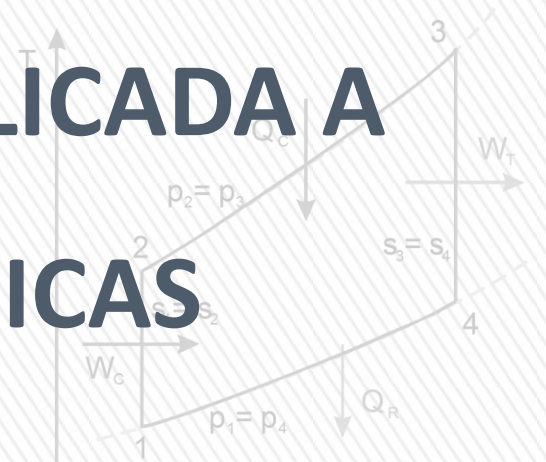
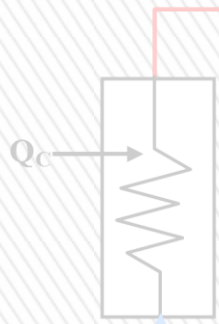


# TEMA 4.

## TERMODINÁMICA APLICADA A MÁQUINAS TÉRMICAS



Cartagena99

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



- 4.1. Definición y Clasificación de Máquinas Térmicas
- 4.2. Ciclos de Motores Rotativos
- 4.3. Modificaciones del ciclo Rankine
- 4.4. Modificaciones del ciclo Brayton
- 4.5. Ciclos de Motores Alternativos
- 4.6. Ciclos de Refrigeración

**Cartagena99**

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



## 4.1. Definición y Clasificación de Máquinas Térmicas

### 4.2. Ciclos de Motores Rotativos

### 4.3. Modificaciones del ciclo Rankine

### 4.4. Modificaciones del ciclo Brayton

### 4.5. Ciclos de Motores Alternativos

### 4.6. Ciclos de Refrigeración

Cartagena99

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

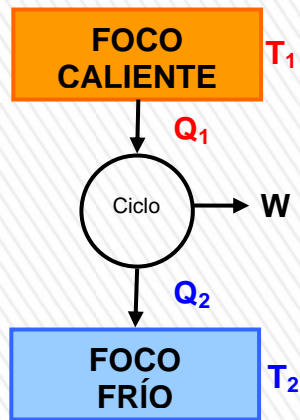


# 4.1 Definición de Máquinas Térmicas



Máquina Térmica: aquella capaz de transformar calor en trabajo o viceversa

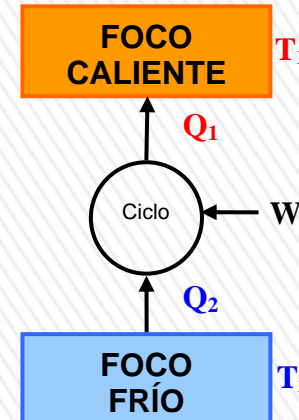
## Motor Térmico



Rendimiento Térmico del ciclo

$$W_{NETO} = \sum |W_{PRODUCIDO}| - \sum |W_{CONSUMIDO}| \quad [4.1]$$

## Máquina Frigorífica



Coeficiente de Operación

$$\text{Efecto refrigerante } |Q_c| \quad [4.2]$$

# Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



# 4.1 Definición de Máquinas Térmicas



## Motores térmicos: Tipos

*En función del agente de transformación:*

- a) Máquinas de gas: el agente de transformación (gas) no cambia de estado durante el ciclo.
- b) Máquinas de vapor: el agente de transformación (vapor) cambia de estado durante el ciclo.

*En función del lugar de obtención del calor:*

- a) Máquinas de combustión externa.
- b) Máquinas de combustión interna.

*En función del tipo de movimiento obtenido:*

- a) Motores rotativos: giro de un eje.

### TERMOTECNIA:

Turbinas de vapor: motor de combustión externa, de vapor y rotativo.

Turbinas de gas: motor de combustión interna, de gas y rotativo

Cartagena99

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





4.1. Definición y Clasificación de Máquinas Térmicas

4.2. Ciclos de Motores Rotativos

4.3. Modificaciones del ciclo Rankine

4.4. Modificaciones del ciclo Brayton

4.5. Ciclos de Motores Alternativos

4.6. Ciclos de Refrigeración

Cartagena99

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



## 4.2 Ciclos de Motores Rotativos



### Motor Rotativo:

- Generan movimiento de giro de un eje
- Aplicación: industria aeroespacial, plantas de generación de potencia



#### Turbinas de Vapor

- Combustión externa
- AT: agua

#### Turbinas de gas

- Combustión interna
- AT: gases de combustión

Cartagena99

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

## 4.2.1 Ciclo Rankine ideal

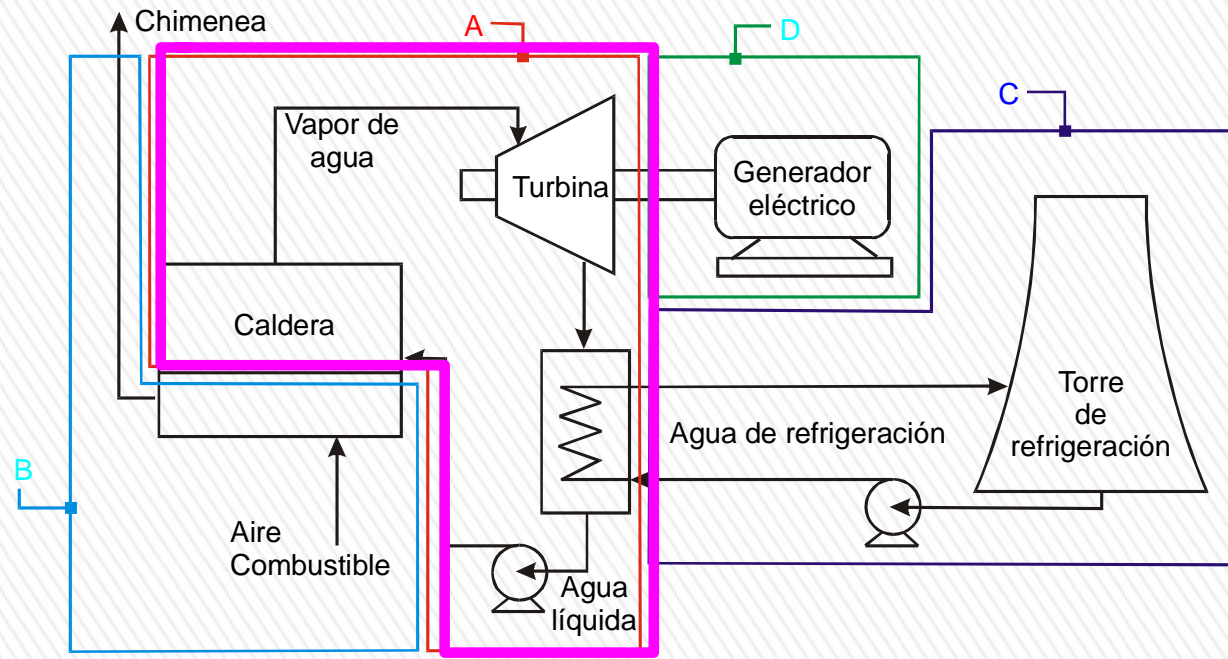
**ZONA A:** Ciclo termodinámico del AT.

Transformación de la entalpía del vapor en energía cinética en del eje de la turbina (W).

**ZONA B:** Foco caliente. Generación de calor.

**ZONA C:** Foco frío. Condensación del vapor saliente de la turbina.

**ZONA D:** Obtención de energía eléctrica. Transformación del trabajo mecánico producido en la turbina en



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

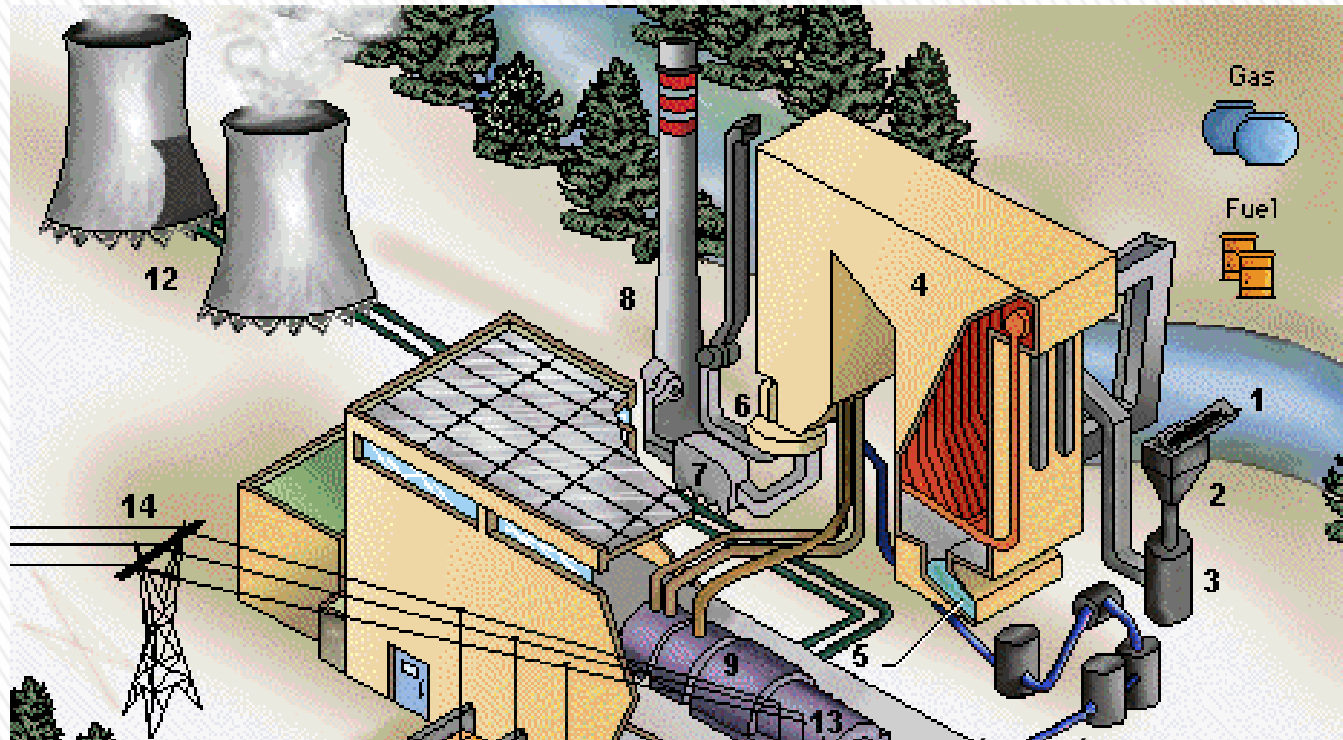
---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



