

TD. T5.- Ciclos de Potencia

Las transparencias son el material de apoyo del profesor para impartir la clase. No son apuntes de la asignatura. Al alumno le pueden servir como guía para recopilar información (libros, ...) y elaborar sus propios apuntes

Departamento: Ingeniería Eléctrica y Energética
Area: Máquinas y Motores Térmicos

CARLOS J RENEDO renedoc@unican.es
Despachos: ETSN 236 / ETSIIT S-3 28
<http://personales.unican.es/renedoc/index.htm>
Tlfn: ETSN 942 20 13 44 / ETSIIT 942 20 13 82

1

TD. T5.- Ciclos de Potencia

Objetivos:

Este tema es el más extenso del bloque, en él se estudian los ciclos termodinámicos, destinados a la obtención de potencia o trabajo. En primer lugar se abordan los ciclos de vapor, para finalizar con los ciclos de gas. Se estudiarán tanto los ciclos simples como los mejorados con recalentamiento, regeneración, extracción, o refrigeración intermedia

El tema se complementa con una práctica de laboratorio sobre la simulación por ordenador de ciclos termodinámicos de potencia

2

1.- Introducción

2.- Ciclos de Vapor

- 2.1.- Ciclo de Carnot
- 2.2.- Ciclo Rankine
- 2.3.- Ciclo Rankine con recalentamiento
- 2.4.- Ciclo Rankine con regeneración
- 2.5.- Ciclo Rankine con regeneración y recalentamiento
- 2.6.- Ciclo Rankine supercrítico
- 2.7.- Pérdidas en el ciclo Rankine

3.- Ciclos de Aire

- 3.1.- Compresores
- 3.2.- Ciclo de aire estándar
- 3.3.- Ciclo de Carnot
- 3.4.- Ciclo Otto
- 3.5.- Ciclo Diesel
- 3.6.- Ciclo Dual
- 3.7.- Ciclos Ericson y Stirling
- 3.8.- Ciclo Brayton
- 3.9.- Ciclo Brayton regenerativo
- 3.10.-Ciclo Brayton con recalentamiento
- 3.11.- Ciclo Brayton regenerativo con recalentamiento y refrigeración

4.- Ciclo Combinado

5.- Cogeneración

6.- Máquinas Térmicas

- 6.1.- Turbinas de vapor
- 6.2.- Motores de combustión
- 6.3.- Turbinas de gas
- 6.4.- Motor Stirling

1.- Introducción

Los ciclos termodinámicos son la base de la utilización energética

En los ciclos de potencia:

- Se extrae calor (combustible), Q_{FC} , de un foco a alta temperatura, T_{FC}
- Se obtiene trabajo útil, W
- Se cede calor residual Q_{FF} , a un foco a baja temperatura, T_{FF} (aire ambiente, o agua de mar, de un río, ...)

Se cumple la condición de equilibrio de la energía:

[T2] Sist. Ab. $Q_{FC} = W + Q_{FF}$

$$w = \int_1^2 v \cdot dp \quad ; \text{En bombas (liq) } v \approx \text{cte} \Rightarrow w = v \cdot (p_2 - p_1)$$

$v \left[\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right] = \frac{1}{\rho [\text{kg}/\text{m}^3]}$

$$dq + |dw_r| = dh - v \cdot dp \quad ; \text{En cald/cond (p = cte)} \Rightarrow dq = dh$$

$$Q = M \cdot \left(h_2 - h_1 + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2} \right) + W_t$$

En las Turbinas $Q = 0$, y $\Delta E_{cin} = 0 \Rightarrow W_t = M \cdot (h_1 - h_2)$

$$c = \frac{dq + |w_r|}{dT} \quad \text{gas perfecto} \quad h_2 - h_1 = c_p \cdot (T_2 - T_1)$$

1.- Introducción (II)

En las Turbinas $Q = 0$, y $\Delta E_{cin} = 0 \Rightarrow W_t = M \cdot (h_1 - h_2)$

VAPOR DE AGUA $p = 1,0 \text{ bar}$

T	v	Entalpia	kJ / m ³
°C	m ³ /kg	kJ / kg	
0	1,2559	503,5	400.91
250	2,4136	980,6	406.28
500	3,6735	1.545,8	420.80
750	4,7211	2.053,0	434.86
1.000	5,8748	2.647.4	450.64

AIRE $p = 1,0 \text{ bar}$

T	v	Entalpia	kJ / m ³
°C	m ³ /kg	kJ / kg	
0	0,7837	274	349.62
250	1,5013	528,6	352.09
500	2,2189	795	358.29
750	2,9366	1.075,9	366.38
1.000	3,6542	1.368,6	374.53

$p = 10 \text{ bar}$

T	v	Entalpia	kJ / m ³
°C	m ³ /kg	kJ / kg	
0	0,1260	503,5	3.996,03
250	0,2414	980,6	4.062,14
500	0,3674	1.545,8	4.207,40
750	0,4721	2.053,0	4.348,65
1.000	0,5875	2.647.4	4.506,21

$p = 10 \text{ bar}$

T	v	Entalpia	kJ / m ³
°C	m ³ /kg	kJ / kg	
0	0,0784	274	3.494,90
250	0,1501	528,6	3.521,65
500	0,2219	795	3.582,69
750	0,2937	1.075,9	3.663,26
1.000	0,3654	1.368,6	3.745,48

5

1.- Introducción (II)

En las Turbinas $Q = 0$, y $\Delta E_{cin} = 0 \Rightarrow W_t = M \cdot (h_1 - h_2)$

VAPOR DE AGUA $p = 1,0 \text{ bar}$

T	v	Entalpia	kJ / m ³
°C	m ³ /kg	kJ / kg	
0	1,2559	503,5	400.91
250	2,4136	980,6	406.28
500	3,6735	1.545,8	420.80
750	4,7211	2.053,0	434.86
1.000	5,8748	2.647.4	450.64

AIRE $p = 1,0 \text{ bar}$

T	v	Entalpia	kJ / m ³
°C	m ³ /kg	kJ / kg	
0	0,7837	274	349.62
250	1,5013	528,6	352.09
500	2,2189	795	358.29
750	2,9366	1.075,9	366.38
1.000	3,6542	1.368,6	374.53

En condiciones iguales el V.A lleva más energía por m³

$p = 10 \text{ bar}$

T	v	Entalpia	kJ / m ³
°C	m ³ /kg	kJ / kg	
0	0,1260	503,5	3.996,03
250	0,2414	980,6	4.062,14
500	0,3674	1.545,8	4.207,40
750	0,4721	2.053,0	4.348,65
1.000	0,5875	2.647.4	4.506,21

