Central Térmica Puente Nuevo (Córdoba)

sin torre de enfriamiento

Central Nuclear

Central Nuclear
sin torre de enfriamiento

Central térmica de ciclo combinado

GEMASOLAR (04-10-2011)

UBICADA EN FUENTES DE ANDALUCIA (SEVILLA-SPAIN)

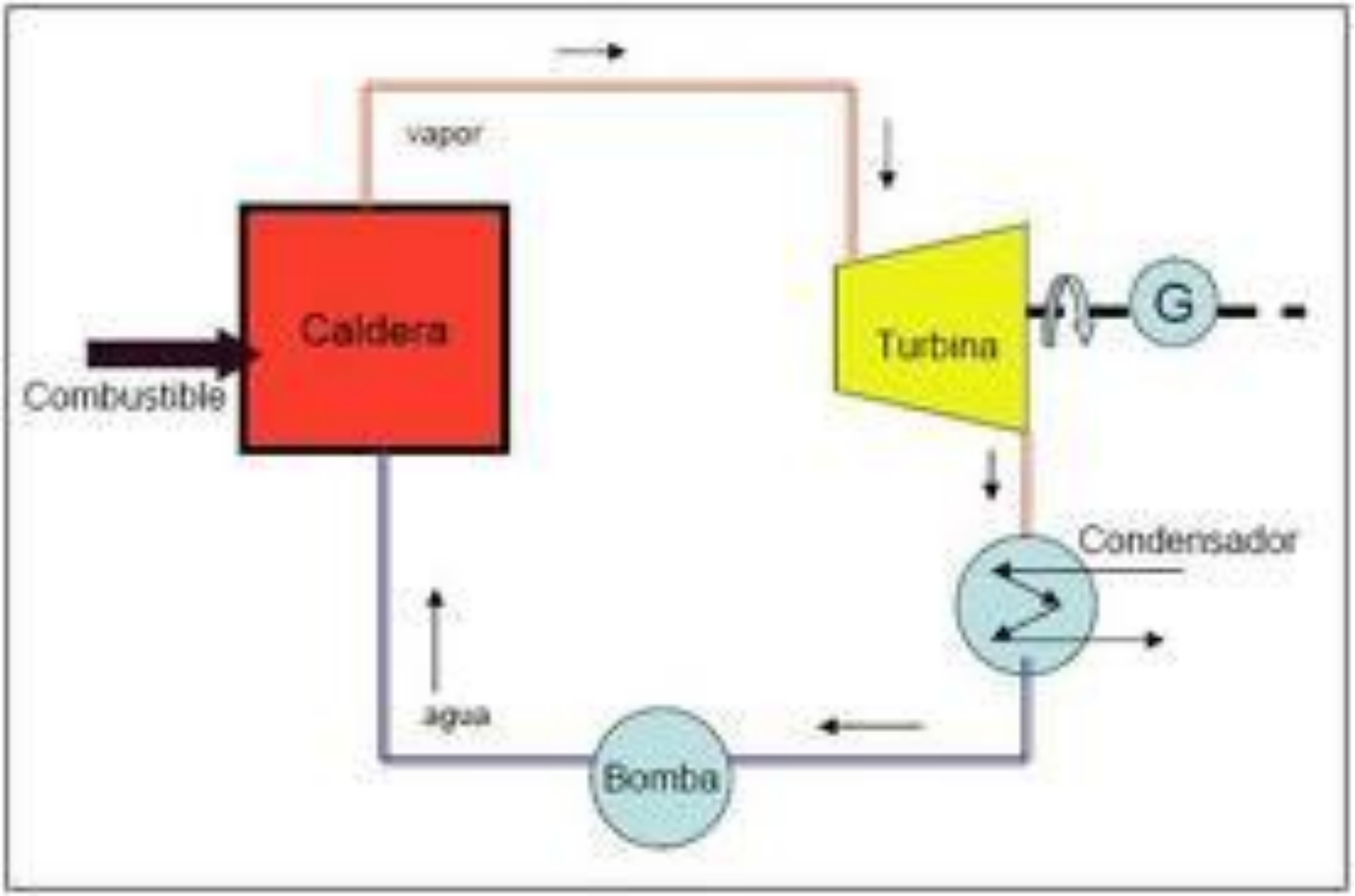
Gemasolar es la primera termosolar comercial del mundo que aplica la tecnología de receptor de torre central (120 m de altura) y almacenamiento térmico en sales fundidas (60% de nitrato de potasio y 40% de nitrato de sodio), que alcanzan temperaturas por encima de los 500°C.