## 4.2.1 Ciclo Rankine ideal

Esquema de una central térmica de vapor



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

## 4.2.1 Ciclo Rankine ideal

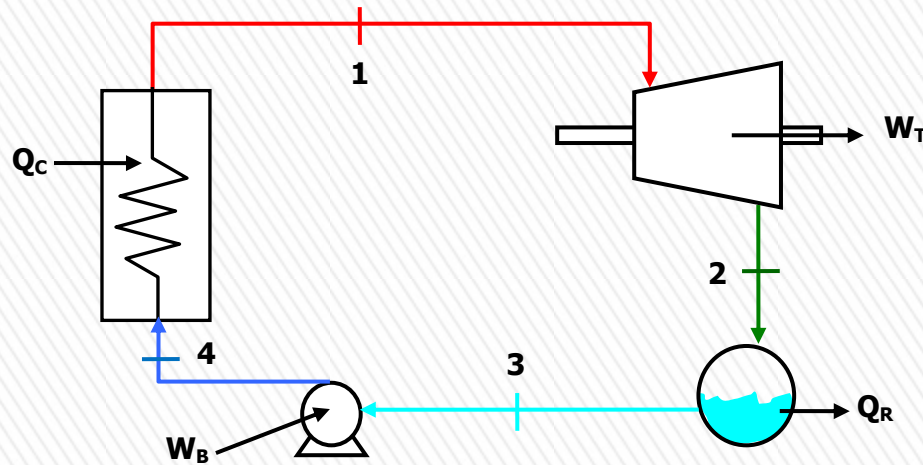
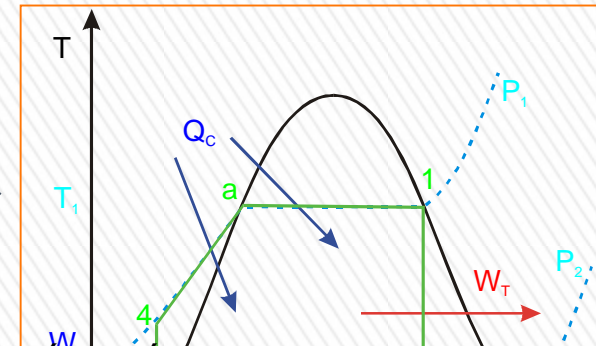
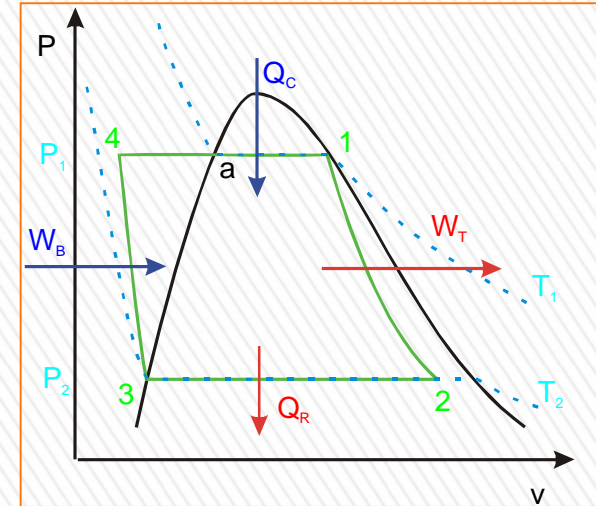


Diagrama de bloques ciclo Rankine

### Suposiciones:

- Todos los procesos son reversibles
- Sin pérdidas de presión en la circulación del AT



Cartagena99

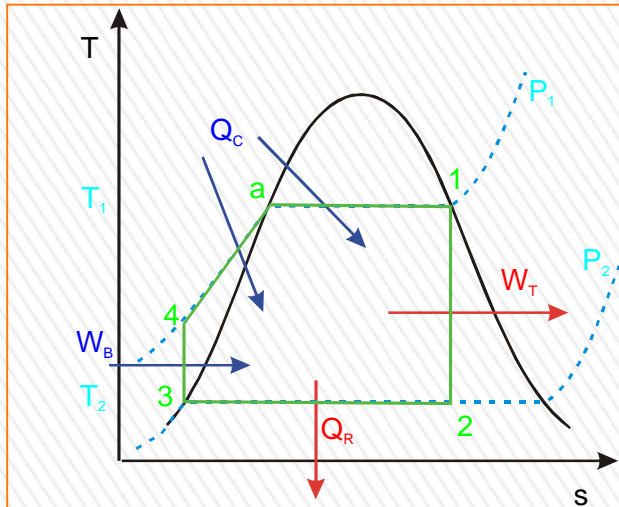
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

## 4.2.1 Ciclo Rankine ideal

Rendimiento Térmico de Ciclo:



- Etapa 1→2: expansión del vapor en la turbina

*Entrada a la turbina:* vapor saturado seco

*Salida de la turbina:* vapor húmedo

*Proceso:* expansión isentrópica con generación de trabajo  $W_T$

*Principio de conservación de energía:*

$$0 = Q - W + \left( h_1 - h_2 + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2} + g \cdot (z_1 - z_2) \right) \quad (\text{J/kg})$$

$$W = (h_1 - h_2) \quad (> 0) \quad [13]$$

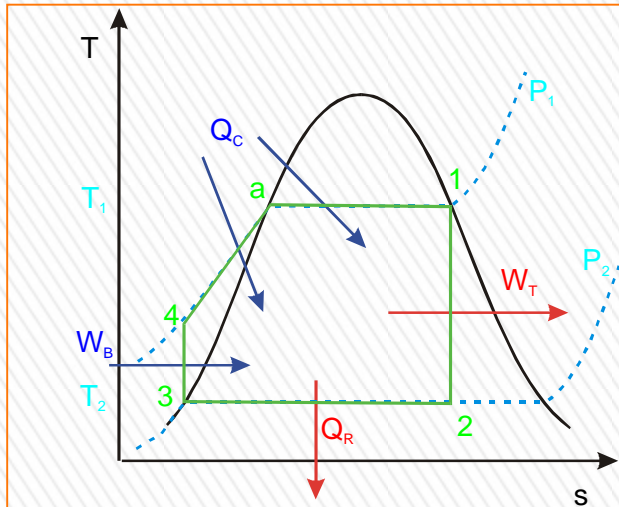
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

## 4.2.1 Ciclo Rankine ideal

### Rendimiento Térmico de Ciclo:



- Etapa 2→3: condensador del vapor húmedo en el condensador

*Entrada al condensador: vapor húmedo*

*Salida del condensador: líquido saturado*

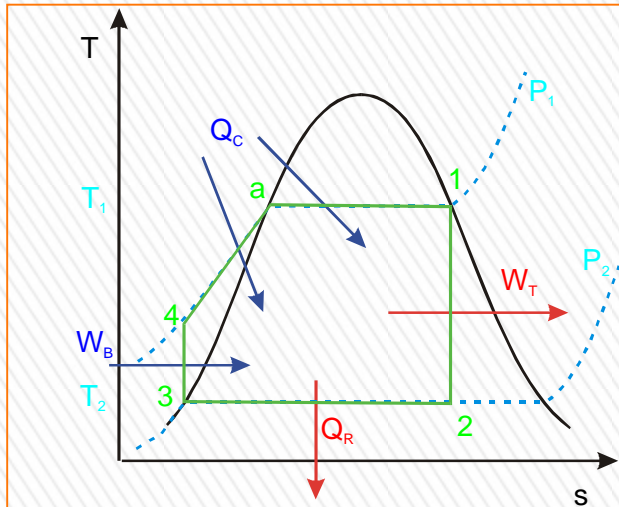
*Proceso: extracción de calor  $Q_R$  a presión constante*

*Principio de conservación de energía:*

$$0 = Q - W + \left( h_2 - h_3 + \frac{V_2^2 - V_3^2}{2} + g \cdot (z_2 - z_3) \right) \quad (\text{J/kg})$$

## 4.2.1 Ciclo Rankine ideal

### Rendimiento Térmico de Ciclo:



- Etapa 3→4: compresión del condensado en la bomba

*Entrada a la bomba:* líquido saturado

*Salida de la bomba:* líquido subenfriado a la presión de la caldera

*Proceso:* compresión isoentrópica con generación de trabajo por la bomba  $W_B$

*Principio de conservación de energía:*

$$W_B = (h_3 - h_4) \quad (< 0) \quad [4.5]$$

Considerando la compresión del líquido:

4

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

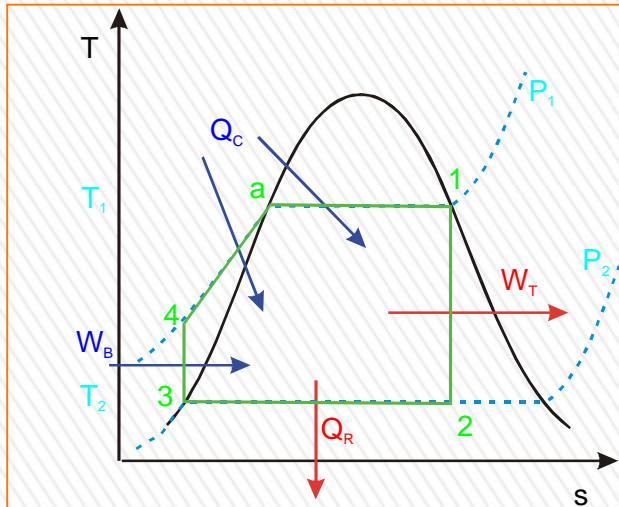
---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



## 4.2.1 Ciclo Rankine ideal

Rendimiento Térmico de Ciclo:



- Etapa 4→1: calentamiento en la caldera

*Entrada a la caldera: líquido subenfriado*

*Salida de la caldera: vapor saturado seco*

*Proceso: aporte de calor  $Q_C$  a presión constante*

*Principio de conservación de energía:*

$$Q_C = (h_1 - h_4) \quad (> 0) \quad [4.7]$$

Cartagena99

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

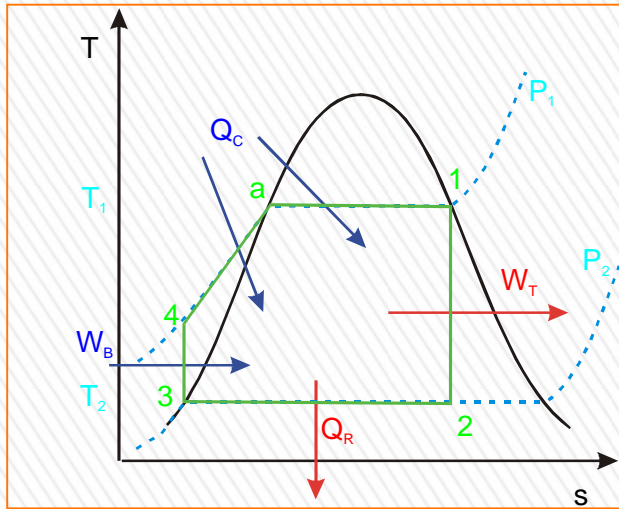


# 4.2 Ciclos de Motores Rotativos



## 4.2.1 Ciclo Rankine ideal

Rendimiento Térmico de Ciclo:



$$\eta_{RANKINE} = \frac{|W_T| - |W_B|}{|Q_C|} = \frac{|h_1 - h_2| - |h_3 - h_4|}{|h_1 - h_4|} \quad [4.8]$$

Trabajo neto realizado en un ciclo

$$\Delta E = Q - W = 0 \longrightarrow |W_T| - |W_B| = |Q_C| - |Q_R|$$

$$\eta_{RANKINE} = \frac{|Q_C| - |Q_R|}{|Q_C|} = 1 - \frac{|Q_R|}{|Q_C|} = 1 - \frac{|h_3 - h_2|}{|h_1 - h_4|} \quad [4.9]$$

Relación de trabajos

Aplicando 2º Principio de la Termodinámica

# Cartagena99

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

## 4.2.1 Ciclo Rankine ideal

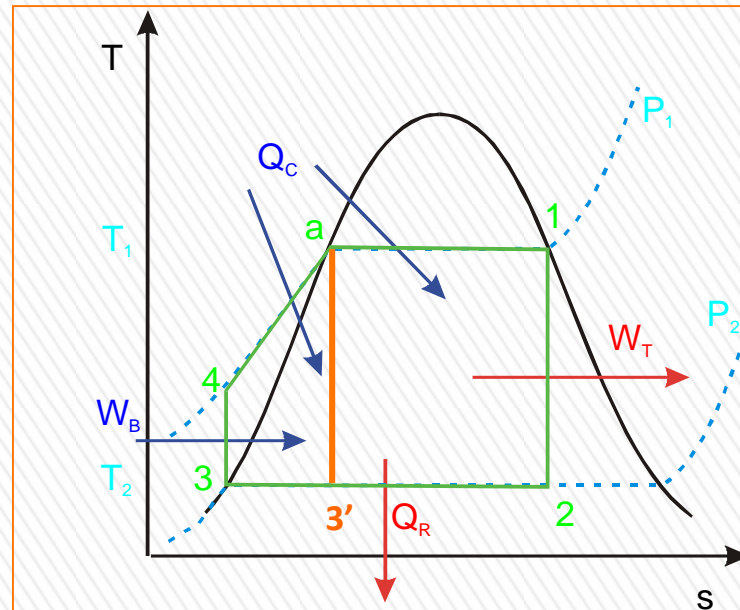
### Comparación con el ciclo de Carnot

Ciclo de Rankine:

1 - 2 - 3 - 4 - a

Ciclo de Carnot:

1 - 2 - 3' - a



Ciclo de Carnot: 2 procesos isoterms + 2 adiabáticos

Cartagena99

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

$T_1 > T_2 \rightarrow \eta_{Rankine} > \eta_{Carnot}$

## 4.2.1 Ciclo Rankine ideal

### Irreversibilidades y Pérdidas:

Desviaciones del ciclo de Rankine ideal:

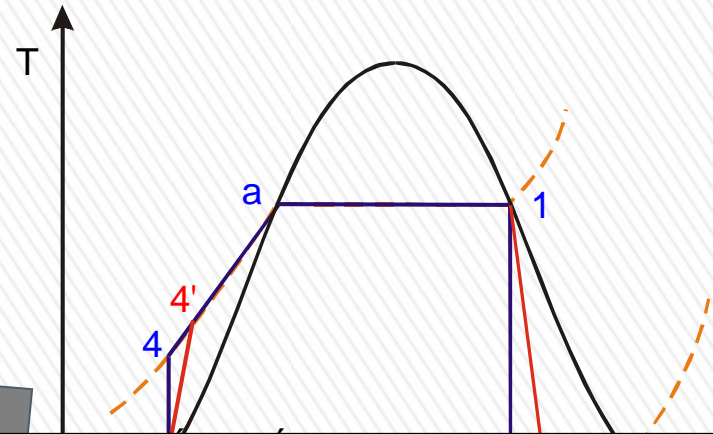
- Pérdidas de energía en el condensador y la caldera por cesión de calor al exterior
- Pérdidas de energía por rozamiento del fluido en el condensador, caldera y tuberías

c) Irreversibilidades en la turbina y en la bomba

- o Procesos no adiabáticos
- o Pérdidas de energía por rozamiento

$$\eta_{TV} = \frac{|W_T|}{|W_T|_S} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_2}$$

[4.12]



Cartagena99

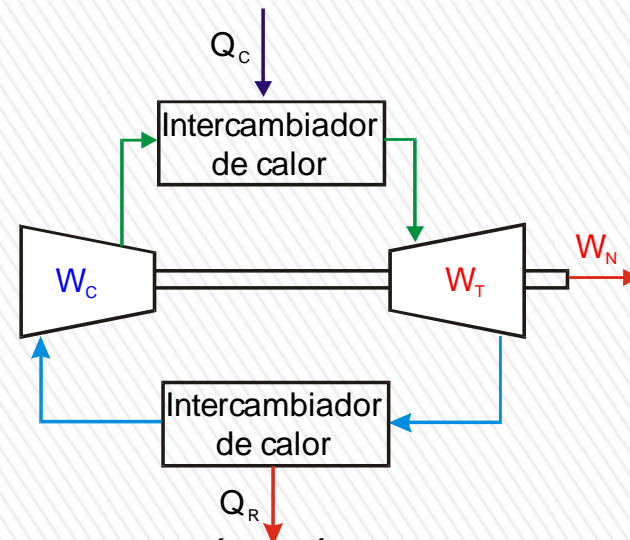
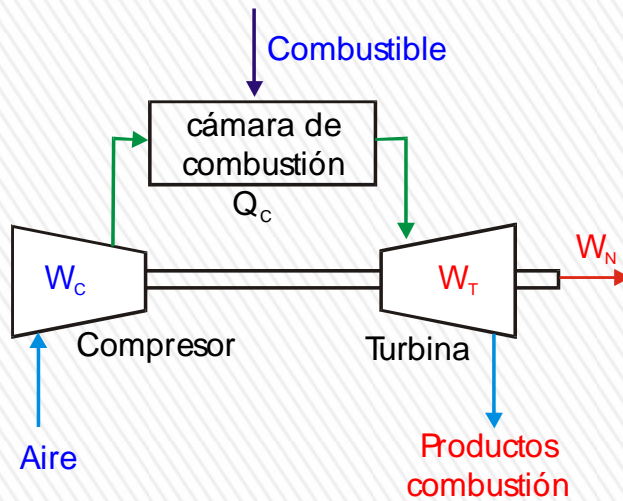
CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

## 4.2.2 Ciclo Brayton ideal

	Rendimiento máximo	Rendimiento real
Turbinas de vapor (550 °C)	65 %	40-45 %
Turbinas de gas (1000-1400 °C)	83 %	62 %



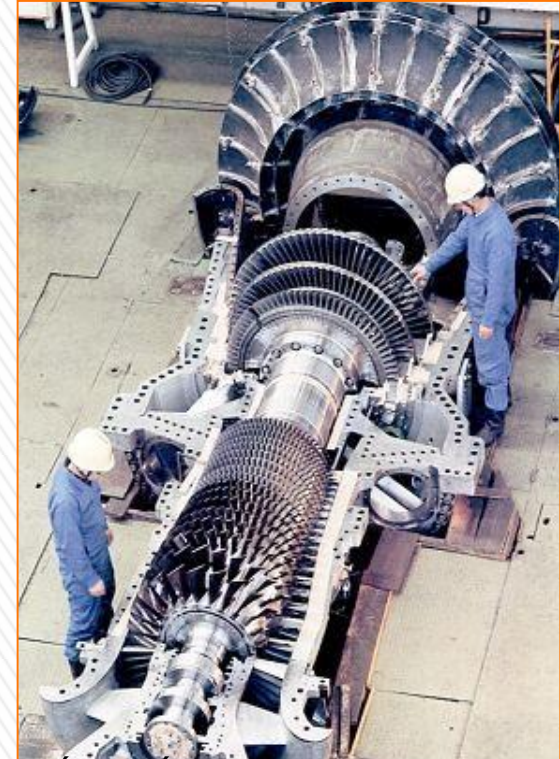
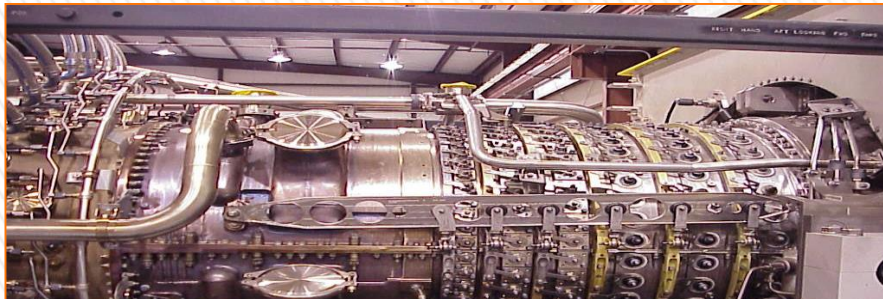




# 4.2 Ciclos de Motores Rotativos



## 4.2.2 Ciclo Brayton ideal



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



## 4.2 Ciclos de Motores Rotativos



### 4.2.2 Ciclo Brayton ideal

#### Ciclo abierto

→ *Inconveniente:* el agente de transformación cambia de composición

→ **Análisis de aire estándar**

- ✓ El aire se comporta como gas ideal y sin cambio de composición
- ✓ El calor de la combustión procede de una fuente externa caliente

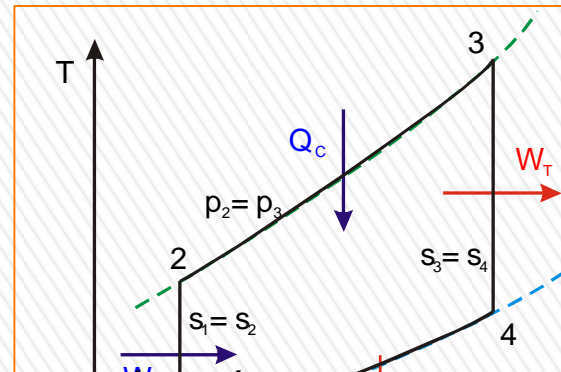
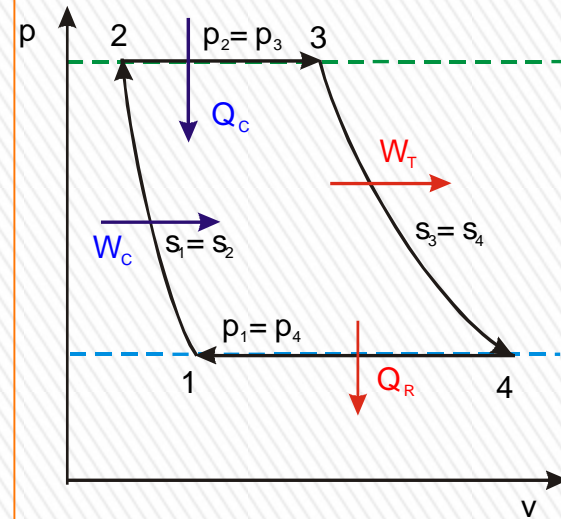
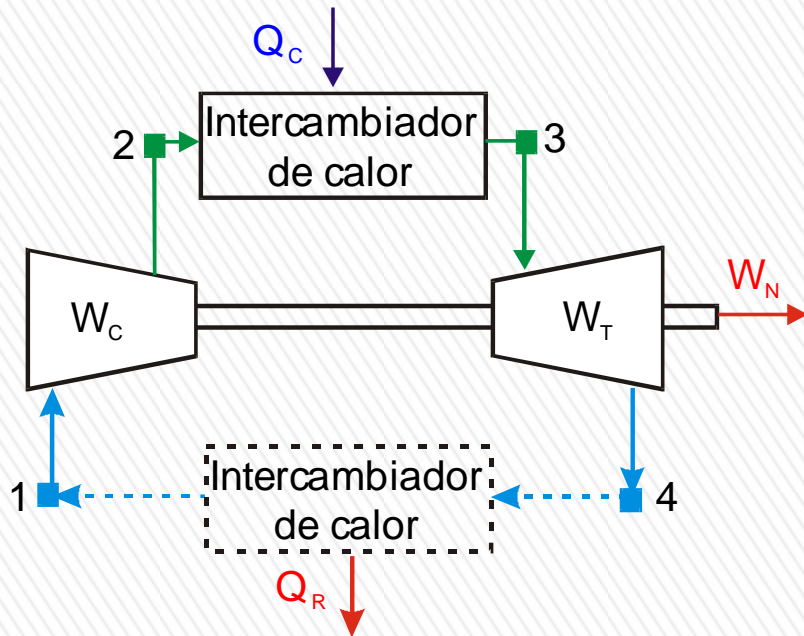
Cartagena99

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

## 4.2.2 Ciclo Brayton ideal



### Suposiciones:

- Todos los procesos son reversibles



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70





## 4.2 Ciclos de Motores Rotativos



### 4.2.2 Ciclo Brayton ideal

Rendimiento Térmico de Ciclo:

$$\eta_{BRAYTON} = \frac{|W_T| - |W_C|}{|Q_C|} = \frac{|h_3 - h_4| - |h_1 - h_2|}{|h_3 - h_2|} \quad [4. 14]$$

Relación de Trabajos:

$$RT = \frac{|W_C|}{|W_T|} = \frac{|h_1 - h_2|}{|h_3 - h_4|} \quad [4. 15]$$

*Relación de trabajos  
(RT)*

Cartagena99

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



## 4.2 Ciclos de Motores Rotativos



### 4.2.2 Ciclo Brayton ideal

#### Análisis de Aire Estándar Frío:

Se supone  $C_p$  y  $C_v = \text{cte} \rightarrow \gamma = \text{cte}$

$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{T_4}{T_3} \quad [4.16]$$

Compresión adiabática y reversible:

$$T_2 = T_1 \cdot \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \longrightarrow \eta = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{1}{\left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \quad [4.17]$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

