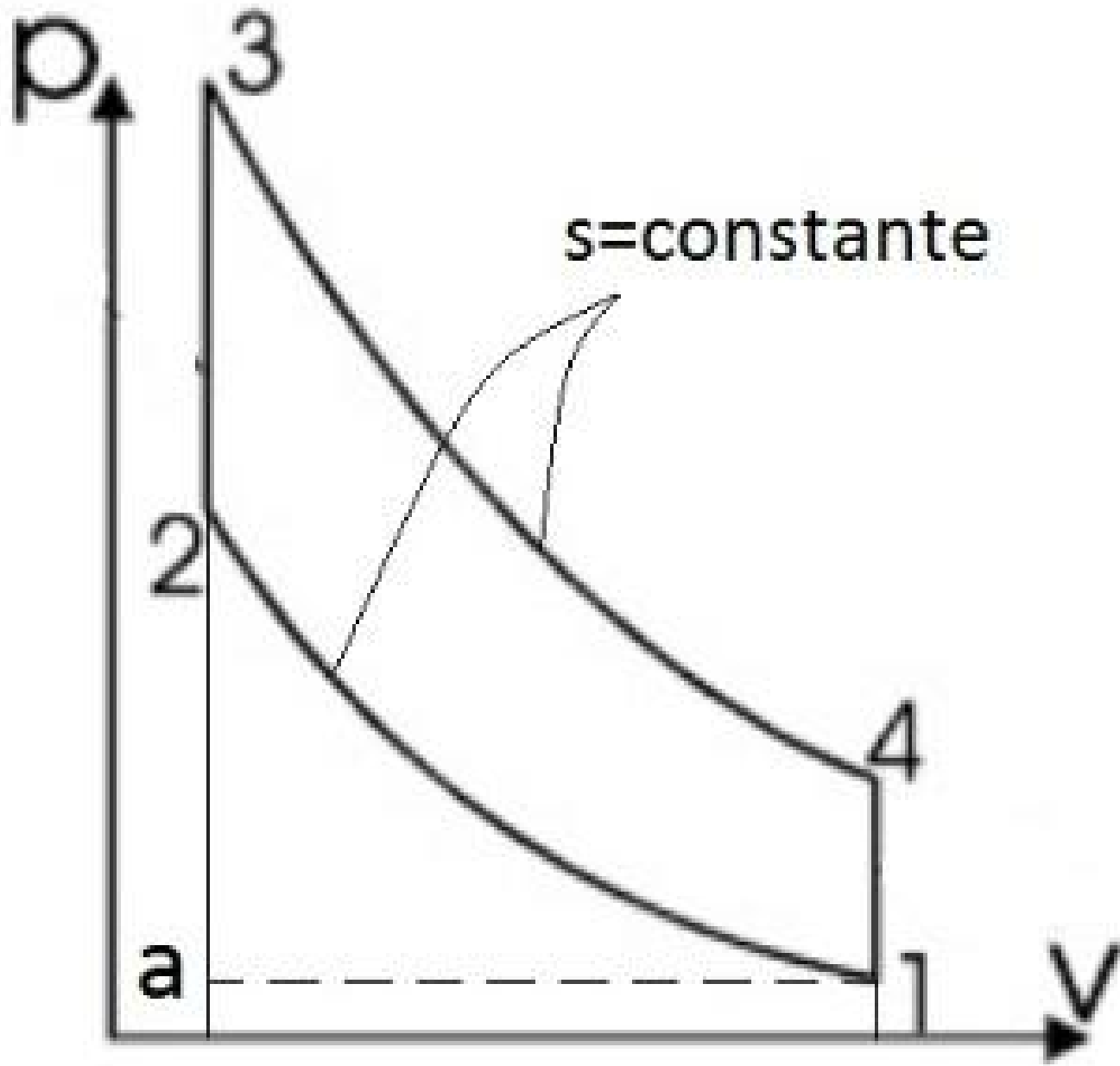
# Ciclo de Otto

1 → 2 Compresión adiabática.

2 → 3 Suministro de calor a volumen constante

3 → 4 Expansión adiabática

4 → 1 Rechazo de calor a volumen constante





# Eficiencia térmica de Otto

- ▶ La eficiencia térmica ideal del ciclo Otto puede escribirse como:

$$\eta = \frac{W_{neto}}{Q_{sum}}$$

$$\eta = 1 - \frac{1}{r^{k-1}}$$

$$k = \frac{c_p}{c_v}$$

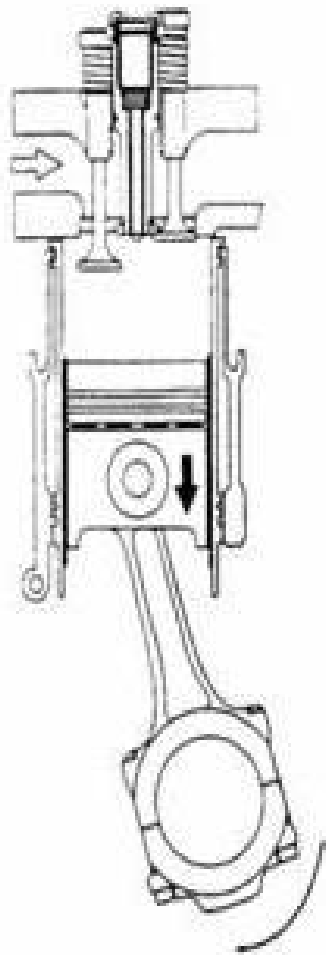
## 4.1.4 Ciclo de Diesel

# Ciclo Diesel

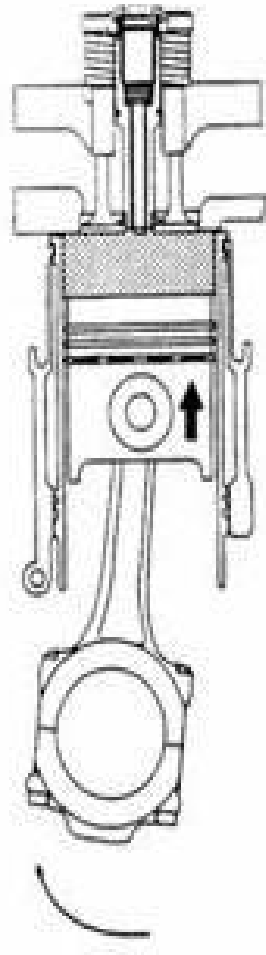
- ▶ En el motor Diesel se suministra aire en lugar de la mezcla aire-combustible.
- ▶ El motor Diesel no usa bujías, incendiándose el combustible por la elevación de temperatura ocasionada por una alta compresión.

# Ciclo Diesel

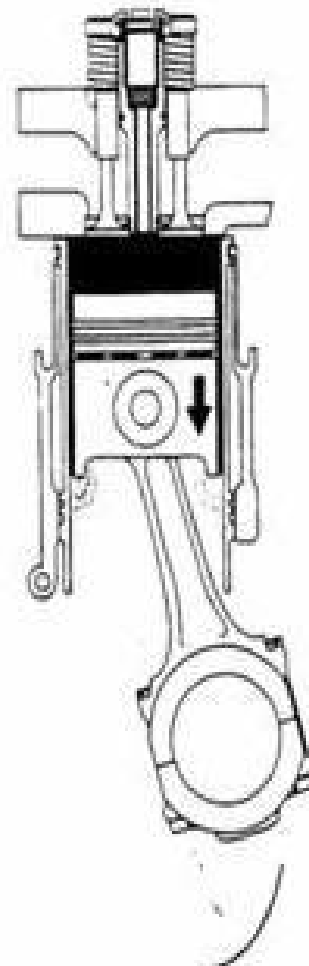
- ▶ El suministro de calor se efectúa a presión constante.
- ▶ Al igual que en el ciclo de Otto, las carreras de admisión y escape (barrido de los gases producto de la combustión) son eventos mecánicos y no procesos termodinámicos, ya que el gas en la cámara de combustión no sufre alteraciones e sus propiedades termodinámicas.



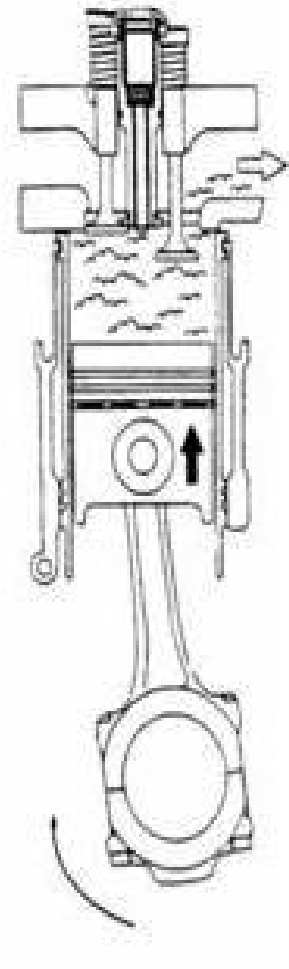
Admisión



Compresión



Combustión



Escape

# Ciclo de Diesel

- ▶ **(0-1)** *Carrera de aspiración.* Se abre la válvula de aspiración y permite la entrada de aire dentro del cilindro.
- ▶ **(1-2)** *Compresión adiabática (entropía constante)* se proporciona trabajo al sistema. Se cierra la válvula de aspiración, y comprime el aire contenido dentro del cilindro.