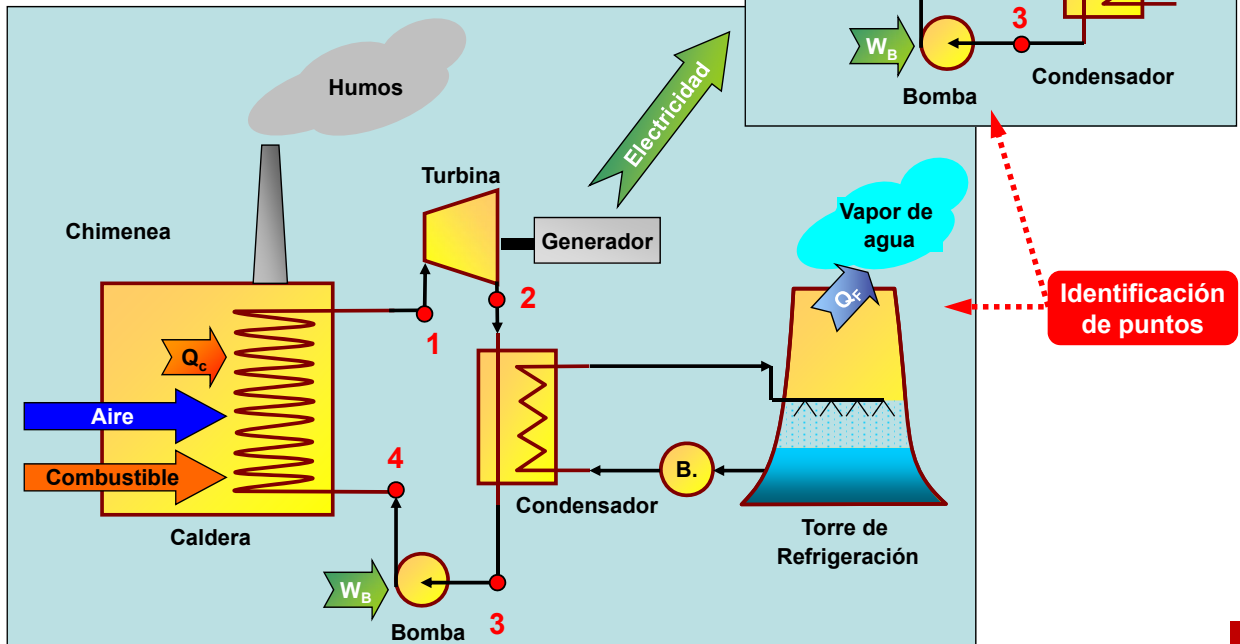
Aumentando p se aumenta la energía por m³

$p = 10 \text{ bar}$

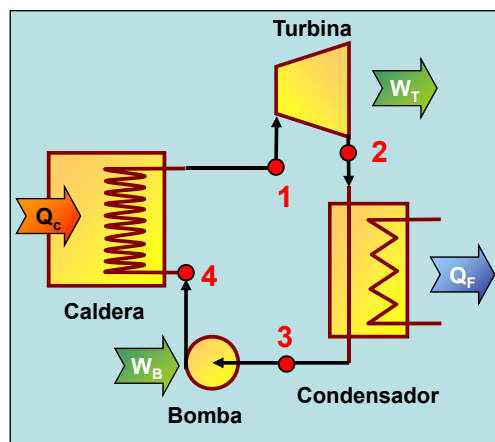
T	v	Entalpia	kJ / m ³
°C	m ³ /kg	kJ / kg	
0	0,0784	274	3.494,90
250	0,1501	528,6	3.521,65
500	0,2219	795	3.582,69
750	0,2937	1.075,9	3.663,26
1.000	0,3654	1.368,6	3.745,48

6

2.- Ciclos de Vapor (I)



2.- Ciclos de Vapor (II)



Identificación de puntos

$$w_{Turb} = h_1 - h_2$$

$$w_{bomb} = v_L \cdot (p_4 - p_3) \quad v_L = 1/\rho_L$$

$$q_{FC} = q_{cald} = h_1 - h_4$$

$$q_{FF} = q_{cond} = h_2 - h_3$$

Por unidad de masa

$$W = W_{Turbina} - W_{Bomba} \approx W_{Turbina}$$

$$\eta = \frac{W}{Q_{FC}} = \frac{M \cdot w}{M \cdot q_{FC}} = \frac{w}{q_{FC}} = \frac{(h_1 - h_2) - (h_4 - h_3)}{h_1 - h_4} \approx \frac{(h_1 - h_2)}{h_1 - h_4} = 1 - \frac{Q_{FF}}{Q_{FC}} = 1 - \frac{q_{FF}}{q_{FC}} = 1 - \frac{h_2 - h_3}{h_1 - h_4} \approx 1 - \frac{h_2 - h_4}{h_1 - h_4}$$

2.- Ciclos de Vapor (III)

Dos ciclos termodinámicos básicos de vapor, el ciclo de Carnot (ideal), y el ciclo de Rankine (real), que tiene diferentes variantes

2.1.- Ciclo de Carnot (I)

Es el ideal

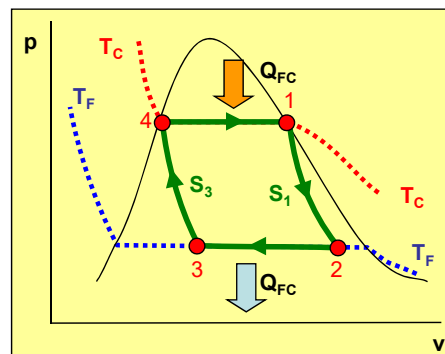
Limitado por dos isothermas y dos adiabáticas (s cte)

$$\eta = 1 - \frac{Q_{FF}}{Q_{FC}}$$

$$q = \int_a^b T \cdot ds \Big|_{T=\text{cte}} = T \cdot (s_b - s_a) \quad [T4]$$

$$\eta = 1 - \frac{T_{FF} \cdot (s_2 - s_3)}{T_{FC} \cdot (s_1 - s_4)}$$

$$\eta_C = 1 - \frac{T_{FF}}{T_{FC}}$$



El foco frío es el medio ambiente, su temperatura es conocida, y W_{\max} es:

$$W = \eta_C \cdot Q_{FC} = \left(1 - \frac{T_{\text{amb}}}{T_{FC}}\right) \cdot Q_{FC}$$

El calor cedido al medio ambiente en ciclos reales es superior al 55%, y se expresa:

$$Q_{FF} = Q_{FC} \cdot \frac{T_{\text{amb}}}{T_{FC}}$$

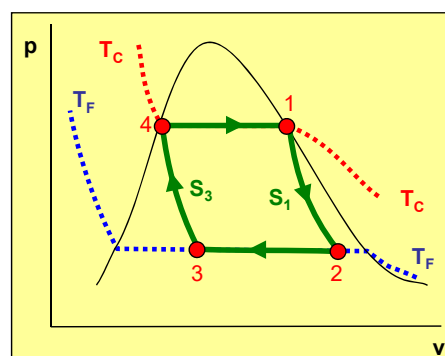
9

2.- Ciclos de Vapor (IV)

2.1.- Ciclo de Carnot (II)

Los elementos esenciales del ciclo son:

- **la turbina** de vapor, (1-2) el vapor se expande con s cte, obteniendo W
- **un condensador**, (2-3) condensa el vapor saliente de la turbina a T (y p) ctes
- **una bomba**, (3-4) en la que se eleva la presión isoentrópicamente
- **una caldera**, (4-1) a T (y p) ctes se vaporiza el agua



El trabajo absorbido en la bomba, en primera aproximación, se desprecia, ya que el obtenido en la turbina es mucho mayor

10

2.- Ciclos de Vapor (V)

2.2.- Ciclo Rankine (I)

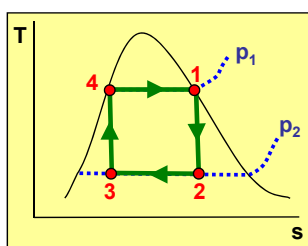
El ciclo de *Carnot* presenta dos problemas prácticos:

La bomba trabaja mal si lo hace con vapor

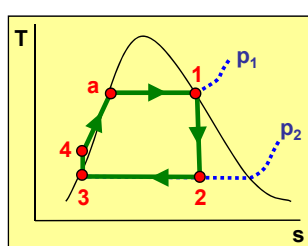
Si la expansión se realiza en la zona de vapor saturado corren peligro los álabes de la turbina, hay que limitar formación de agua líquida