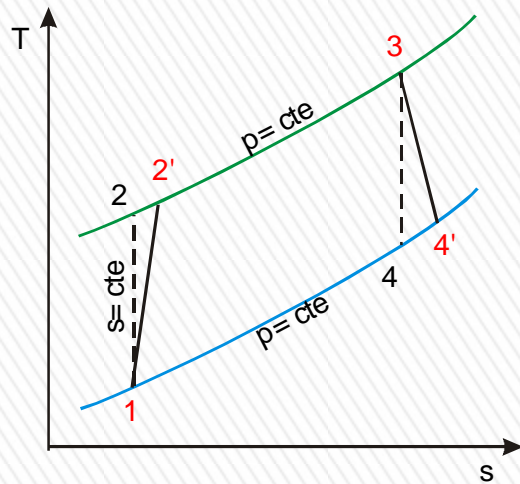
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



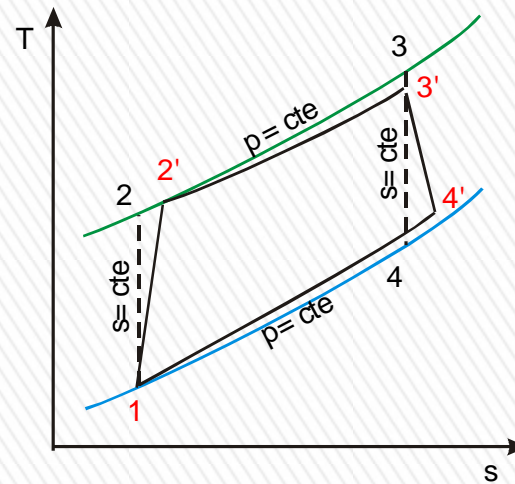
## 4.2.2 Ciclo Brayton ideal

### Irreversibilidades y Pérdidas:

Análogo a lo descrito para ciclos de Turbinas de Vapor



Irreversibilidades en turbina y



Irreversibilidades en turbina y

$$\eta_{TG} = \frac{|W|_T}{|W_T|_s} = \frac{h_3 - h_{4'}}{h_3 - h_4} \quad [4.18]$$

$$\eta_C = \frac{|W_C|_s}{|W_C|} = \frac{|h_1 - h_2|}{|h_1 - h_2'|} \quad [4.19]$$

Cartagena99

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



4.1. Definición y Clasificación de Máquinas Térmicas

4.2. Ciclos de Motores Rotativos

4.3. Modificaciones del ciclo Rankine

4.4. Modificaciones del ciclo Brayton

4.5. Ciclos de Motores Alternativos

4.6. Ciclos de Refrigeración

Cartagena99

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



# 4.3 Modificaciones del ciclo Rankine

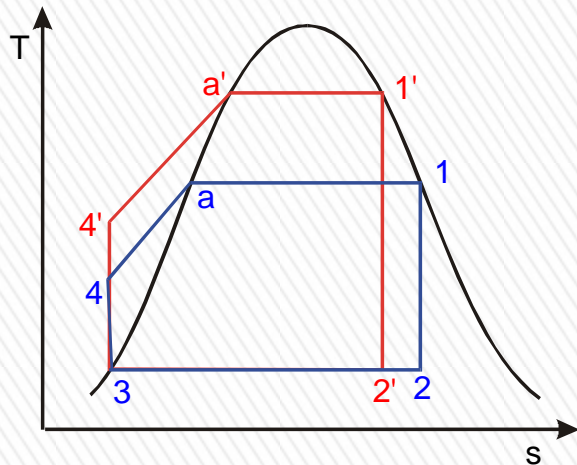


$$\eta_{RANKINE} = \frac{|W_T| - |W_B|}{|Q_C|} \quad [4.8]$$

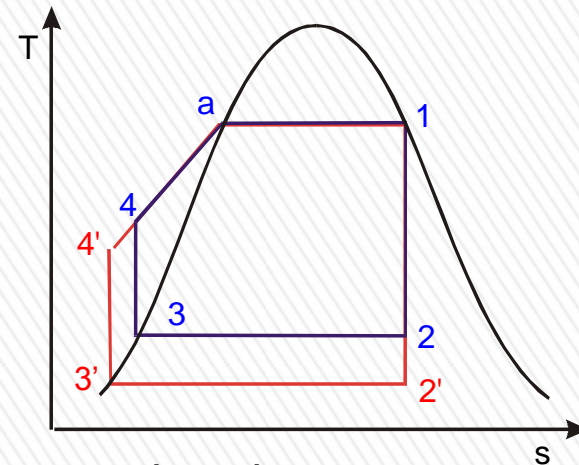
$$\eta_{RANKINE} = 1 - \frac{T_2}{T_C} \quad [4.10]$$

## Modificaciones para aumentar la eficiencia térmica del ciclo:

A. Aumento de  $P_{CALDERA}$



B. Disminución de  $P_{CONDENSADOR}$



# Cartagena99

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



# 4.3 Modificaciones del ciclo Rankine



$$\eta_{RANKINE} = \frac{|W_T| - |W_B|}{|Q_C|} \quad [4.8]$$

$$\eta_{RANKINE} = 1 - \frac{T_2}{T_C} \quad [4.10]$$

## Modificaciones para aumentar la potencia y/o eficiencia térmica del ciclo:

*Requisito práctico:*

$X_2 > 90 \%$



Aumento de  $\eta$  limitado mediante los procedimientos a y b.



C. Sobrecalentamiento (o recalentamiento)

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

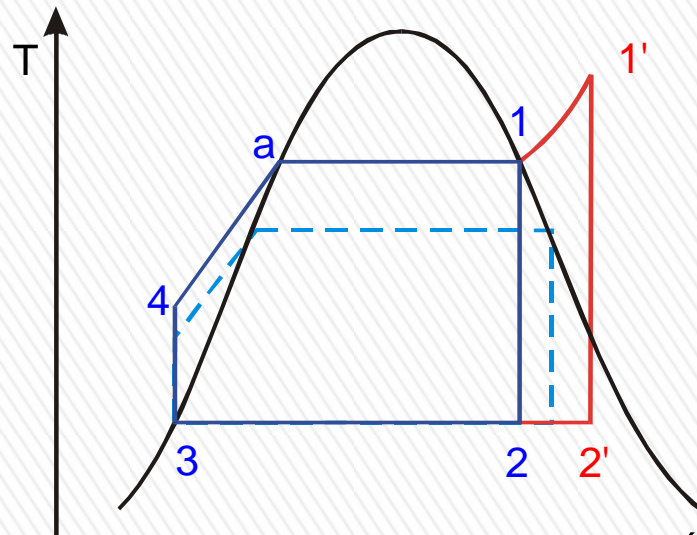
---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

## C. Sobrecalentamiento (o

## recalentamiento)

Obtención de vapor recalentado en la caldera a temperatura superior a la de saturación.



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

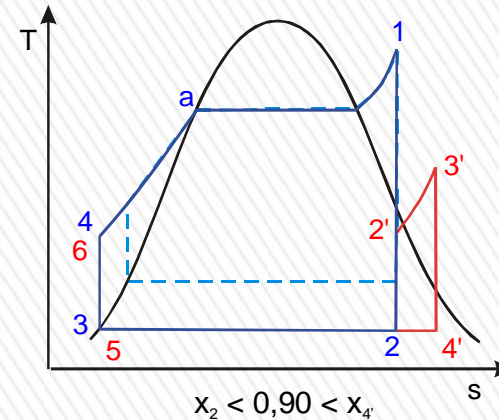
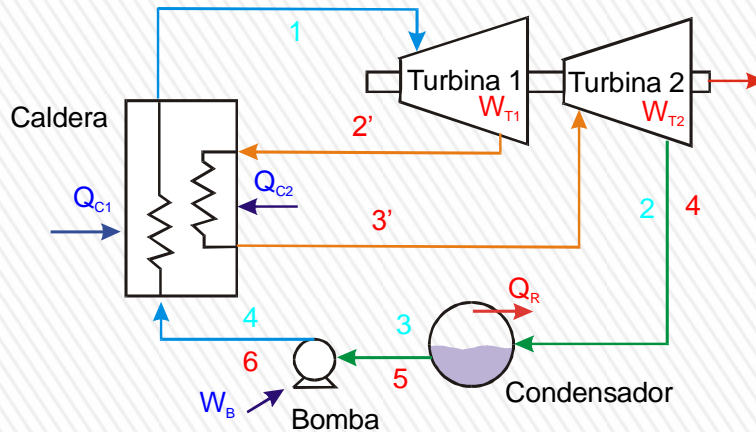
---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



## D. Recalentamiento intermedio

Vapor sobrecalentado se expande parcialmente en una primera etapa de la turbina, se recalienta y se vuelve a expandir en una segunda etapa de la turbina.



### Ventajas

- Aumento del título del vapor a la salida de la turbina
- Mayor diferencia de presiones entre la caldera y el condensador

$$|W_{T1}| + |W_{T2}| - |W_B|$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

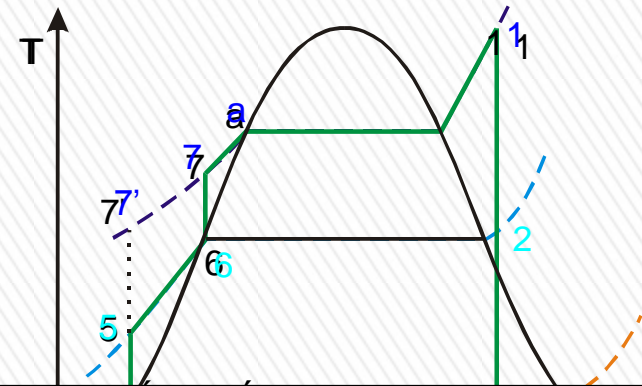
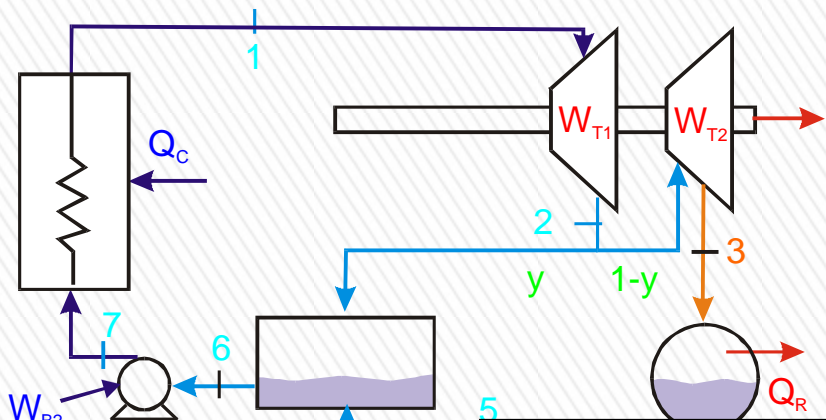
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

## E. Regeneración

Aumento de la temperatura de trabajo de la caldera mediante precalentamiento del agua líquida que se introduce en la misma con parte del vapor de la turbina.

### E.1 Cambiadores abiertos

Contacto directo de las corrientes fría y caliente



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

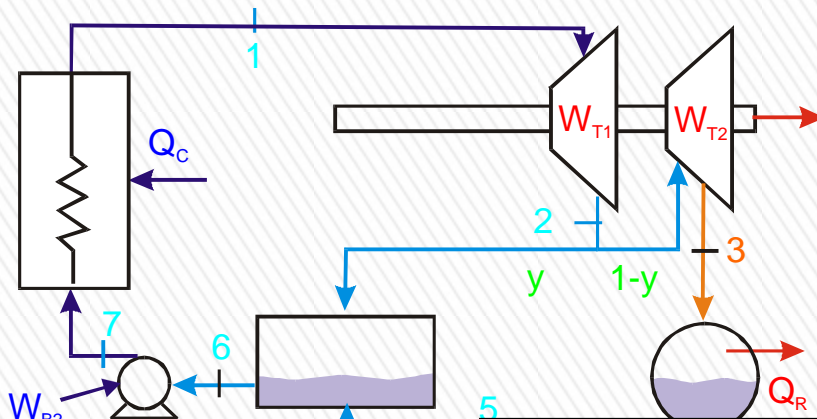
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

## E. Regeneración

Aumento de la temperatura de trabajo de la caldera mediante precalentamiento del agua líquida que se introduce en la misma con parte del vapor de la turbina.

