

# ura: Ingeniería Térmica

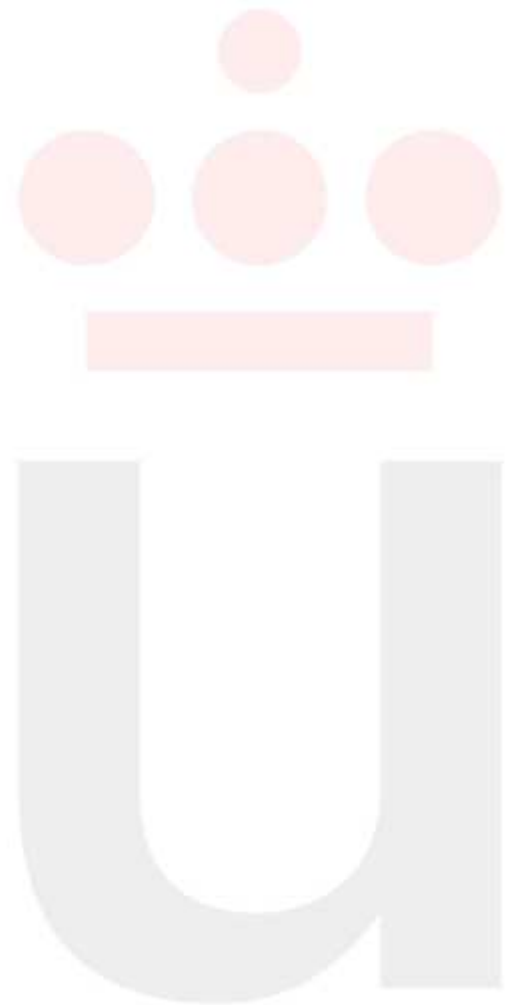
## o I: Termotecnia

### o. Máquinas Térmicas II

es Rotativos

es de Potencia (Turbina) de Gas: Ciclo Brayton

es de Potencia (Turbina) de Vapor: Ciclo Rankine



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
--  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Ciclos de gas y vapor

## Térmicos

Combustión Interna: en éstos, la combustión se realiza en el propio fluido motor, en una cámara del motor, y son los propios gases de la combustión los que, al expandirse, producen los movimientos de las piezas del motor.

*tipo de movimiento producido:*

de pistones: el fluido motor actúa sobre pistones que se desplazan subiendo y bajando en unos cilindros.

de turbinas: el fluido motor actúa sobre pistones rotantes o sobre álabes de turbinas.

de cohetes: el fluido motor produce el empuje por el principio de acción y reacción.

Química  
Tecnología

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
--  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

## Ciclos de gas y vapor

### de Gas

#### Características generales

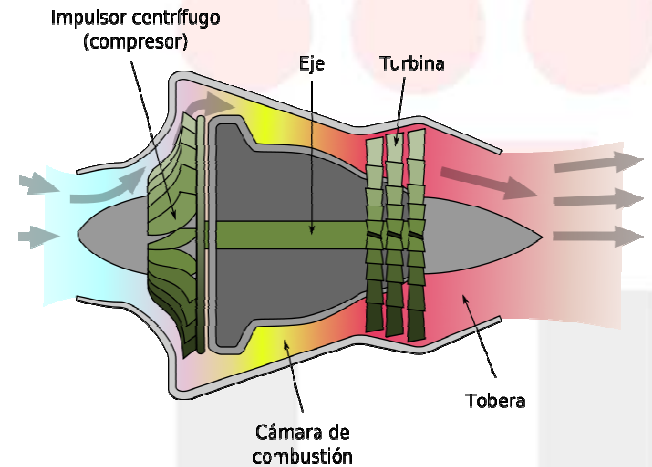
Alta potencia que produce gran cantidad de energía con poco combustible.

Admite una gran variedad de combustibles: gas natural, diesel, gasóleo, gasóleo vaporizados y gases de biomasa.