El ciclo real trabaja con cambio de fase, el ciclo *Rankine*

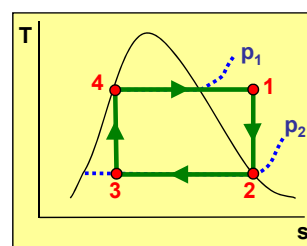
Este ciclo, también lo describen dos isoentrópicas y dos isobaras



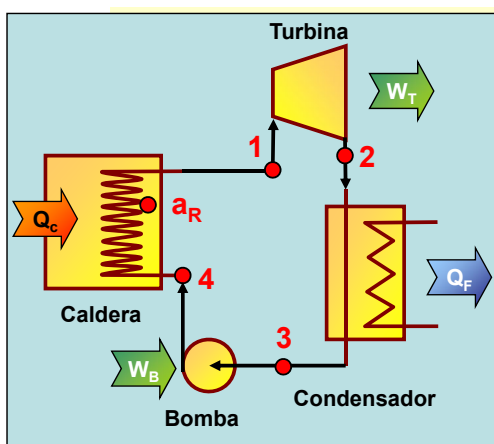
Ciclo de Carnot



Ciclo de Rankine evitando vapor en la bomba



Ciclo de Rankine evitando vapor en la turbina (teórico)



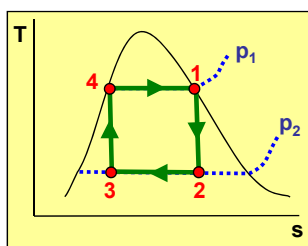
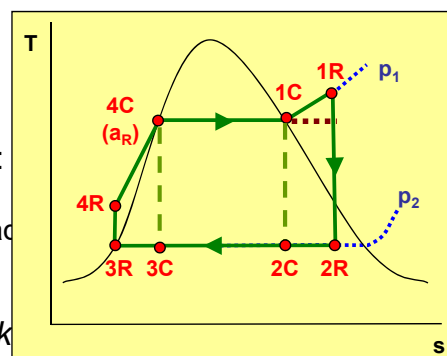
Los problemas prácticos:

La bomba trabaja mal si lo hace con vapor

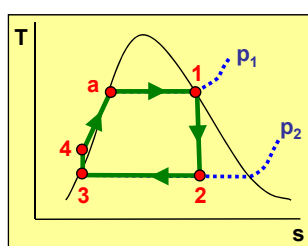
Si la expansión se realiza en la zona de vapor saturado corren peligro los álabes de la turbina, hay que limitar formación de agua líquida

El ciclo real trabaja con cambio de fase, el ciclo *Rankine*

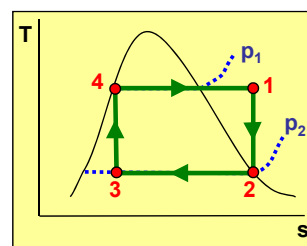
Este ciclo, también lo describen dos isoentrópicas y dos isobaras



Ciclo de Carnot



Ciclo de Rankine evitando vapor en la bomba



Ciclo de Rankine evitando vapor en la turbina (teórico)

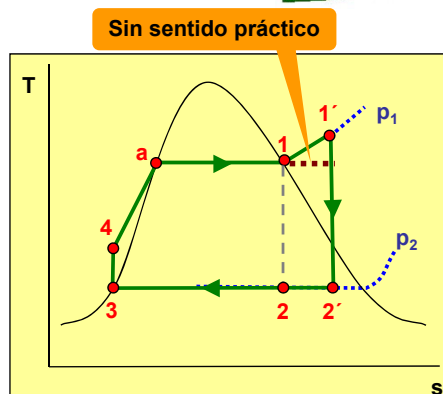
2.- Ciclos de Vapor (VII)

2.2.- Ciclo Rankine (II)

Para evitar líquido en la turbina, se aumenta la T de entrada, **sobrecalentamiento**

El aumento de T_{max} del ciclo ($T_{1'} > T_1$) $\uparrow \eta$

$$\eta_C > \eta_R$$



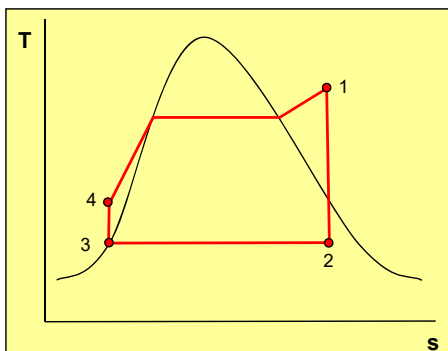
Para que ($T_{1'} = T_1$) debería $\downarrow p$ a medida que se evapora el agua (esto no tiene sentido práctico)

En primera aproximación se desprecia el trabajo absorbido por la bomba

$$\left. \begin{aligned} w_{Turb} &= h_1 - h_2 \\ w_{bomb} &= v_L \cdot (p_4 - p_3) \\ q_{FC} &= q_{cald} = h_1' - h_4 \\ q_{FF} &= q_{cond} = h_2' - h_3 \end{aligned} \right\}$$

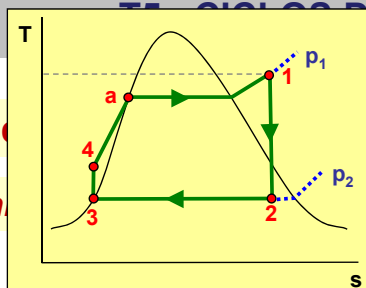
$$\eta_R = \frac{W_{turb} - W_{bomb}}{Q_{cald}} \approx \frac{W_{turb}}{Q_{cald}} = \frac{w_{turb}}{q_{cald}} = \frac{h_1' - h_2'}{h_1' - h_4}$$

En una planta de potencia de vapor de agua que funcione entre las presiones de 10 kPa y 2 MPa con una temperatura máxima de 400°C. ¿Cual es el máximo rendimiento de ese ciclo?

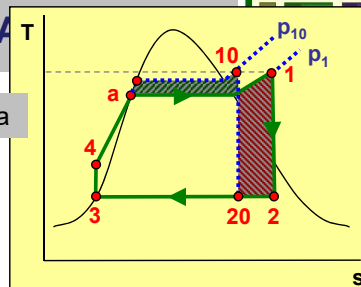


2.- Ciclos de vapor (VI)

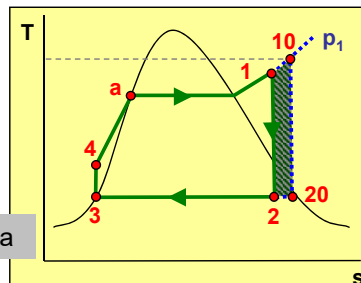
2.2.- Ciclo Rankine (III)



↑p caldera



↑T caldera



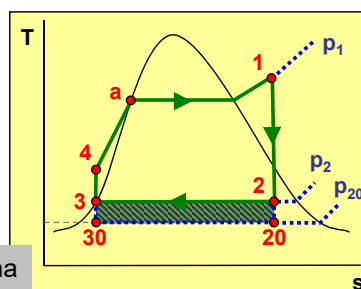
Para mejorar el rendimiento hay que: ↑W y/o ↓Q₁:

- aumentar la presión en la caldera (?¿)
- aumentar la temperatura en la caldera
- disminuir la temperatura de salida de la turbina

Se debe:

- respetar la T_{max} de la caldera, limitada por los materiales, del orden de 600°C
- evitar trabajar en la zona de vapor saturado (pto 20)
- considerar la T_{min} que se dispone para condensar