El tanque de almacenamiento de sales calientes permite una autonomía de generación eléctrica de ***hasta 15 horas sin aporte solar***, lo que asegura la producción eléctrica durante unas 6500 horas al año. Potencia 19,9 MW; y 110 GWh/año.

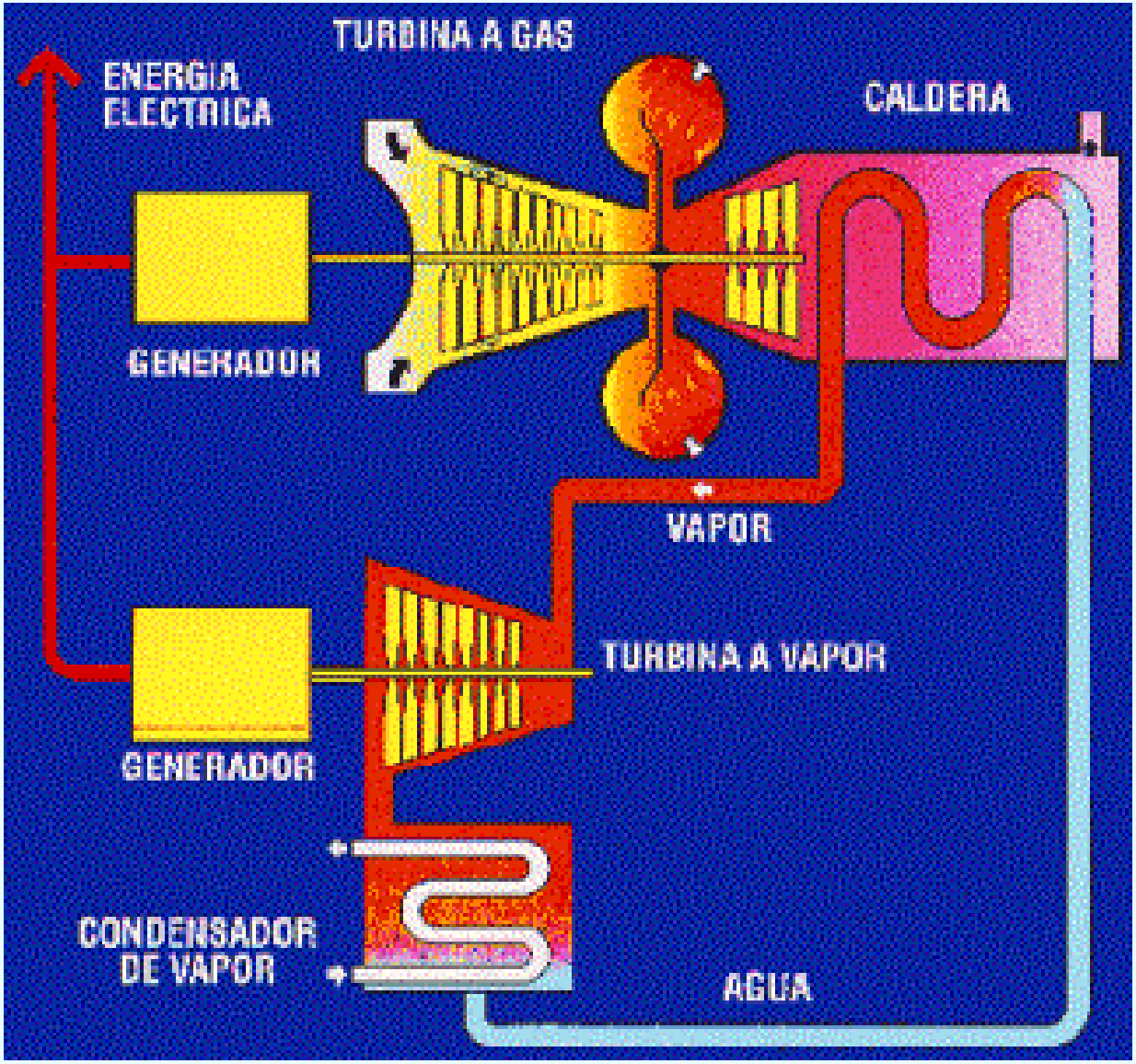
Consta de 2652 eliostatos (panel de espejos). Cada uno tiene una superficie reflectante de 110 metros cuadrados y sigue al sol con dos motores operados por sistemas electrónicos que reajustan la posición 15 veces por minuto.