Desde los años 50 su uso se ha multiplicado como consecuencia de: el desarrollo de nuevos materiales y el proceso de refrigeración. El aumento de las temperaturas y de las relaciones de compresión han permitido aumentar el rendimiento (15 → 45 %).

Sus principales aplicaciones son:

- Propulsión (aérea, marítima y terrestre): los gases de escape de alta velocidad proporcionan impulso a las naves.
- Generación de energía eléctrica: funcionan de manera independiente o en conjunto con las centrales eléctricas de gas.
- Recuperación de calor: los gases de escape de las turbinas de gas sirven como fuente de calor para el vapor.

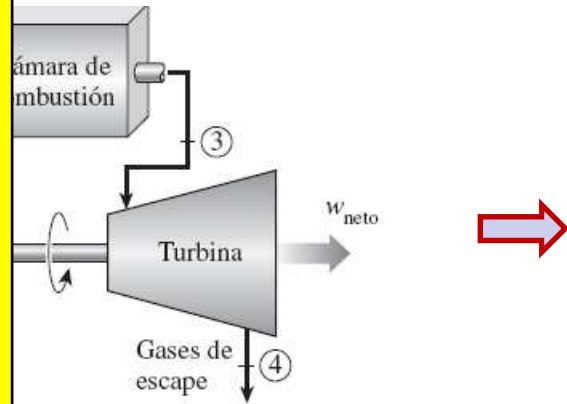


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ---  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

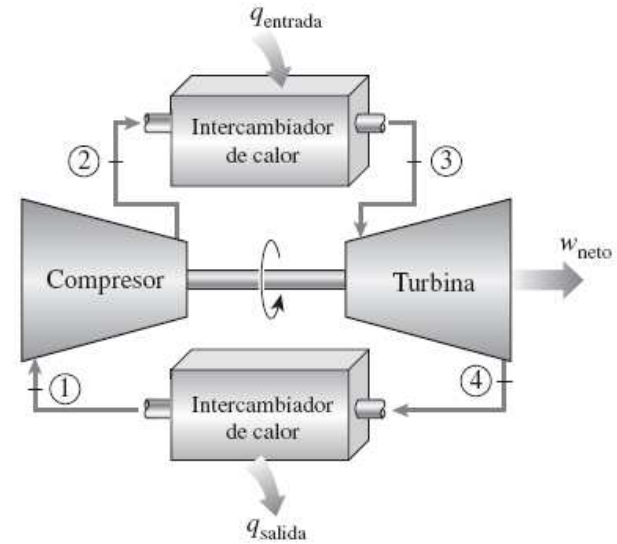
## Ciclos de gas y vapor

ayton: Ideal para motores de turbina de gas

na de gas de ciclo abierto



Motor de turbina de gas de ciclo cerrado



### Suposiciones de aire estándar

- Fluido: aire como gas ideal
- La combustión se trata como una absorción calorífica.
- No hay admisión ni escape.
- No hay irreversibilidades.

del ciclo Brayton se ejecutan en dispositivos  
io, por lo tanto deben analizarse como  
estacionario, utilizando las consideraciones de

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

## Ciclos de gas y vapor

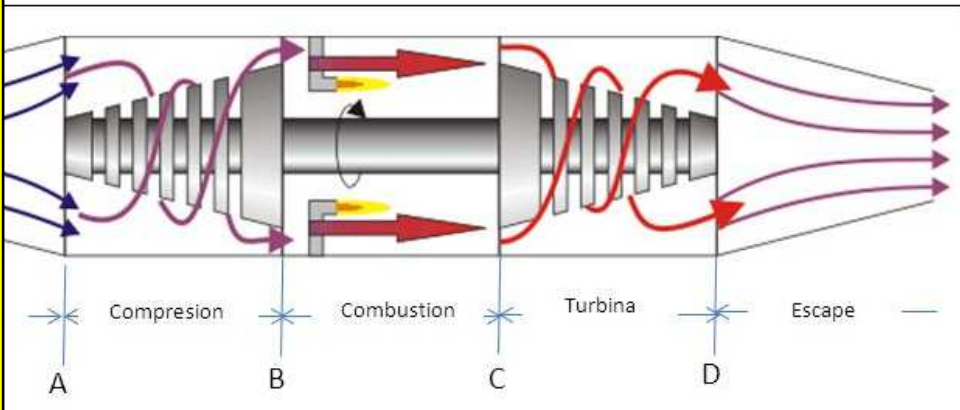
ayton: Ideal para motores de turbina de gas