# Ciclo de Diesel

- ▶ (2-3) Transmisión de calor al sistema a presión constante (en este proceso varía el volumen del sistema, ya que se inyecta el combustible).

# Ciclo de Diesel

1 → 2 Compresión adiabática.

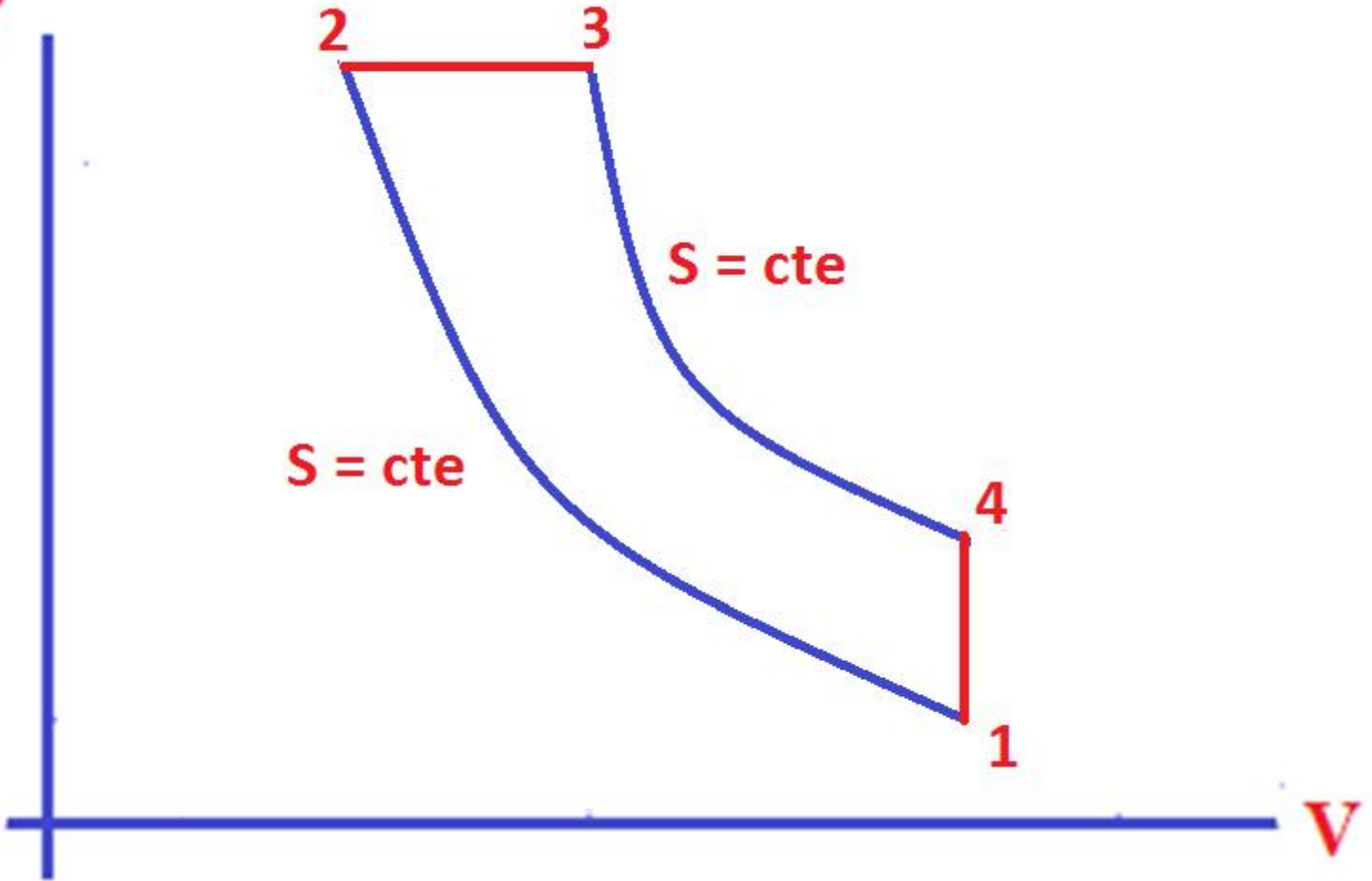
2 → 3 Suministro de calor a presión constante

3 → 4 Expansión adiabática

4 → 1 Rechazo de calor a volumen constante



**P**



**2**

**3**

$S = \text{cte}$

$S = \text{cte}$

**4**

**1**

**V**

# Eficiencia térmica Diesel

- ▶ La eficiencia térmica ideal del ciclo Diesel puede escribirse como:

$$k = \frac{c_p}{c_v}$$

$$\eta = 1 - \frac{(T_4 - T_1)}{k (T_3 - T_2)}$$