Central Térmica de biomasa

Esquema simple del circuito de vapor en la central



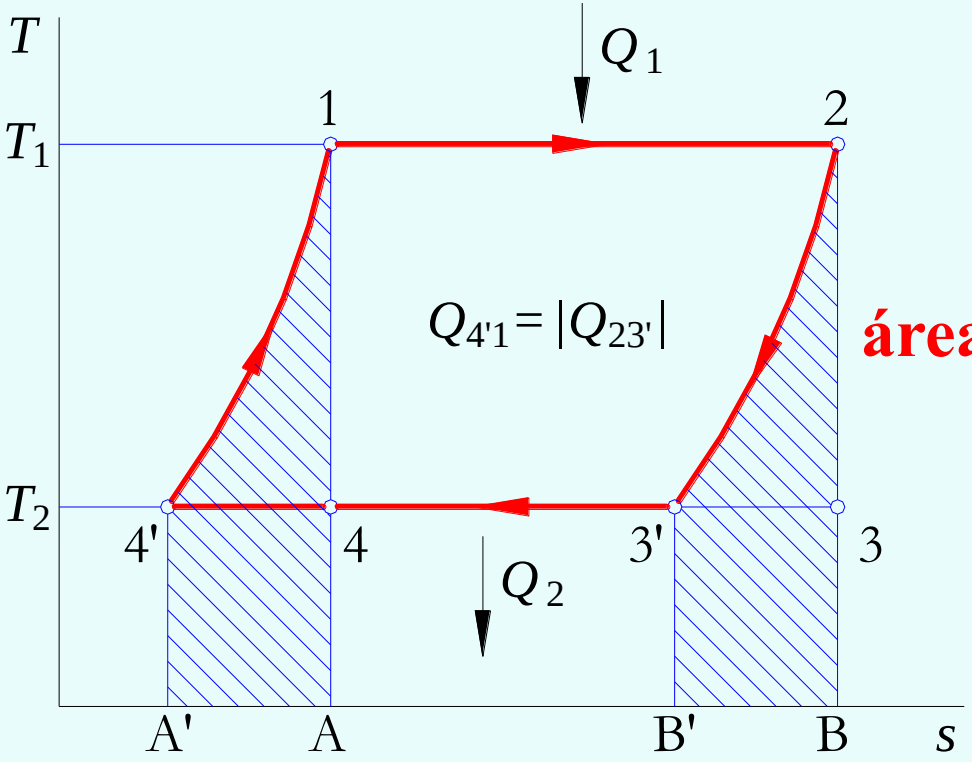
Esquema simple de una central de ciclo combinado