CICLO DE BRAYTON:

...rtamiento ideal de una turbina a gas (normalmente aire)

...o de potencia de combustión interna abierto (los gases de salida no se reutilizados en el ingreso, permitiendo el análisis como ciclo cerrado

ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO



mica  
notecnia

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

## Ciclos de gas y vapor

reversibles internamente:

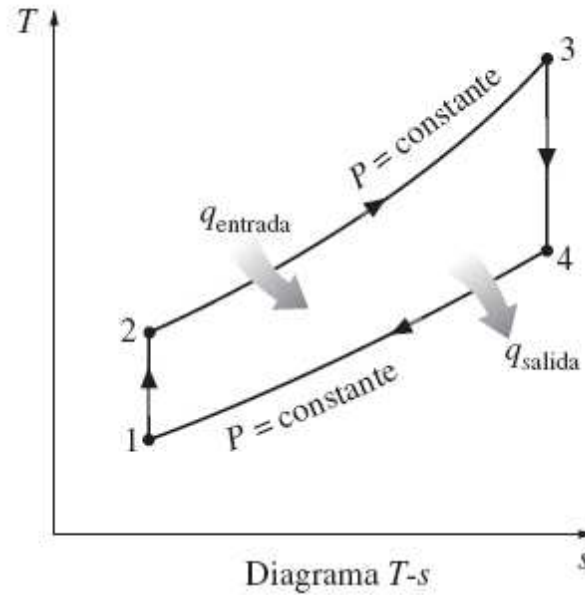
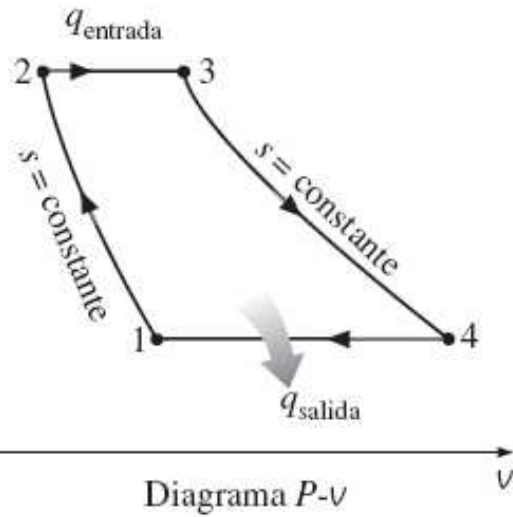
compresión isentrópica (en un compresor)  $w_c = h_2 - h_1 \quad (\neq 0) \text{ (kJ / kg)}$

calor a presión constante  $q_{in} = h_3 - h_2 \quad (> 0) \text{ (kJ / kg)}$

expansión isentrópica (en una turbina)  $w_T = h_4 - h_3 \quad (\neq 0) \text{ (kJ / kg)}$

calor a presión constante  $q_{out} = h_1 - h_4 \quad (< 0) \text{ (kJ / kg)}$

## Ciclo Brayton



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# Ciclos de gas y vapor

ytton

$$\eta_{Brayton} = \frac{W_{net}}{q_{in}} = 1 - \frac{q_{out}}{q_{in}}$$

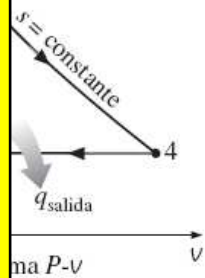
Para un flujo estacionario:

$$(q_{in} - q_{out}) + (w_{in} - w_{out}) = \Delta h$$

$$q_{in} = \Delta h_{2 \rightarrow 3} = C_p \cdot (T_3 - T_2)$$

$$q_{out} = \Delta h_{4 \rightarrow 1} = -C_p \cdot (T_1 - T_4)$$

$$\eta = 1 - \frac{c_p \cdot (T_4 - T_1)}{c_p \cdot (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{T_1}{T_2} \cdot \left( \frac{T_4/T_1 - 1}{T_3/T_2 - 1} \right) \quad (1)$$



2)

$$= T_3 \cdot \left( \frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad (3)$$

$$\Rightarrow T_2 \cdot T_4 = T_1 \cdot \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \cdot T_3 \cdot \left( \frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = T_1 \cdot T_3 \quad \therefore \frac{T_4}{T_1} = \frac{T_3}{T_2} \quad (4)$$

$p_3$

$p_4$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVIÁ WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

## Ciclos de gas y vapor

Brayton

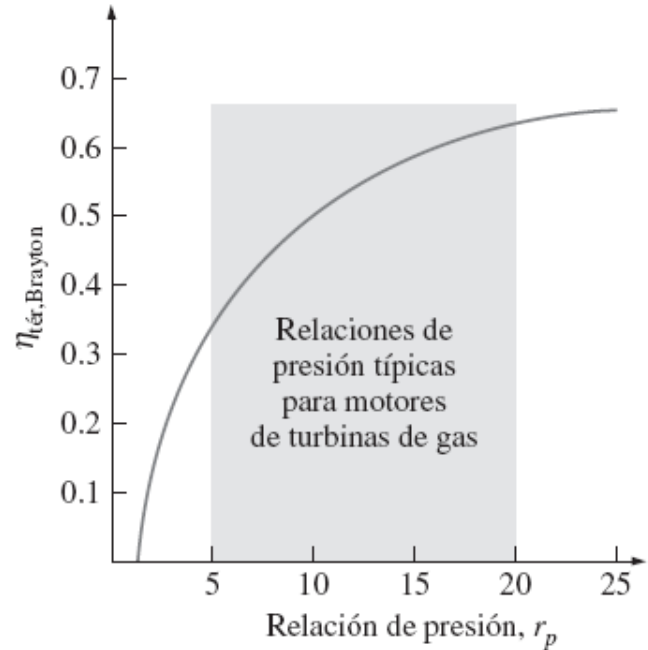
$$\Rightarrow \eta_{Brayton} = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{1}{\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^\gamma}$$

Introduciendo una nueva magnitud  $r_p = \frac{p_2}{p_1}$

*Relación de presión  $r_p$*

$$= 1 - \frac{1}{r_p^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}$$

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V}$$



*Relación de trabajos*

$$RT = \frac{w_C}{(-w_T)} = \frac{h_2 - h_1}{h_3 - h_4}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



## Ciclos de gas y vapor

### Ciclo de Gas

La temperatura máxima en el ciclo está limitada por la temperatura máxima que los materiales pueden resistir, lo cual limita la relación de presiones que se puede usar en el ciclo y por ende, su rendimiento. Para una temperatura máxima fija, el trabajo neto por ciclo aumenta con la relación de presiones hasta un cierto valor a partir del cual, empieza a disminuir.



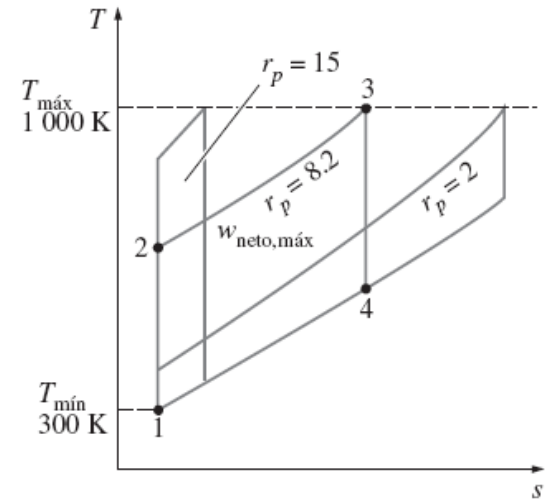
Hay un compromiso entre la relación de presiones (eficiencia térmica) y el trabajo neto. Comúnmente la relación de presiones en turbinas de gas es alta.