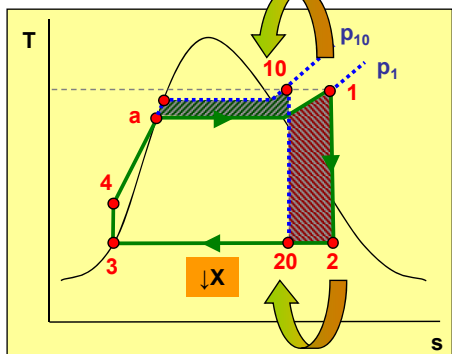
↓T salida Turbina



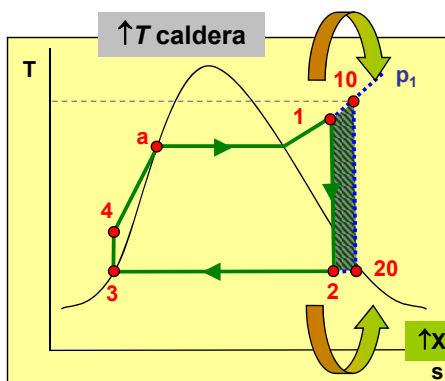
2.- Ciclos de vapor (VI)

2.2.- Ciclo Rankine (III)

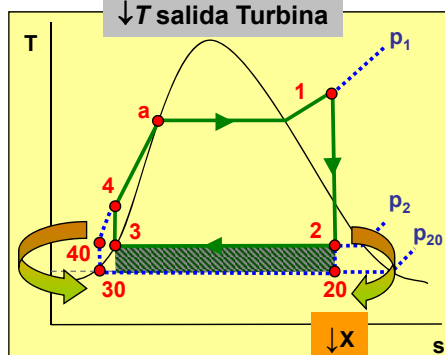
↑p caldera



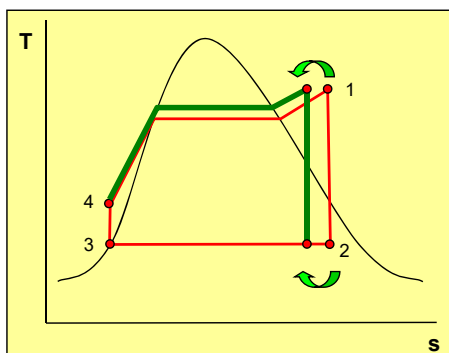
↑T caldera



↓T salida Turbina

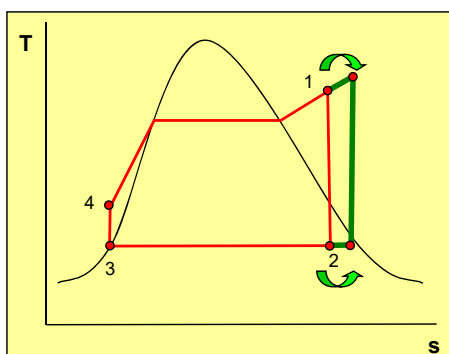


En una planta de potencia de vapor de agua que funcione entre las presiones de 10 kPa y **4 MPa** con una temperatura máxima de 400°C. ¿Cual es el máximo rendimiento de ese ciclo?



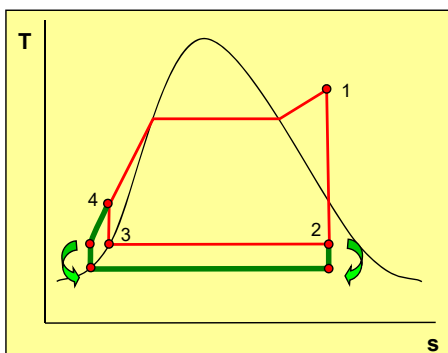
17

En una planta de potencia de vapor de agua que funcione entre las presiones de 10 kPa y 2 MPa con una temperatura máxima de **600°C**. ¿Cual es el máximo rendimiento de ese ciclo?



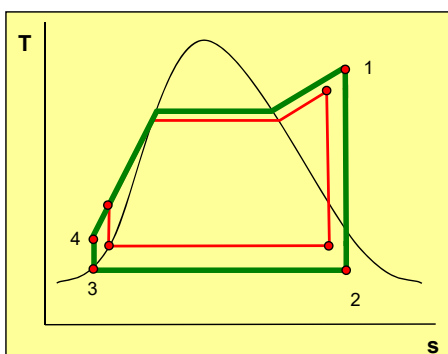
18

En una planta de potencia de vapor de agua que funcione entre las presiones de **4 kPa** y 2 MPa con una temperatura máxima de 400°C. ¿Cual es el máximo rendimiento de ese ciclo?



19

En una planta de potencia de vapor de agua que funcione entre las presiones de **4 kPa** y **4 MPa** con una temperatura máxima de **600°C**. ¿Cual es el máximo rendimiento de ese ciclo?



20

2.- Ciclos de Vapor (VIII)

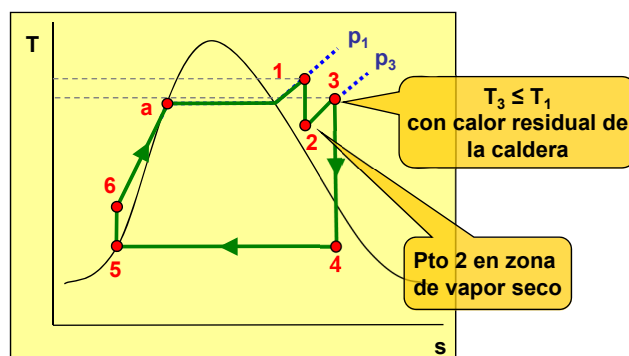
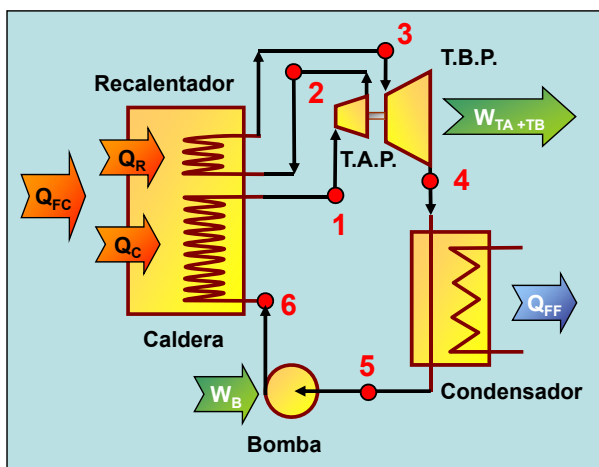
2.3.- Ciclo Rankine con Recalentamiento

Tras expandir el vapor en una turbina de alta presión (T.A.P./T.H.P) se recalienta para volver a ser expansionarlo en una turbina de baja (T.B.P./T.L.P.)