### E.1 Cambiadores abiertos

$$\eta = \frac{|W_{T1}| + |W_{T2}| - [|W_{B1}| + |W_{B2}|]}{|Q_C|} \quad [4.21]$$



#### Trabajos del ciclo

$$W_{T1} = h_1 - h_2$$

$$W_{T2} = (h_2 - h_3) \cdot (1 - y)$$

$$W_{B1} = (h_4 - h_5) \cdot (1 - y)$$

$$W_{B2} = (h_6 - h_7)$$

#### Intercambios de calor

$$Q_C = h_1 - h_7$$

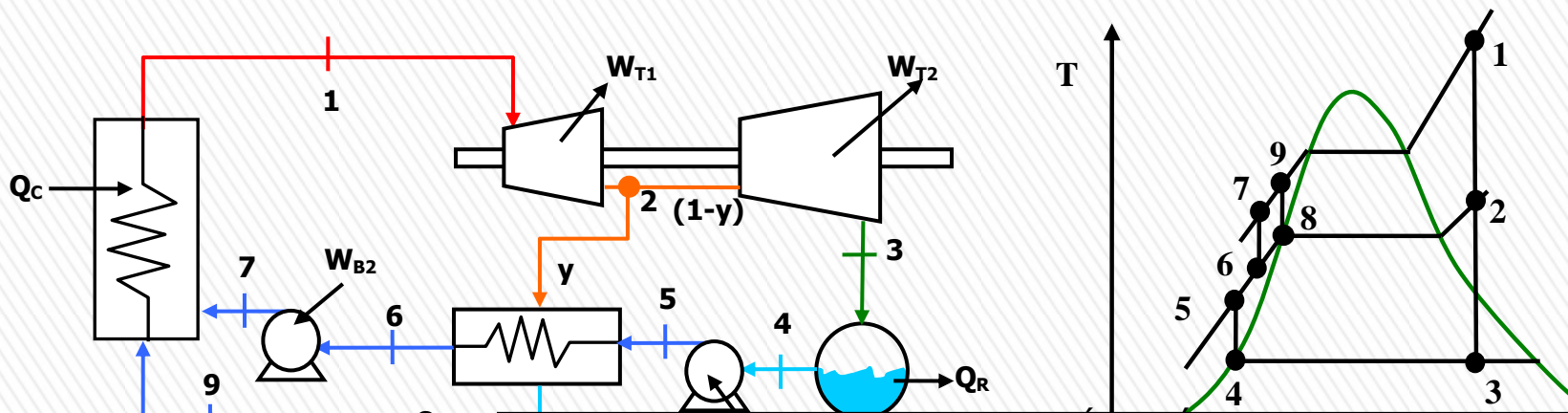
$$Q_R = (h_4 - h_3) \cdot (1 - y)$$

## E. Regeneración

### E.2 Cambiadores cerrados

Sin contacto directo de las corrientes fría y caliente (cambiador de carcasa y tubos)

#### OPCIÓN 1. Bombeo a caldera



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

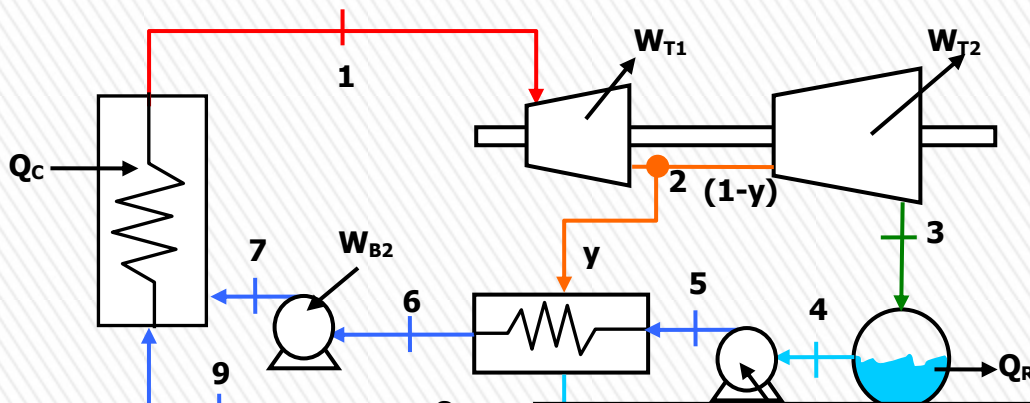
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

## E. Regeneración

### E.2 Cambiadores cerrados

Sin contacto directo de las corrientes fría y caliente (cambiador de carcasa y tubos)

#### OPCIÓN 1. Bombeo a caldera



$$\eta = \frac{|W_{T1}| + |W_{T2}| - [|W_{B1}| + |W_{B2}| + |W_{B3}|]}{|Q_C|} \quad [4.22]$$

$$W_{T1} = h_1 - h_2 \quad W_{T2} = (h_2 - h_3) \cdot (1 - y)$$

$$W_{B1} = (h_4 - h_5) \cdot (1 - y)$$

$$W_{B2} = (h_6 - h_7) \cdot (1 - y)$$

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

Cartagena99

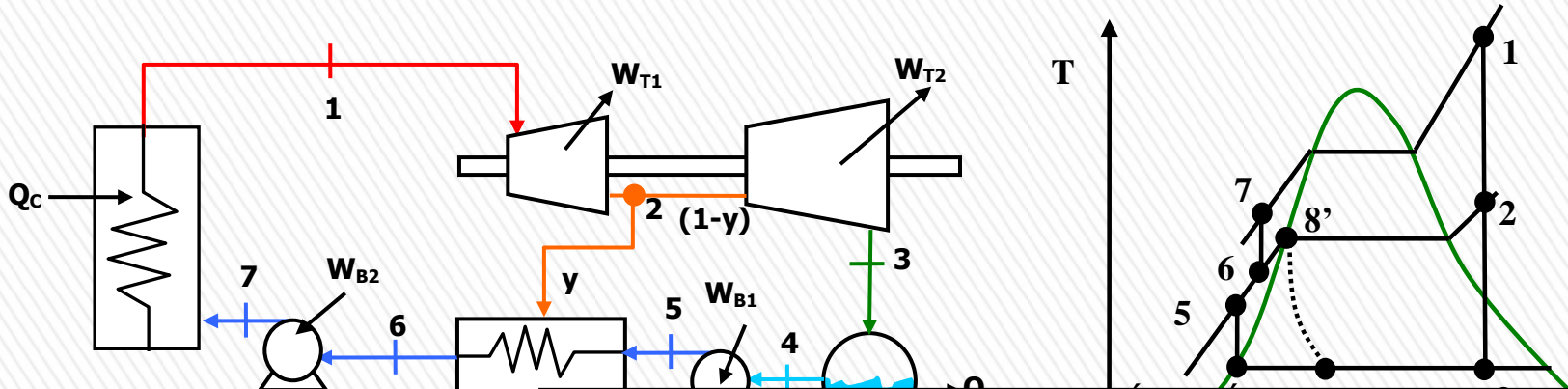


## E. Regeneración

### E.2 Cambiadores cerrados

Sin contacto directo de las corrientes fría y caliente (cambiador de carcasa y tubos)

#### OPCIÓN 2. Envío a condensador



Cartagena99

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

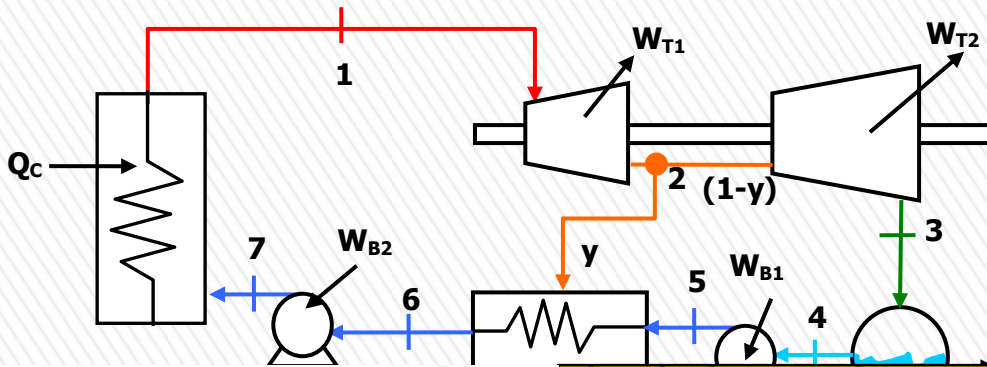
## E. Regeneración

### E.2 Cambiadores cerrados

Sin contacto directo de las corrientes fría y caliente (cambiator de carcasa y tubos)

#### OPCIÓN 2. Envío a condensador

$$\eta = \frac{|W_{T1}| + |W_{T2}| - [|W_{B1}| + |W_{B2}|]}{|Q_C|} \quad [4.23]$$



$$W_{T1} = h_1 - h_2$$

$$W_{T2} = (h_2 - h_3) \cdot (1 - y)$$

$$W_{B1} = (h_4 - h_5)$$

$$W_{B2} = (h_6 - h_7)$$

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99



## 4.3 Modificaciones del ciclo Rankine



### E. Regeneración

#### E.2 Cambiadores cerrados

Sin contacto directo de las corrientes fría y caliente (cambiador de carcasa y tubos)

#### Balance de energía en calentador

$$m \cdot y \cdot h_2 + m \cdot h_5 = m \cdot y \cdot h_8 + m \cdot h_6 \quad \therefore \quad y = \frac{h_6 - h_5}{h_2 - h_8} \quad [4.24]$$

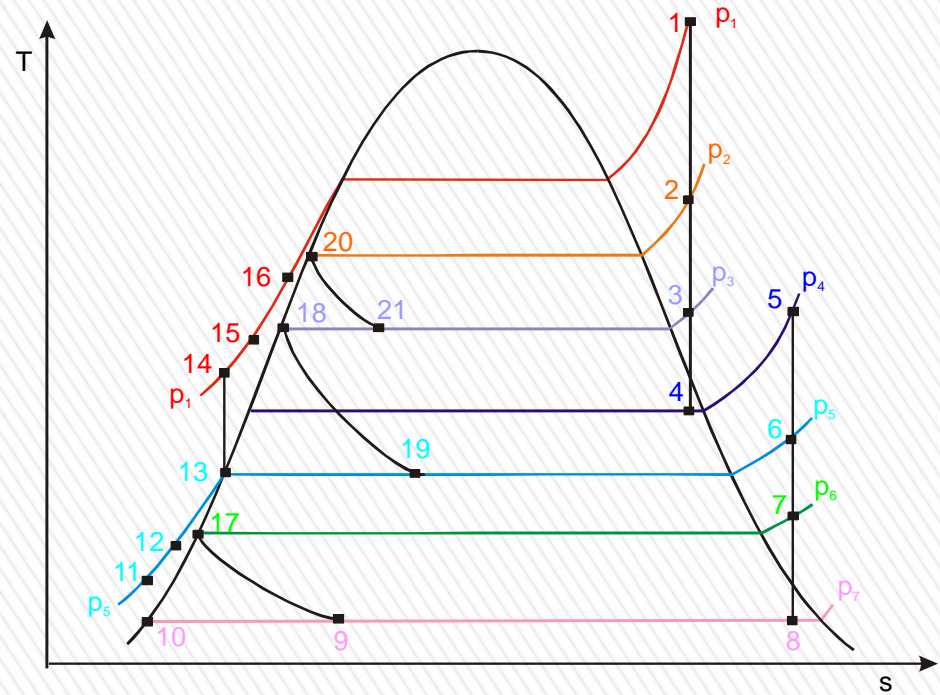
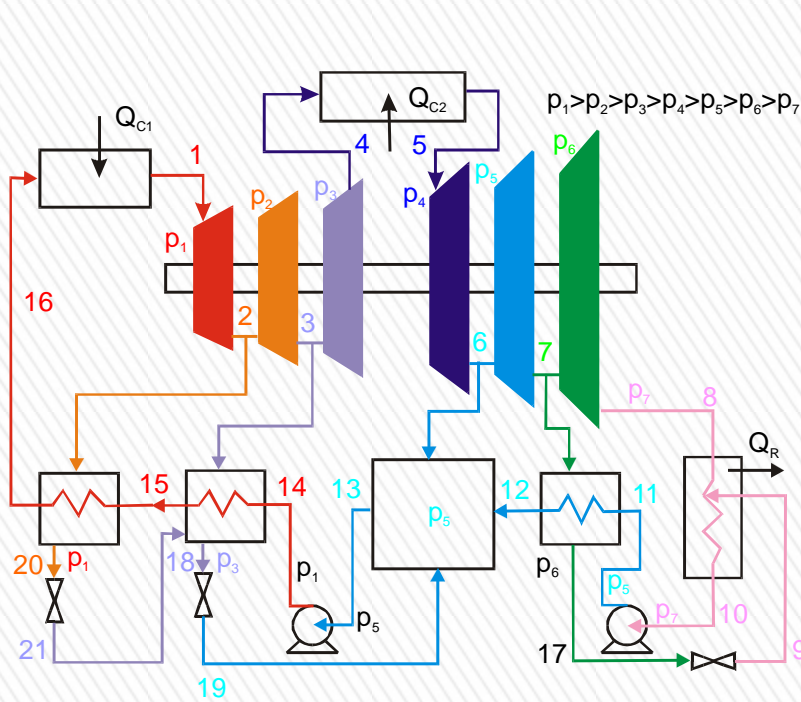
Cartagena99