**Aplicaciones:**

Se usan en motores combinados de diesel y turbinas de gas. El diesel proporciona de manera eficiente baja potencia y alto torque, mientras que la turbina se emplea cuando se necesitan altas velocidades.

**Características:**

La relación de trabajo de retroceso es muy alta (más de la mitad de la salida de trabajo de la turbina se consume en el compresor). Se requieren turbinas de gas muy grandes para la energía adicional que demanda el ciclo.



**Aplicaciones:**  
**Industria**  
**Automotriz**

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# Ciclos de gas y vapor

## Ciclo de Gas

### *Las turbinas de gas*

*Por las temperaturas de entrada de la turbina ( o de quemado):*

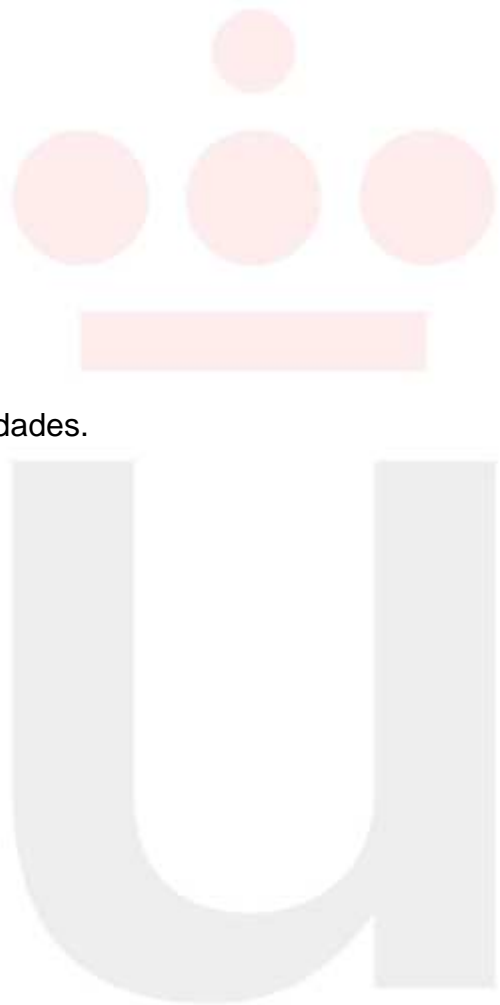
... nuevos materiales, revestimiento de los álabes con materiales cerámicos.

*Por la eficiencia de los componentes de turbomaquinaria.*

... el diseño aerodinámico de turbinas y compresores. Disminuir irreversibilidades.

*Modificaciones al ciclo básico.*

... enfriamiento, regeneración ( o recuperación) y recalentamiento.



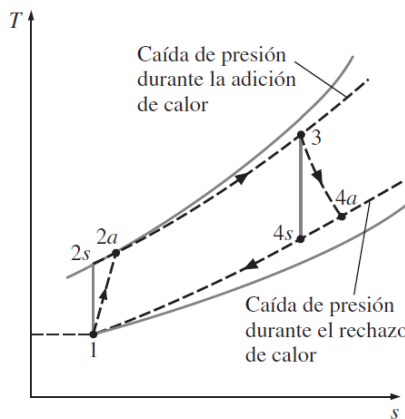
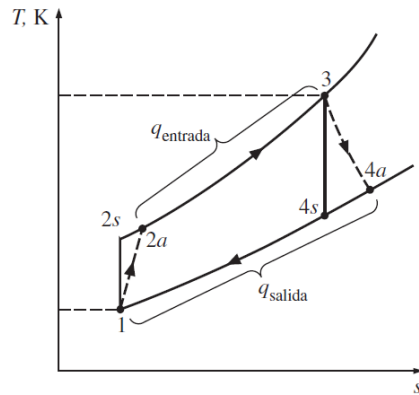
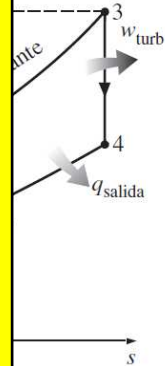
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
-- --  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