Es posible encontrar turbinas que incluyan las dos etapas

Despreciando W_B

$$\eta_{R \text{ Recal}} \approx \frac{W_{THP} + W_{TLP}}{Q_{Cald+Rec}} = \frac{w_{THP} + w_{TLP}}{q_{Cald+Rec}} = \frac{(h_1 - h_2) + (h_3 - h_4)}{(h_1 - h_6) + (h_3 - h_2)}$$

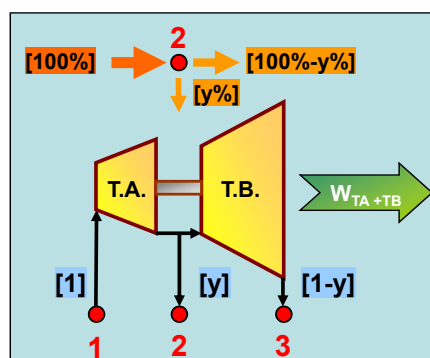


↑ W, pero no η, ya que también ↑ Q_{FC}

2.- Ciclos de Vapor (IX)

2.4.- Ciclo Rankine con Regeneración (I)

Para ↓Q₁ se puede precalentar el agua que entra en la caldera con un sangrado o extracción de vapor de la turbina



La p del sangrado debe ser tal que su T de saturación sea la intermedia entre la de condensación y la de saturación en la caldera

Si hay varios sangrados, las temperaturas deben ser “equidistantes”

$$\Delta T_{\text{Sat Sangrado}} = \frac{T_{\text{Sat Caldera}} + T_{\text{Sat Condensador}}}{n^{\circ} \text{ Sangrados} + 1}$$

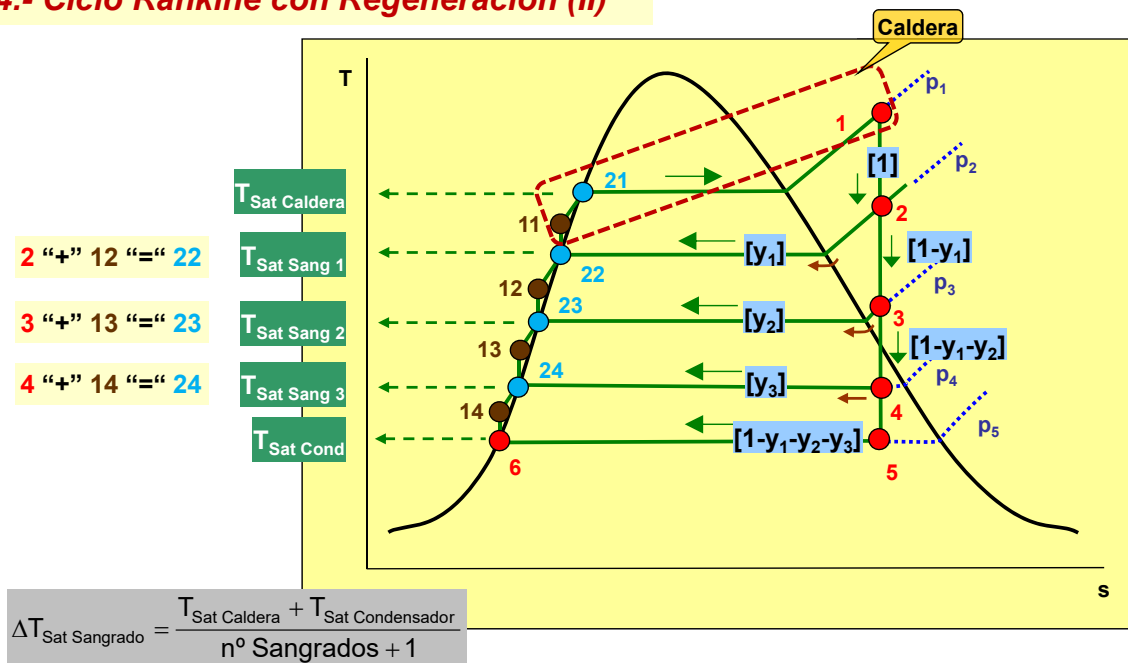
La unión del sangrado con el condensado se realiza en un elemento calentador, que puede ser abierto (mezcla) o cerrado (intercambio térmico)

$$m_{\text{alim}} = m_{\text{sv}} + m_{\text{c}}$$

$$[1] = [y] + [1-y]$$

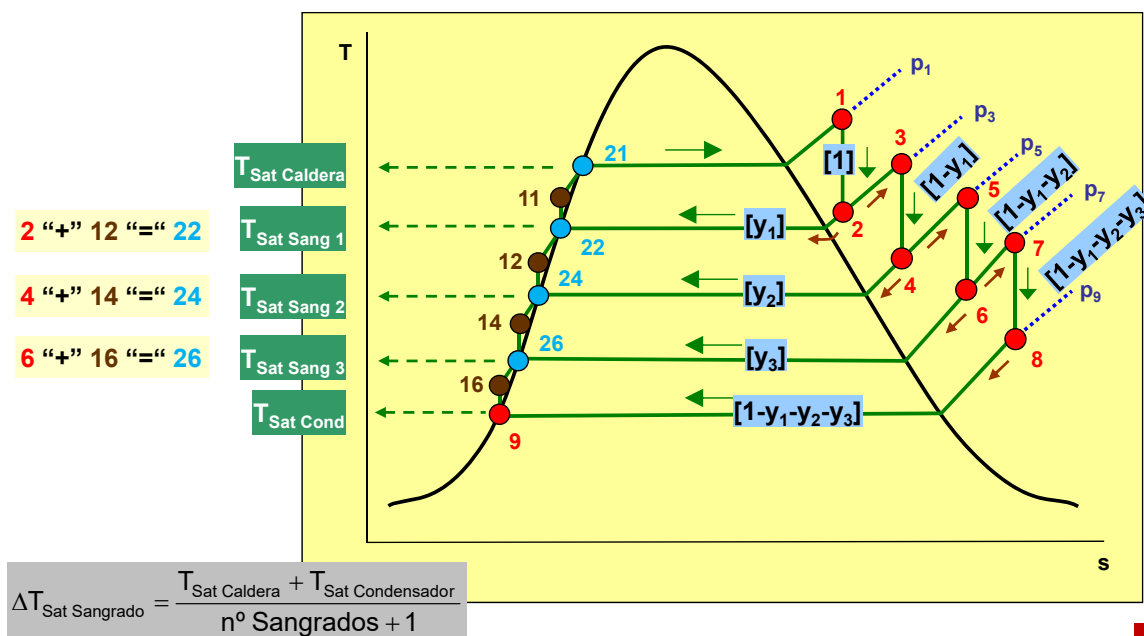
2.- Ciclos de Vapor (X)

2.4.- Ciclo Rankine con Regeneración (II)



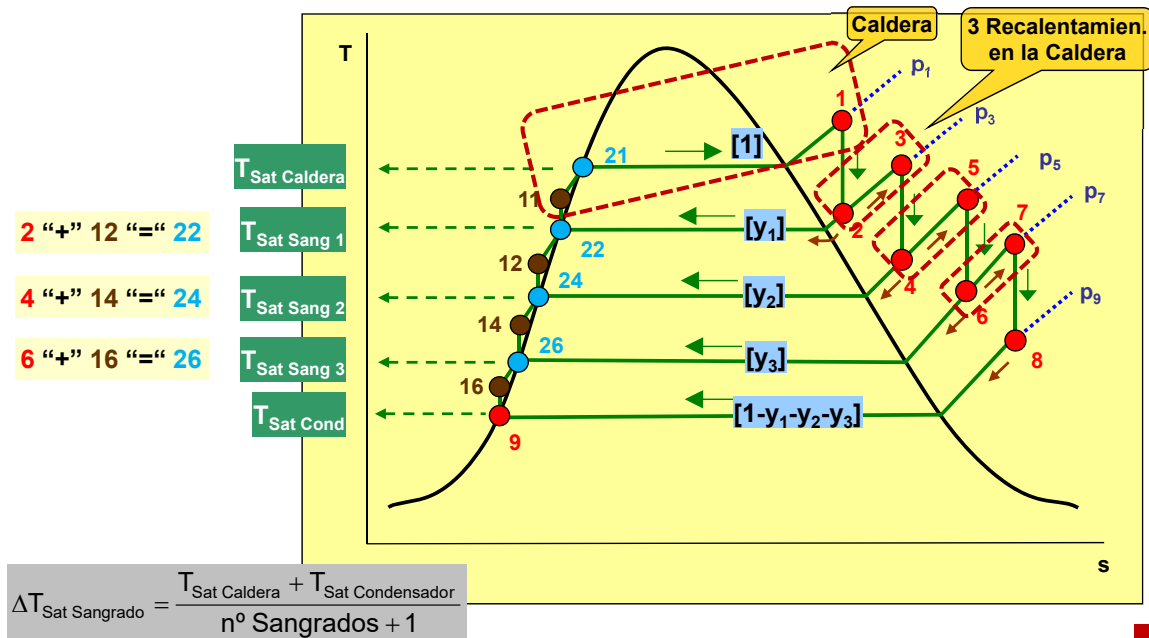
2.- Ciclos de Vapor (X)

2.4.- Ciclo Rankine con Regeneración (II) y Recalentamiento ...