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

## Cambiadores múltiples



**Cartagena99**

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



4.1. Definición y Clasificación de Máquinas Térmicas

4.2. Ciclos de Motores Rotativos

4.3. Modificaciones del ciclo Rankine

4.4. Modificaciones del ciclo Brayton

4.5. Ciclos de Motores Alternativos

4.6. Ciclos de Refrigeración

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

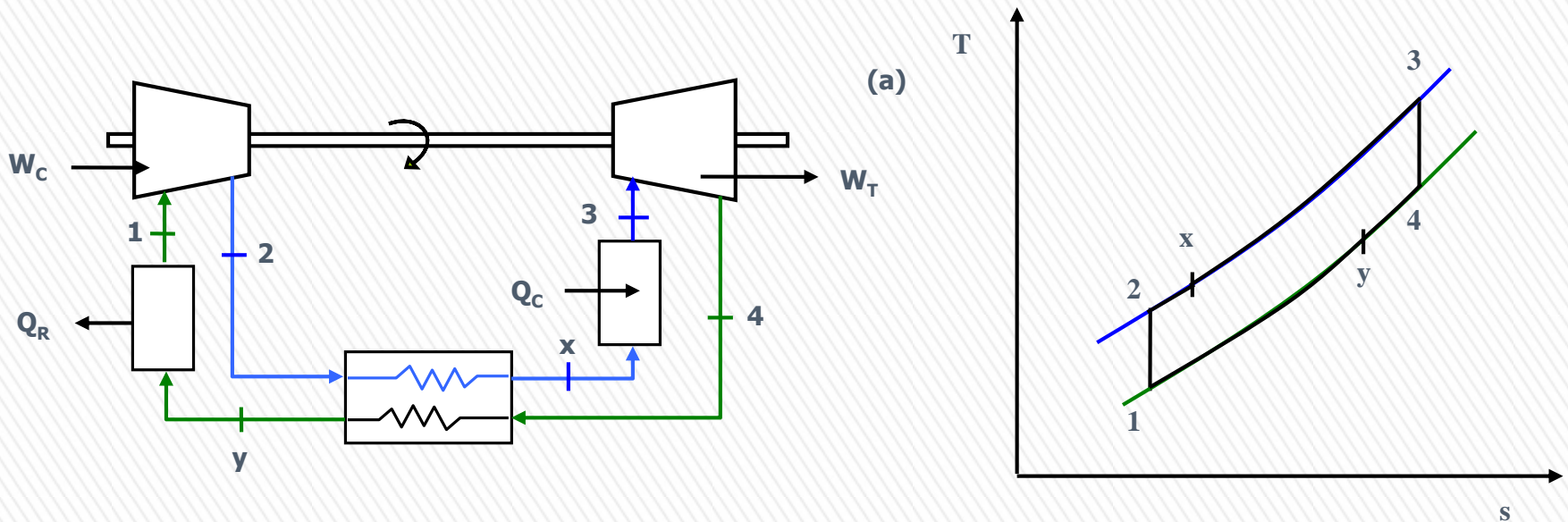
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



## A. Regeneración

Objetivo: disminuir  $Q_C$

Requisito:  $T_4 > T_2$



Cartagena99

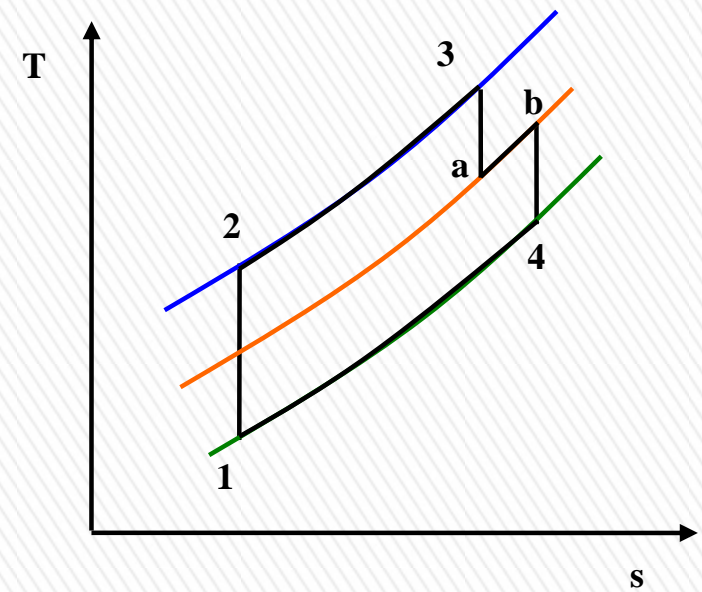
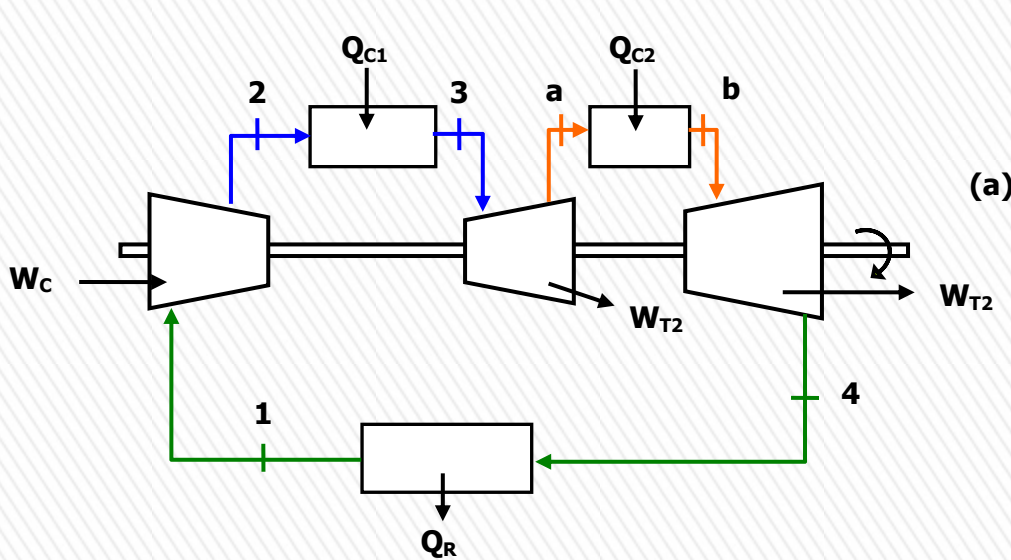
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

## B. Recalentamiento

Objetivo: Aumentar  $W_T$



Cartagena99

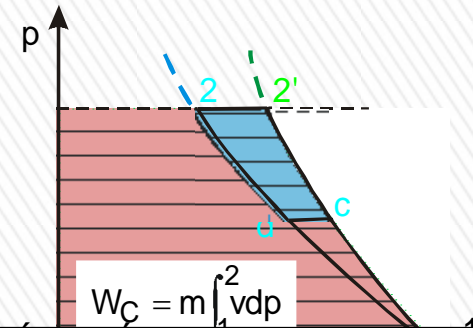
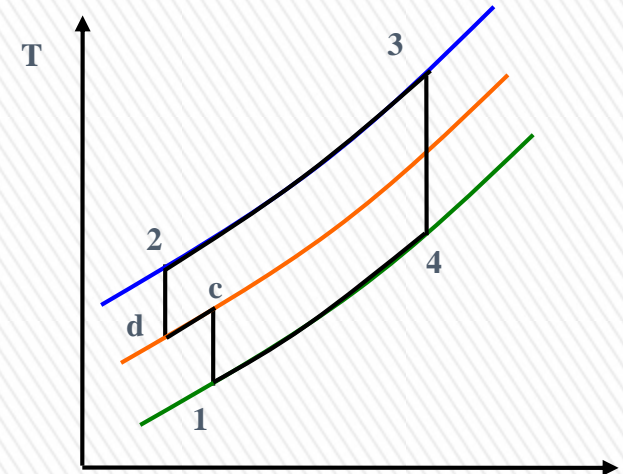
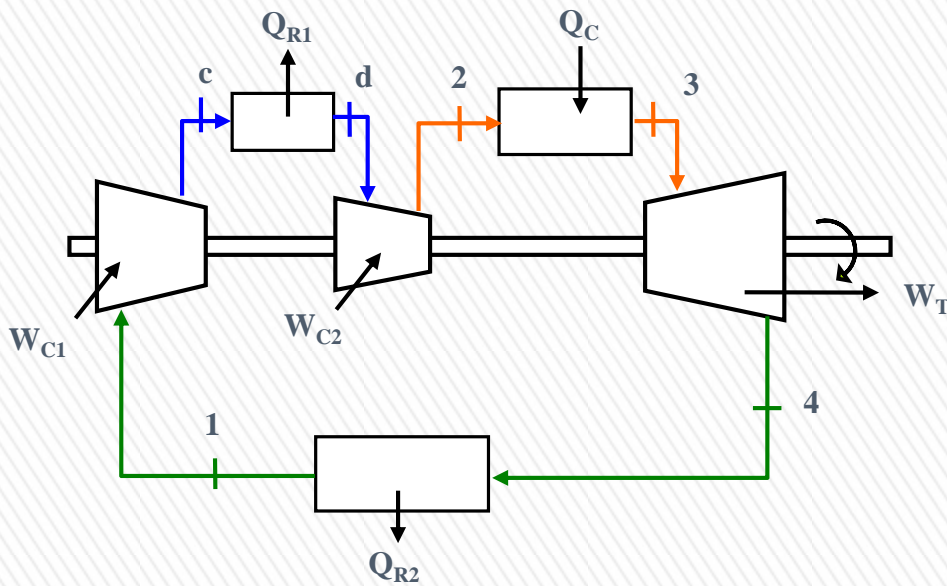
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

## C. Compresión con refrigeración

Objetivo: Disminuir  $W_C$  (aunque aumenta  $Q_C$ )



Cartagena99

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



4.1. Definición y Clasificación de Máquinas Térmicas

4.2. Ciclos de Motores Rotativos

4.3. Modificaciones del ciclo Rankine

4.4. Modificaciones del ciclo Brayton

4.5. Ciclos de Motores Alternativos

4.6. Ciclos de Refrigeración

Cartagena99

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



## 4.5 Ciclos de Motores Alternativos



### Motor Alternativo:

- Generan movimiento cilindro-pistón
- Combustión interna
- Agente de Transformación (AT): gases de combustión
- Aplicación: automoción, plantas de generación de potencia (cogeneración)