## Ciclos de gas y vapor

### Ciclo de Gas

Los ciclos reales de turbina de gas en comparación con los idealizados

#### Trabajo y Pérdidas



- Irreversibilidades en turbina y compresor  
*La entrada de trabajo real al compresor será mayor y la salida de trabajo real de la turbina será menor.*

$$\eta_C = \frac{|w_s|}{|w_a|} \cong \frac{h_{2s} - h_1}{h_{2a} - h_1}$$

$$\eta_T = \frac{|w_a|}{|w_s|} \cong \frac{h_3 - h_{4a}}{h_3 - h_{4s}}$$

- Pérdidas de presión durante la adición y rechazo de calor

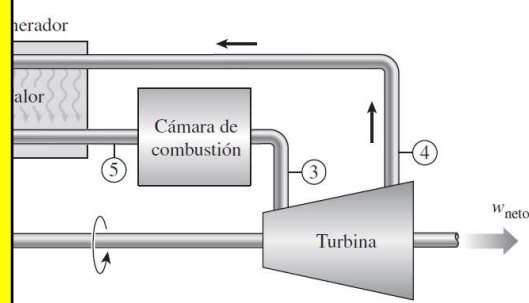
*En los cambiadores de calor se producen pérdidas de presión.*

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVIÁ WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

## Ciclos de gas y vapor

### 1 con regeneración

Requisito:  $T_4 > T_2$      $q_{in} = q_c = h_3 - h_5$



$$q_{regen,real} = h_5 - h_2 \quad q_{regen,max} = h_{5'} - h_2 = h_4 - h_2$$

$$\epsilon_{regen} = \frac{q_{regen,real}}{q_{regen,max}} = \frac{h_5 - h_2}{h_4 - h_2}$$

Eficacia o efectividad

Bajo suposiciones de aire estándar

$$\epsilon_{regen} = \frac{h_5 - h_2}{h_4 - h_2} \Rightarrow \epsilon_{regen} = \frac{T_5 - T_2}{T_4 - T_2}$$

Un regenerador con una eficacia más alta ahorrará combustible al precalentar el aire antes de la combustión.

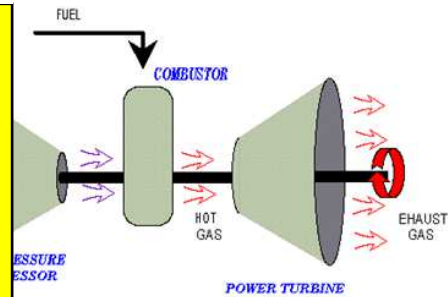
$$\eta_{regen} = 1 - \frac{T_1}{T_3} \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^\gamma = 1 - \frac{T_1}{T_3} (r_p)^\gamma$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