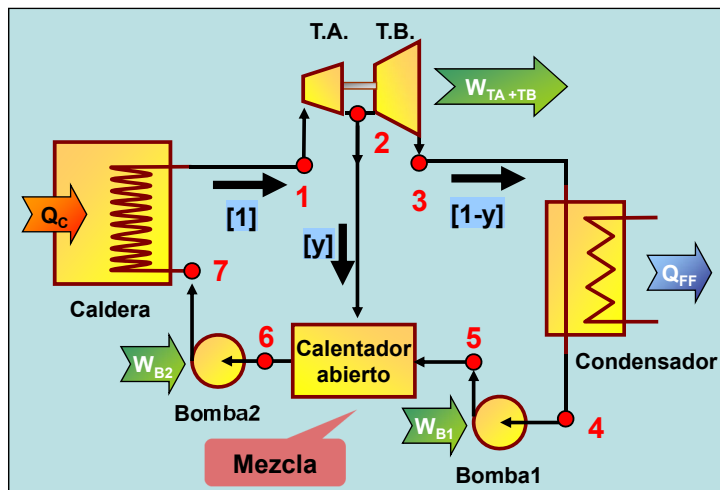
2.- Ciclos de Vapor (X)

2.4.- Ciclo Rankine con Regeneración (II) y Recalentamiento ...



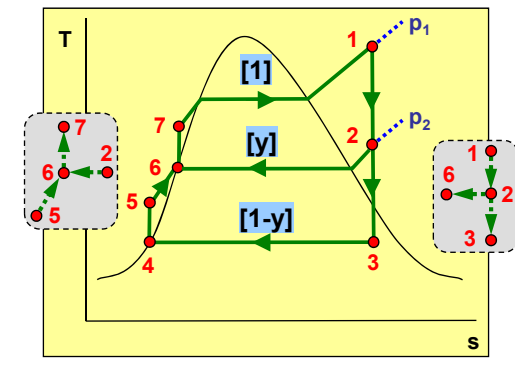
2.- Ciclos de Vapor (XI)

2.4.- Ciclo Rankine con Regeneración (III)



Ec. Masa (Prop agua)

$$m_{\text{alim}} = m_{\text{sv}} + m_{\text{c}}$$



Despreciando W_B

$$\eta_{\text{RRRegen}} \approx \frac{W_{\text{THP}} + W_{\text{TLP}}}{Q_{\text{Cald}}} = \frac{W_{\text{THP}} + W_{\text{TLP}}}{q_{\text{Cald}}} = \frac{1 \cdot (h_1 - h_2) + [1-y] \cdot (h_2 - h_3)}{1 \cdot (h_1 - h_7)}$$

2.- Ciclos de Vapor (XII)

2.4.- Ciclo Rankine con Regeneración (IV)

Ec. Masa
(Prop agua)

$$m_{alim} = m_{sv} + m_c$$

$$1 = \frac{m_{sv}}{m_{alim}} + \frac{m_c}{m_{alim}}$$

$$[y] \Rightarrow [1-y]$$

$$[1] = [y] + [1-y]$$

Ec. Energía
(Prop agua)

$$h_{alim} \cdot m_{alim} = h_{sv} \cdot m_{sv} + h_c \cdot m_c$$

$$h_7 \cdot m_7 = h_2 \cdot m_2 + h_6 \cdot m_6$$

$$h_{alim} = h_{sv} \cdot \frac{m_{sv}}{m_{alim}} + h_c \cdot \frac{m_c}{m_{alim}}$$

$$h_7 = h_2 \cdot \frac{m_2}{m_7} + h_6 \cdot \frac{m_6}{m_7}$$

$$h_{alim} = h_{sv} \cdot y + h_c \cdot (1-y)$$

$$h_7 = h_2 \cdot y + h_6 \cdot (1-y)$$

$$h_{alim} = y \cdot h_{sv} + h_c - y \cdot h_c$$

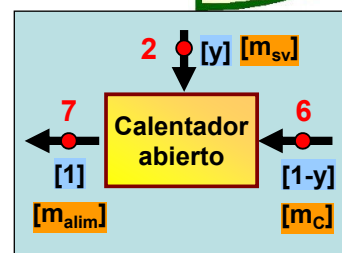
$$h_7 = y \cdot h_2 + h_6 - y \cdot h_6$$

$$h_{alim} - h_c = y \cdot (h_{sv} - h_c)$$

$$h_7 - h_6 = y \cdot (h_2 - h_6)$$

$$y = \frac{h_{alim} - h_c}{h_{sv} - h_c}$$

$$y = \frac{h_7 - h_6}{h_2 - h_6}$$

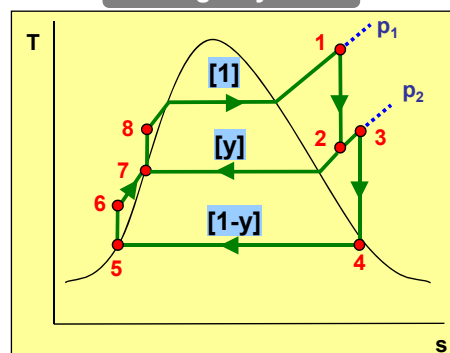


$$m_{alim} = m_7 \quad h_{alim} = h_7$$

$$m_{sv} = m_2 \quad h_{sv} = h_2$$

$$m_c = m_6 \quad h_c = h_6$$

con Regen. y Recal.



2.- Ciclos de Vapor (XIII)

2.4.- Ciclo Rankine con Regeneración (V)

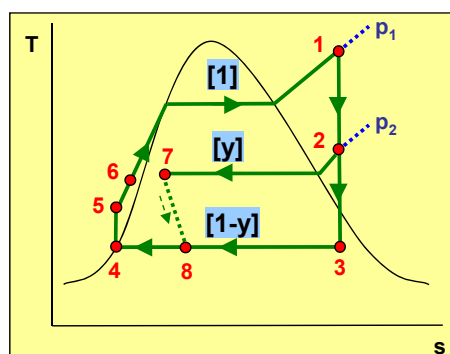
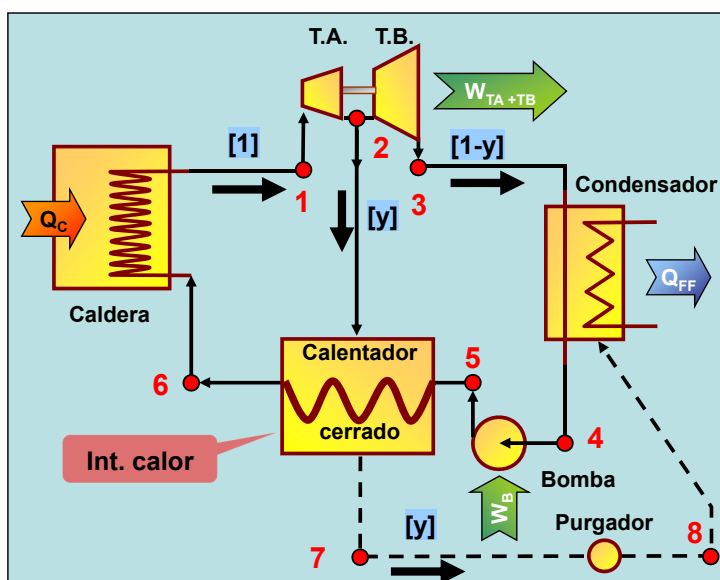
Ec. Masa
(Prop agua)

$$m_{alim} = m_{sv} + m_c$$

Ec. Energía
(Prop agua)

$$h_{alim} \cdot m_{alim} = h_{sv} \cdot m_{sv} + h_c \cdot m_c$$

$$m_{sv} = m_{alim} \cdot \frac{h_{alim} - h_c}{h_{sv} - h_c}$$



2.- Ciclos de Vapor (XIV)