#### 4.5.1 Ciclo Otto

#### 4.5.2 Ciclo Diesel

Cartagena99

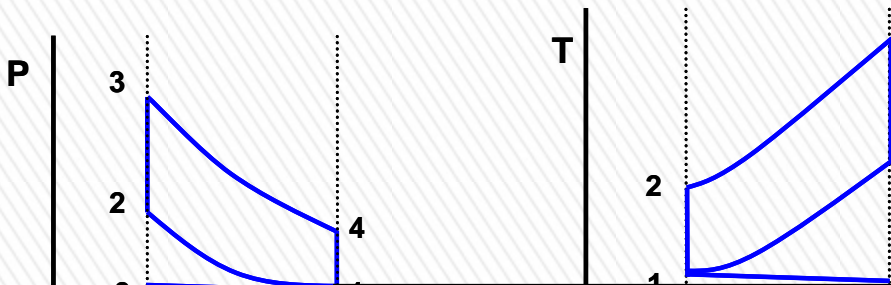
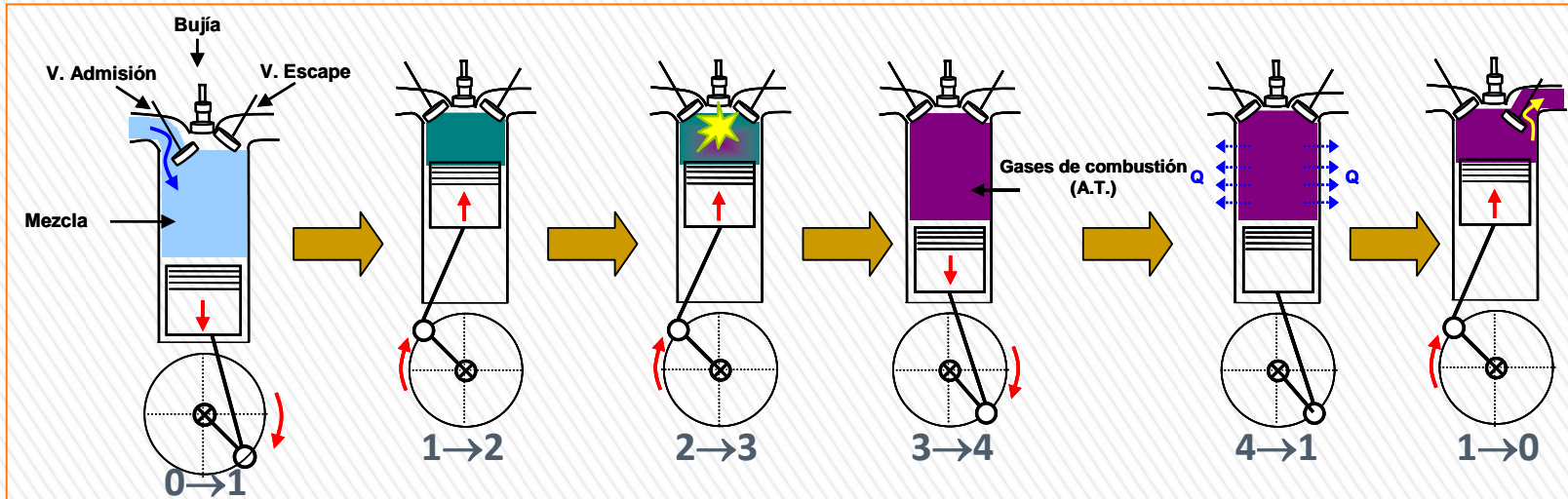
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



## 4.5.1 Ciclo Otto



- 0→1. Carrera de aspiración
- 1→2. Carrera de compresión
- 2→3. Calentamiento instantáneo
- 3→4. Carrera de expansión

Cartagena99

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



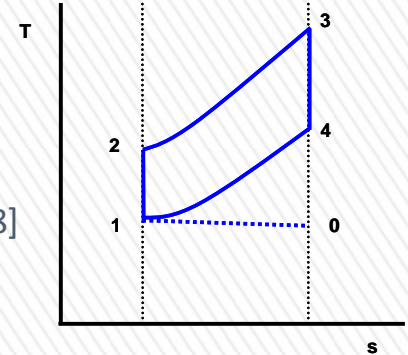
# 4.5 Ciclos de Motores Alternativos



## 4.5.1 Ciclo Otto

### Rendimiento Térmico del ciclo

$$\eta = \frac{W_{NETO}}{Q_{TOTAL\_APORTADO}} = \frac{\sum |W_{PRODUCIDO}| - \sum |W_{CONSUMIDO}|}{\sum |Q_{ABSORBIDO}|} \quad [4.28]$$



### Suposiciones:

- AT no cambia de composición en todo el ciclo y es un gas ideal (aire)
- Etapas de aspiración y expulsión: a presión atmosférica y en sentidos opuestos → se anulan
- Etapas de compresión y expansión adiabáticas y reversibles → isoentrópicas
- Etapas de aporte y eliminación de calor isocoras

$$\eta_{OTTO} = \frac{|W_{EXP}| - |W_{COMP}|}{|Q_{ABS}|} = \frac{|Q_{ABS}| - |Q_{CED}|}{|Q_{ABS}|} = 1 - \frac{|Q_{CED}|}{|Q_{ABS}|} \quad [4.29]$$

# Cartagena99

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



# 4.5 Ciclos de Motores Alternativos



## 4.5.1 Ciclo Otto

### Rendimiento Térmico del ciclo

$$\eta_{OTTO} = 1 - \frac{|Q_{CED}|}{|Q_{ABS}|} \quad [4.3]$$

$$Q_{ABS} = C_V \cdot (T_3 - T_2) \quad (> 0) \text{ (J / kg)} \quad [4.30]$$

$$Q_{CED} = C_V \cdot (T_1 - T_4) \quad (< 0) \text{ (J / kg)} \quad [4.31]$$

$$\eta_{OTTO} = 1 - \frac{|T_1 - T_4|}{|T_3 - T_2|} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} \quad [4.32]$$

Etapas de compresión y expansión adiabáticas:

$$T_1 \cdot V_1^{\gamma-1} = T_2 \cdot V_2^{\gamma-1} \quad \therefore \quad T_4 \cdot V_4^{\gamma-1} = T_3 \cdot V_3^{\gamma-1} \quad [4.33]$$

$$\eta_{OTTO} = 1 - \frac{T_1}{T_2} \quad [4.34]$$

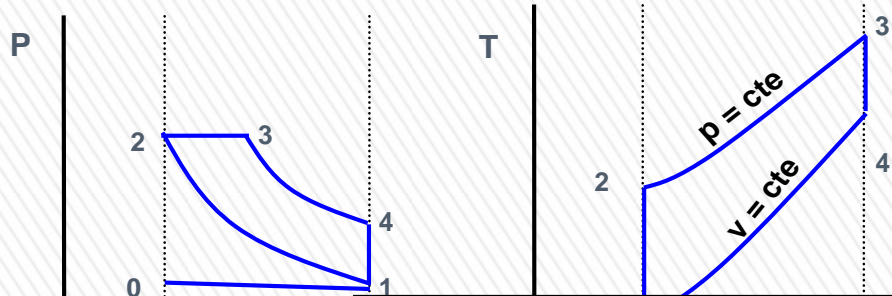
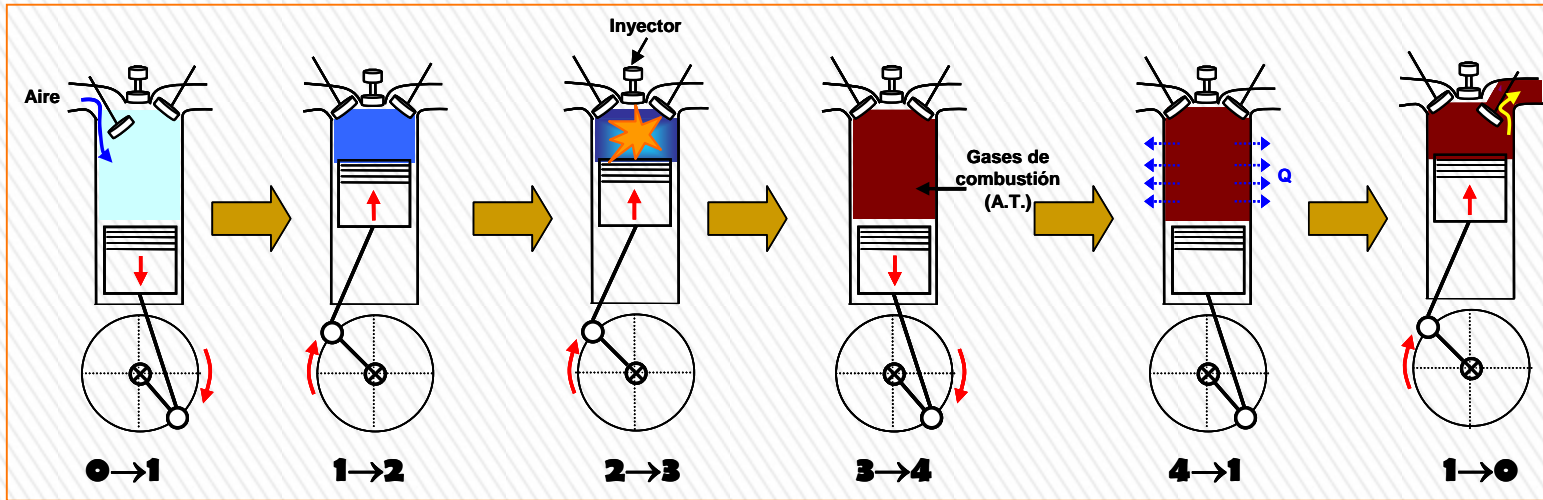
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# Cartagena99

## 4.5.2 Ciclo Diesel



- 0→1. Carrera de aspiración
- 1→2. Carrera de compresión
- 2→3. Calentamiento instantáneo
- 3→4. Carrera de expansión

Cartagena99

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



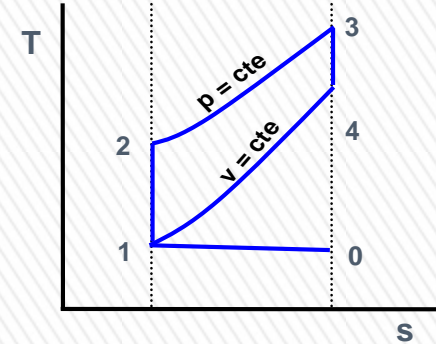
# 4.5 Ciclos de Motores Alternativos



## 4.5.2 Ciclo Diesel

### Rendimiento Térmico del ciclo

$$\eta = \frac{W_{NETO}}{Q_{TOTAL\_APORTADO}} = \frac{\sum |W_{PRODUCIDO}| - \sum |W_{CONSUMIDO}|}{\sum |Q_{ABSORBIDO}|} \quad [4.1]$$



### Suposiciones:

- AT no cambia de composición en todo el ciclo y es un gas ideal (aire)
- Etapas de aspiración y expulsión: a presión atmosférica y en sentidos opuestos → se anulan
- Etapas de compresión y expansión adiabáticas y reversibles → isoentrópicas
- Etapas de aporte y eliminación de calor isobara e isocora, respectivamente

$$\eta_{DIESEL} = \frac{W_{EXP} - W_{COMP}}{Q_{ABS} - Q_{CED}} = 1 - \frac{Q_{CED}}{Q_{ABS}}$$

# Cartagena99

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





# 4.5 Ciclos de Motores Alternativos



## 4.5.2 Ciclo Diesel

### Rendimiento Térmico del ciclo

$$Q_{CED} = C_V \cdot (T_1 - T_4) \quad (< 0) \text{ (J / kg)} \quad [4.31]$$

$$Q_{ABS} = C_P \cdot (T_3 - T_2) \quad (> 0) \text{ (J / kg)} \quad [4.36]$$



$$\eta_{DIESEL} = 1 - \frac{C_V (T_4 - T_1)}{C_P (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{(T_4 - T_1)}{\gamma \cdot (T_3 - T_2)} \quad [4.37]$$