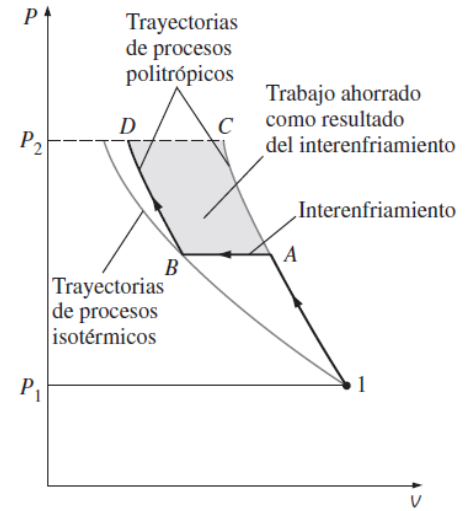
## Ciclos de gas y vapor

### con interenfriamiento, recalentamiento y regeneración

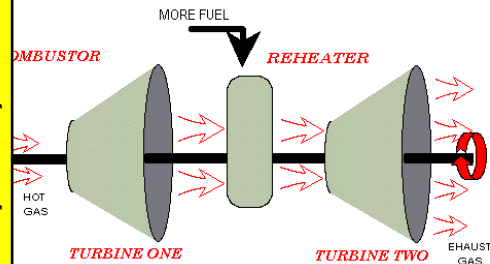
Para comprimir un gas entre dos presiones específicas disminuye si se realiza en múltiples etapas enfriando el gas entre éstas.



Si el número de etapas  $N \rightarrow \infty$  el proceso de compresión  $\rightarrow$  isotérmico.



El trabajo entregado por una turbina que opera entre dos presiones se incrementa al expandir el gas en múltiples etapas de recalentamiento.

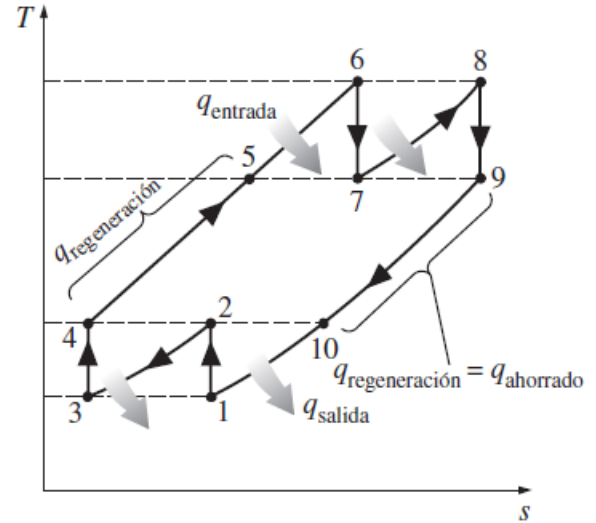
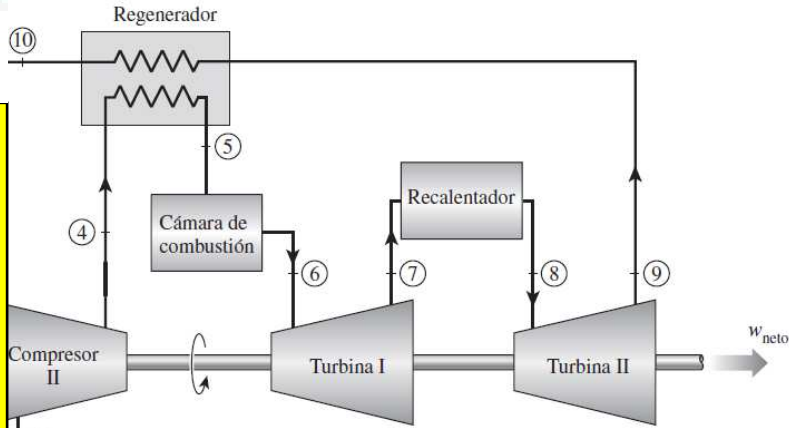


El trabajo de compresión o expansión de flujo estacionario es proporcional al volumen específico del fluido. Por lo tanto, el volumen específico del fluido de trabajo debe ser lo más bajo posible durante un proceso de compresión y lo más alto posible durante un proceso de expansión.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVIÁ WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

## Ciclos de gas y vapor

con interenfriamiento, recalentamiento y regeneración



$$\eta_{RT} = \frac{(-w_C)}{w_T} + \text{Regeneración} \Rightarrow \boxed{\eta}$$

Aumenta

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVIÁ WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