2.4.- Ciclo Rankine con Regeneración (VI)

Ec. Masa
(Prop agua)

$$m_{alim} = m_{sv} + m_c$$

$$1 = \frac{m_{sv}}{m_{alim}} + \frac{m_c}{m_{alim}}$$

$$[y] \Rightarrow [1-y]$$

$$[1] = [y] + [1-y]$$

Ec. Energía
(Prop agua)

$$m_{alim} \cdot (h_{Sal\ alim} - h_{Ent\ alim}) = m_{sv} \cdot (h_{Ent\ sv} - h_{Sal\ sv})$$

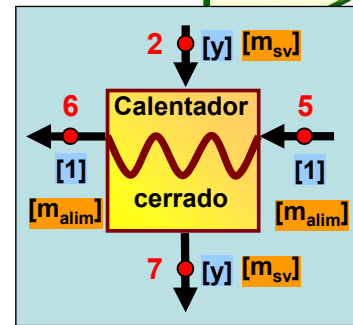
$$m_{alim} \cdot (h_6 - h_5) = m_{sv} \cdot (h_2 - h_7)$$

$$h_{Sal\ alim} - h_{Ent\ alim} = \frac{m_{sv}}{m_{alim}} \cdot (h_{Ent\ sv} - h_{Sal\ sv}) \quad (h_6 - h_5) = \frac{m_{sv}}{m_{alim}} \cdot (h_2 - h_7)$$

$$h_{Sal\ alim} - h_{Ent\ alim} = y \cdot (h_{Ent\ sv} - h_{Sal\ sv}) \quad (h_6 - h_5) = y \cdot (h_2 - h_7)$$

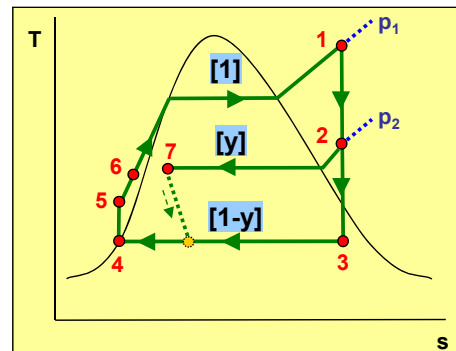
$$y = \frac{h_{Sal\ alim} - h_{Ent\ alim}}{h_{Ent\ sv} - h_{Sal\ sv}}$$

$$y = \frac{h_6 - h_5}{h_2 - h_7}$$



$$m_{alim} = m_5 = m_6 \quad h_{Ent\ alim} = h_5; h_{Sal\ alim} = h_6$$

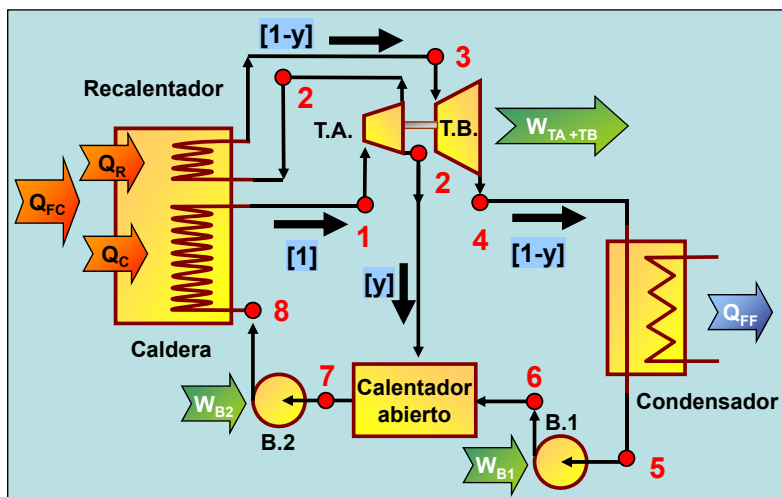
$$m_{sv} = m_2 = m_7 \quad h_{Ent\ sv} = h_2; h_{Sal\ sv} = h_7$$



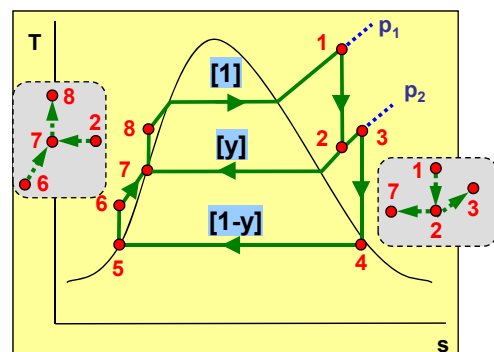
2.- Ciclos de Vapor (XV)

2.5.- Ciclo Rankine con Regeneración y Recalentamiento

El ciclo con regeneración $\uparrow \eta$, pero puede presentar problemas de vapor en la turbina, se suele combinar con el ciclo con recalentamiento



Posible con
Regenerador cerrado



2.- Ciclos

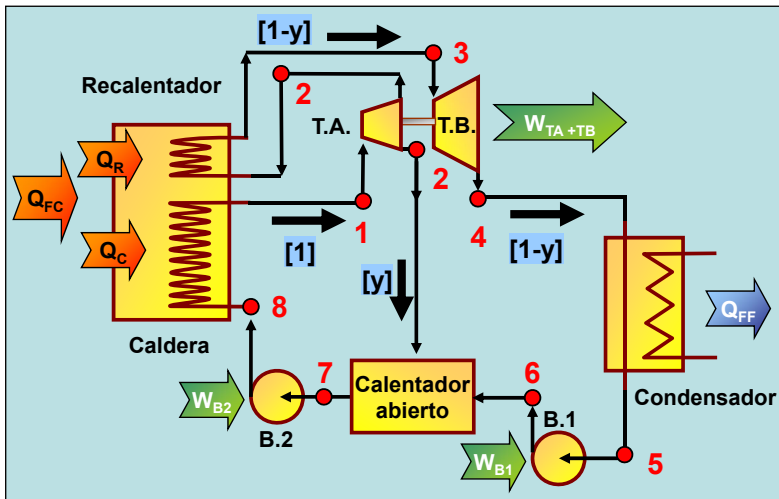
2.5.- Ciclo Rankine

Despreciando W_B

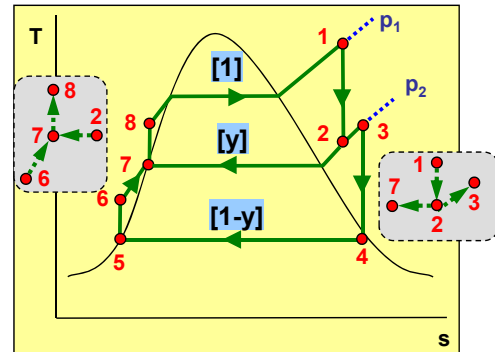
$$\eta_{RRegRec} \approx \frac{W_{THP} + W_{TLP}}{Q_{Cald}} = \frac{W_{THP} + W_{TLP}}{q_{Cald}} = \frac{1 \cdot (h_1 - h_2) + [1-y] \cdot (h_3 - h_4)}{1 \cdot (h_1 - h_8) + [1-y] \cdot (h_3 - h_2)}$$