Relación de combustión:  $\xi = \frac{V_3}{V_2}$

Relación de compresión:  $\varepsilon = \frac{V_1}{V_2}$

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



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

# Cartagena99



4.1. Definición y Clasificación de Máquinas Térmicas

4.2. Ciclos de Motores Rotativos

4.3. Modificaciones del ciclo Rankine

4.4. Modificaciones del ciclo Brayton

4.5. Ciclos de Motores Alternativos

4.6. Ciclos de Refrigeración

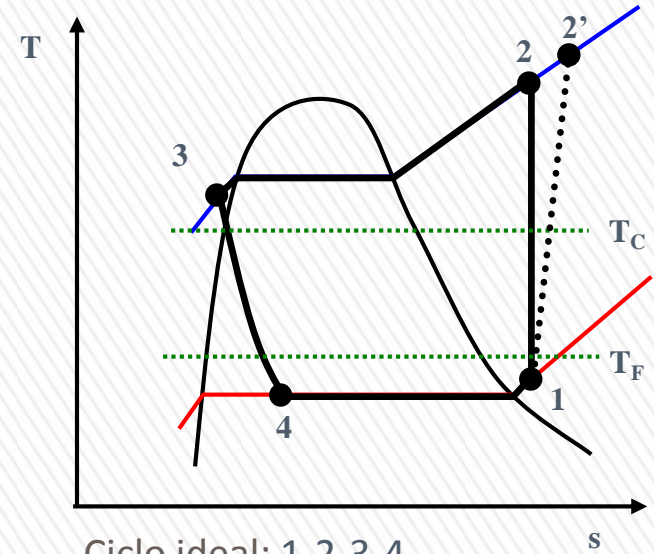
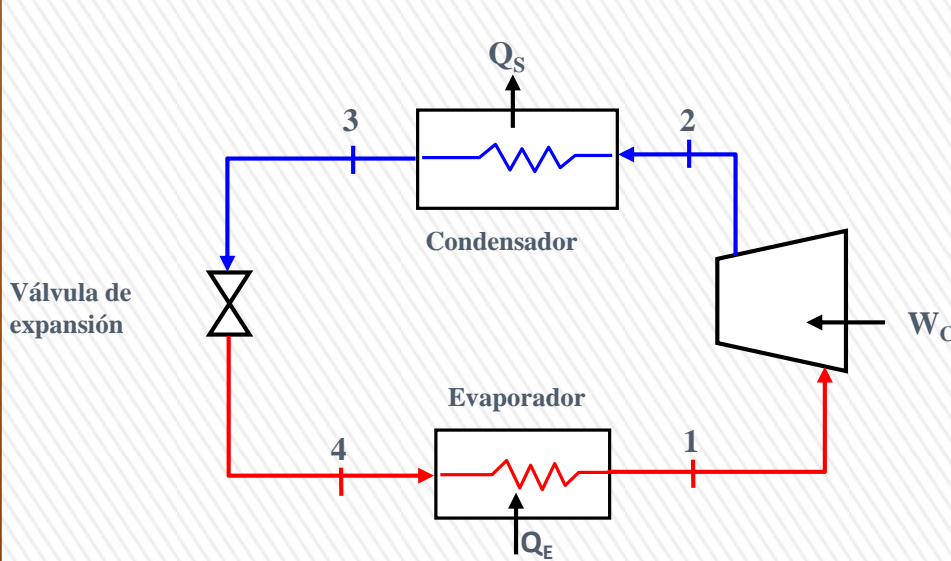
Cartagena99

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

## 4.6.1 Ciclo de Refrigeración por Compresión de Vapor



Ciclo ideal: 1-2-3-4  
Irreversibilidades en compresor: 1-2'-3-4

### Ciclo ideal

- Etapa 1 → 2. Compresión isoentrópica del refrigerante
- Etapa 2 → 3. Condensación y enfriamiento del refrigerante a presión constante

**Cartagena99**

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ---  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



# 4.6 Ciclos de Refrigeración



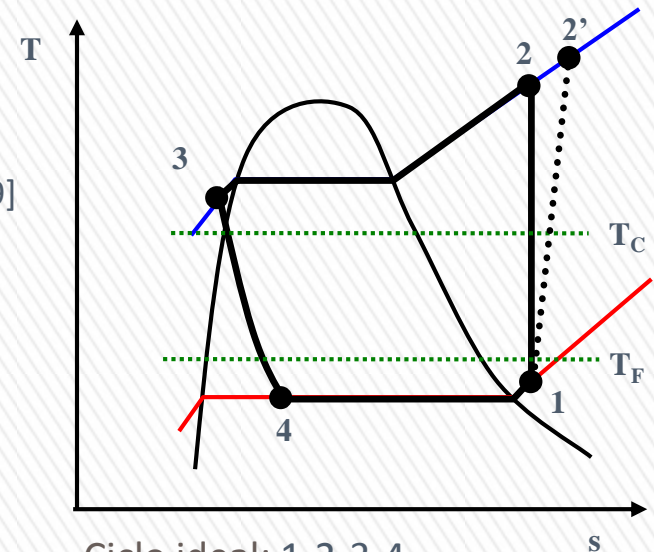
## 4.6.1 Ciclo de Refrigeración por Compresión de Vapor

### Coeficiente de Operación

$$\beta = \frac{\text{Efecto refrigerante}}{\text{Trabajo consumido}} = \frac{|Q_E|}{|W_C|} = \frac{|h_1 - h_4|}{|h_1 - h_2|} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad [4.39]$$

### Irreversibilidades en Compresor

$$\eta_c = \frac{|W_C|_s}{|W_C|} = \frac{|h_1 - h_2|}{|h_1 - h_{2'}|} \quad [4.40]$$



Ciclo ideal: 1-2-3-4

Irreversibilidades en compresor: 1-2'-3-4

# Cartagena99

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

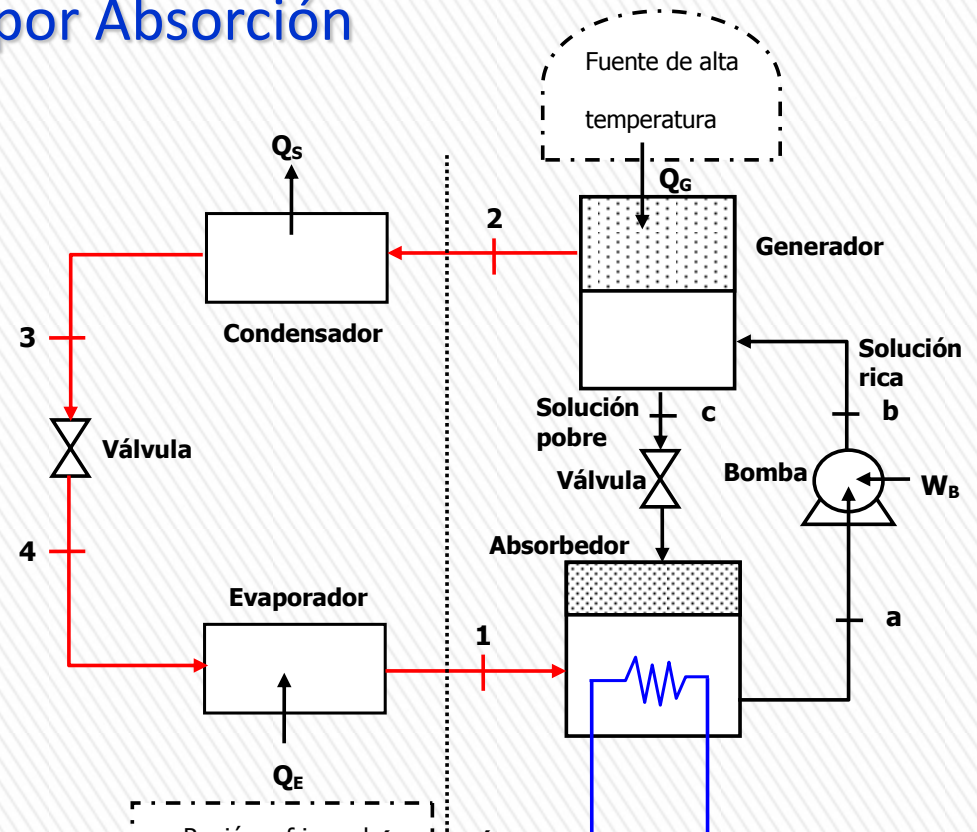


# 4.6 Ciclos de Refrigeración



## 4.6.2 Ciclo de Refrigeración por Absorción

Refrigerante	Disolvente
Amoníaco	Agua
Agua	Bromuro de litio



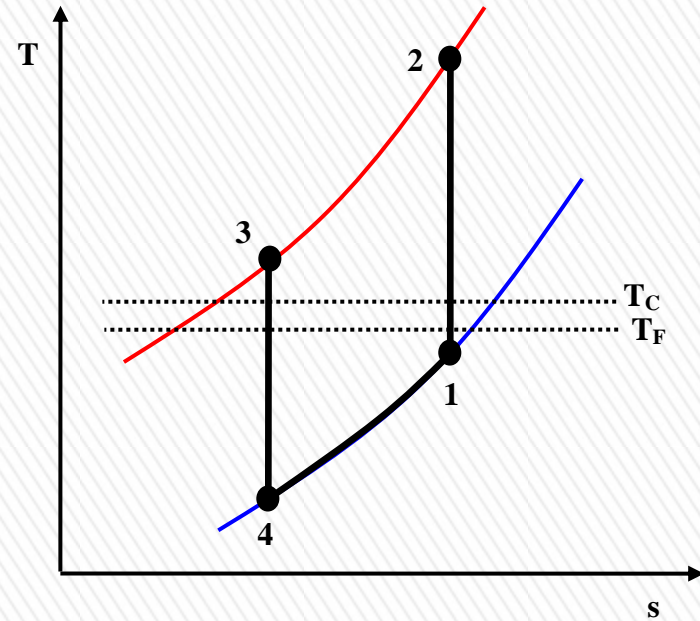
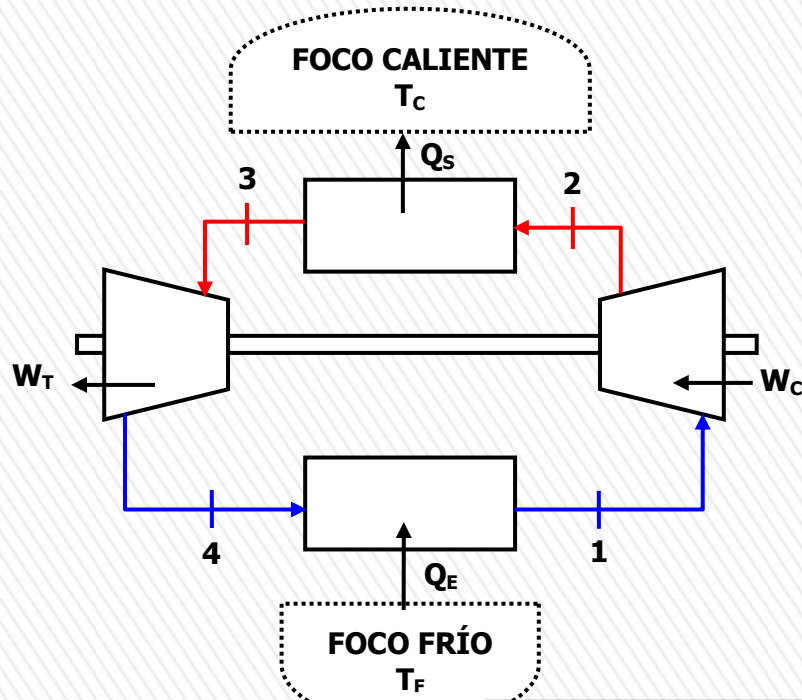
# Cartagena99

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



## 4.6.3 Ciclo de Brayton Invertido



Coeficiente de Operación

Cartagena99

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



# Bibliografía



1.- Fundamentos de termodinámica técnica. M. J. Morán y H. N. Shapiro.  
Editorial Reverté, Barcelona, 1998-1999.

2.- Termotecnia básica para ingenieros químicos. A. de Lucas. Ediciones  
de la Universidad de Castilla La Mancha, 2004-2007

Cartagena99

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