$Q_C + Q_{Rec}$

El ciclo con regeneración $\uparrow \eta$, pero puede presentar problemas de vapor en la turbina, se suele combinar con el ciclo con recalentamiento

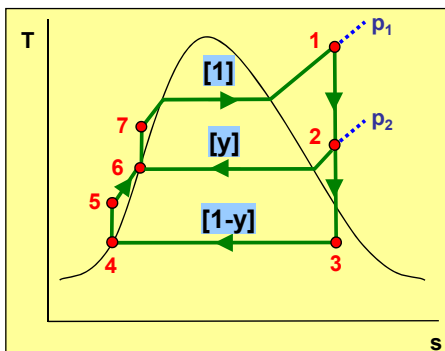


Posible con Regenerador cerrado



T5.- CICLOS DE POTENCIA

En una planta de potencia de vapor de agua que funcione entre las presiones de **4 kPa** y **2 MPa** con una temperatura máxima de **600°C**. Se realiza un sangrado a **200 kPa** para alimentar un **calentador abierto**. ¿Cual es el máximo rendimiento de ese ciclo?

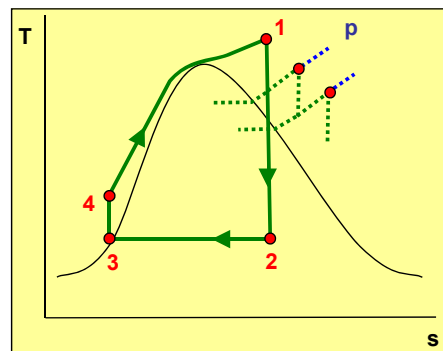


2.- Ciclos de Vapor (XVI)

2.6.- Ciclo Rankine Supercrítico

En los ciclos vistos hasta ahora, la mayor parte de la transferencia de calor se realiza a T igual o inferior a la de vaporización (del orden de 250°C)

Pero la T de los gases en la caldera puede ser mucho mayor



Para mejorar el rendimiento hay que intentar que $T_{\text{vapor}} = T_{\text{humos caldera}}$, para lo que se intenta que la transferencia térmica se haga a T

Este ciclo trata de evitar la zona bifásica

Implica $\uparrow p$ de trabajo, y por lo tanto mayor coste de instalación

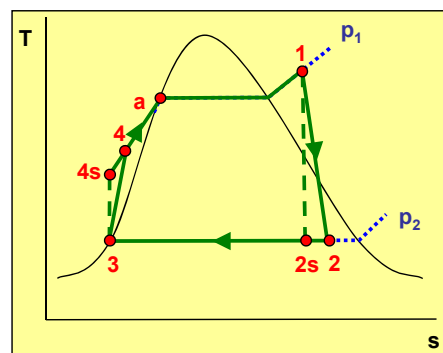
Para evitar la formación de agua en la turbina es necesario que este ciclo se combine con etapas de regeneración y de recalentamiento.

2.- Ciclos de Vapor (XVII)

2.7.- Pérdidas en el Ciclo Rankine

Los ciclos reales tienen pérdidas, debidas a enfriamientos, pérdidas de carga en conductos, en la bomba, etc

El mayor porcentaje se produce en la etapa de expansión, que tiene un rendimiento entre el 80 y el 90%



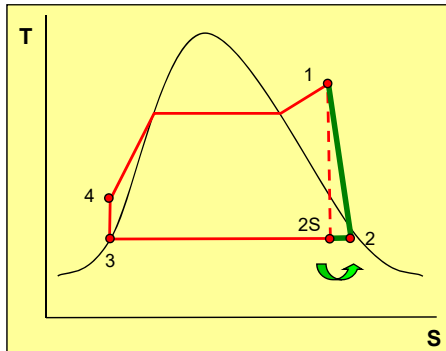
Este efecto $\downarrow \eta$, pero reduce la posibilidad de encontrar agua en la salida de la turbina

$$\left\{ \begin{array}{l} \eta_{\text{Bomb}} = \frac{W_{s=\text{cte}}}{W_{\text{real}}} = \frac{w_{s=\text{cte}}}{w_{\text{real}}} = \frac{h_3 - h_{4s}}{h_3 - h_4} \\ h_4 = h_3 - \frac{h_3 - h_{4s}}{\eta_{\text{Bomb}}} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \eta_{\text{Turb}} = \frac{W_{\text{real}}}{W_{s=\text{cte}}} = \frac{w_{\text{real}}}{w_{s=\text{cte}}} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s}} \\ h_2 = h_1 - \eta_{\text{Turb}} \cdot (h_1 - h_{2s}) \end{array} \right.$$

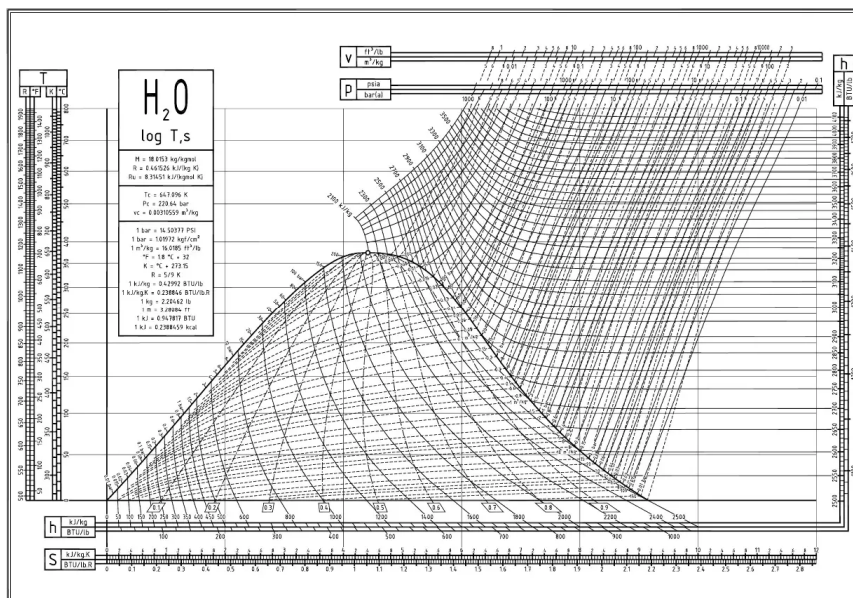
Existen otras pérdidas, como las de la caldera, del orden del 15% del calor suministrado por el combustible, y que deben ser tenidas en cuenta en el rendimiento de la planta térmica ..., por ello el η de los ciclos ronda el 35%

En una planta de potencia de vapor de agua que funcione entre las presiones de 10 kPa y 2 MPa con una temperatura máxima de **600°C**. Si la **turbina**, que está térmicamente aislada, tiene un **rendimiento** adiabático del **90%**. Determinar el máximo rendimiento del ciclo y la temperatura de salida del vapor de agua de la turbina



35

En una planta de potencia de vapor de agua que funcione entre las presiones de 10 kPa y 2 MPa con una temperatura máxima de 400°C. ¿Cual es el máximo rendimiento de ese ciclo?



36

En una planta de potencia de vapor de agua que funcione entre las presiones de 10 kPa y 2 MPa con una temperatura máxima de 400°C.
¿Cual es el máximo rendimiento de ese ciclo?