CONCEPTOS TERMODINÁMICOS

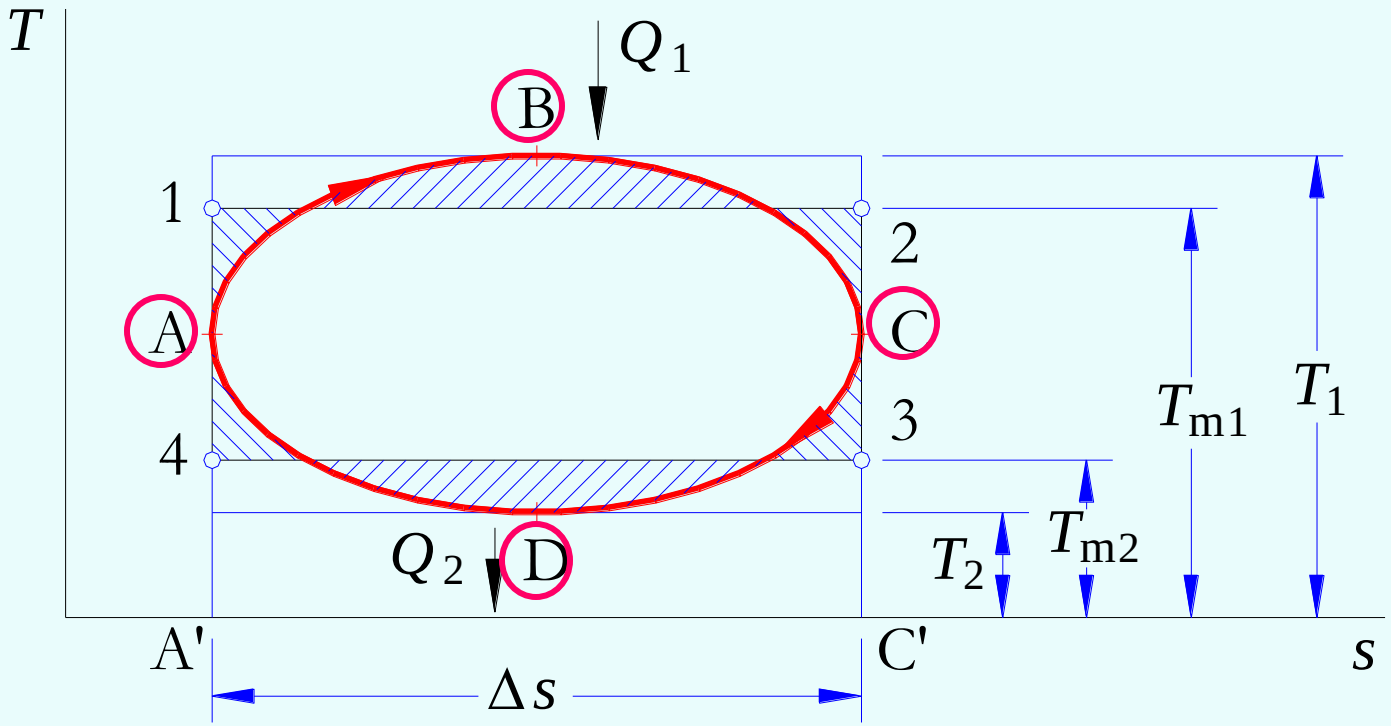
Ciclos de máximo rendimiento

El calor que se necesita para la 4’-1 la suministra el propio fluido, que cede ***teóricamente*** la misma cantidad de calor en la transformación 2-3’



área A’4’1A = área B’3’2B

Rendimiento térmico de un ciclo (ABCDA) en función de las temperaturas medias

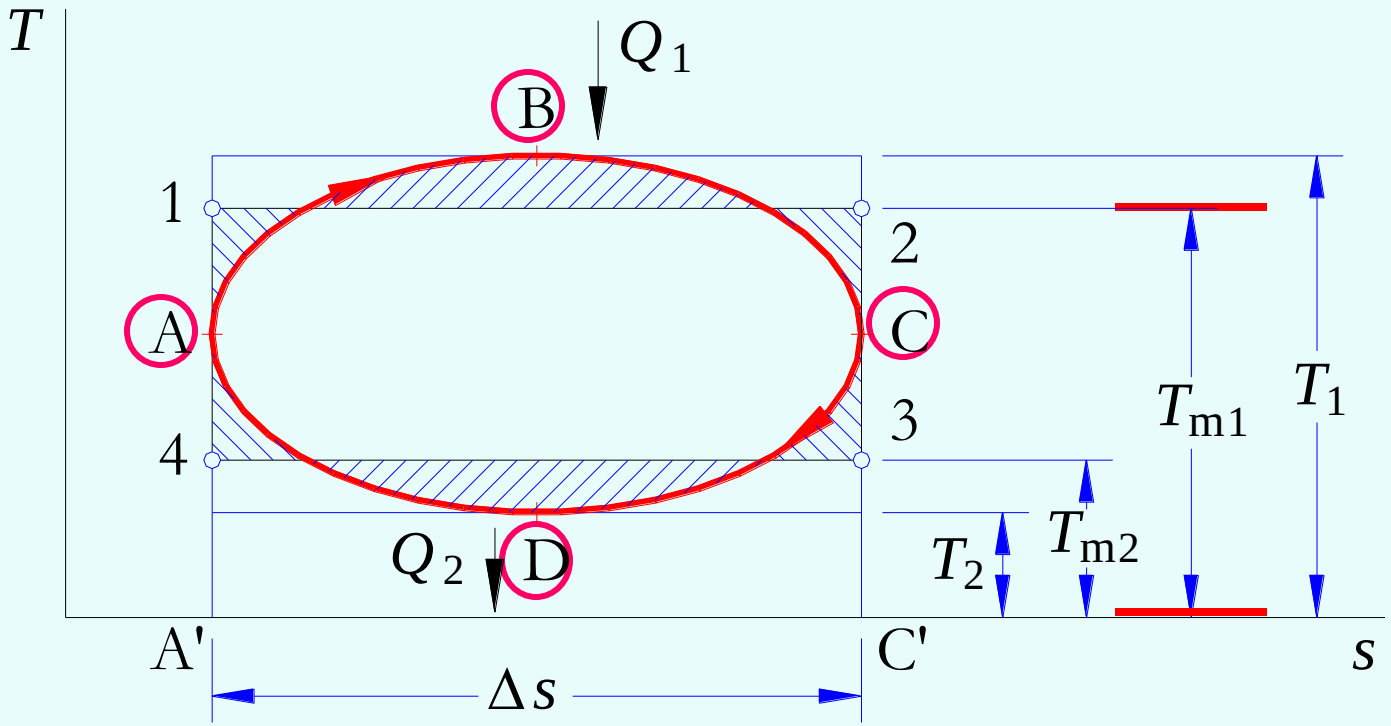


$$\eta_t = 1 - \frac{|Q_2|}{Q_1}$$

Q_1 = área A'ABCC'

$|Q_2|$ = área A'ADCC'

Rendimiento térmico de un ciclo (ABCDA) en función de las temperaturas medias

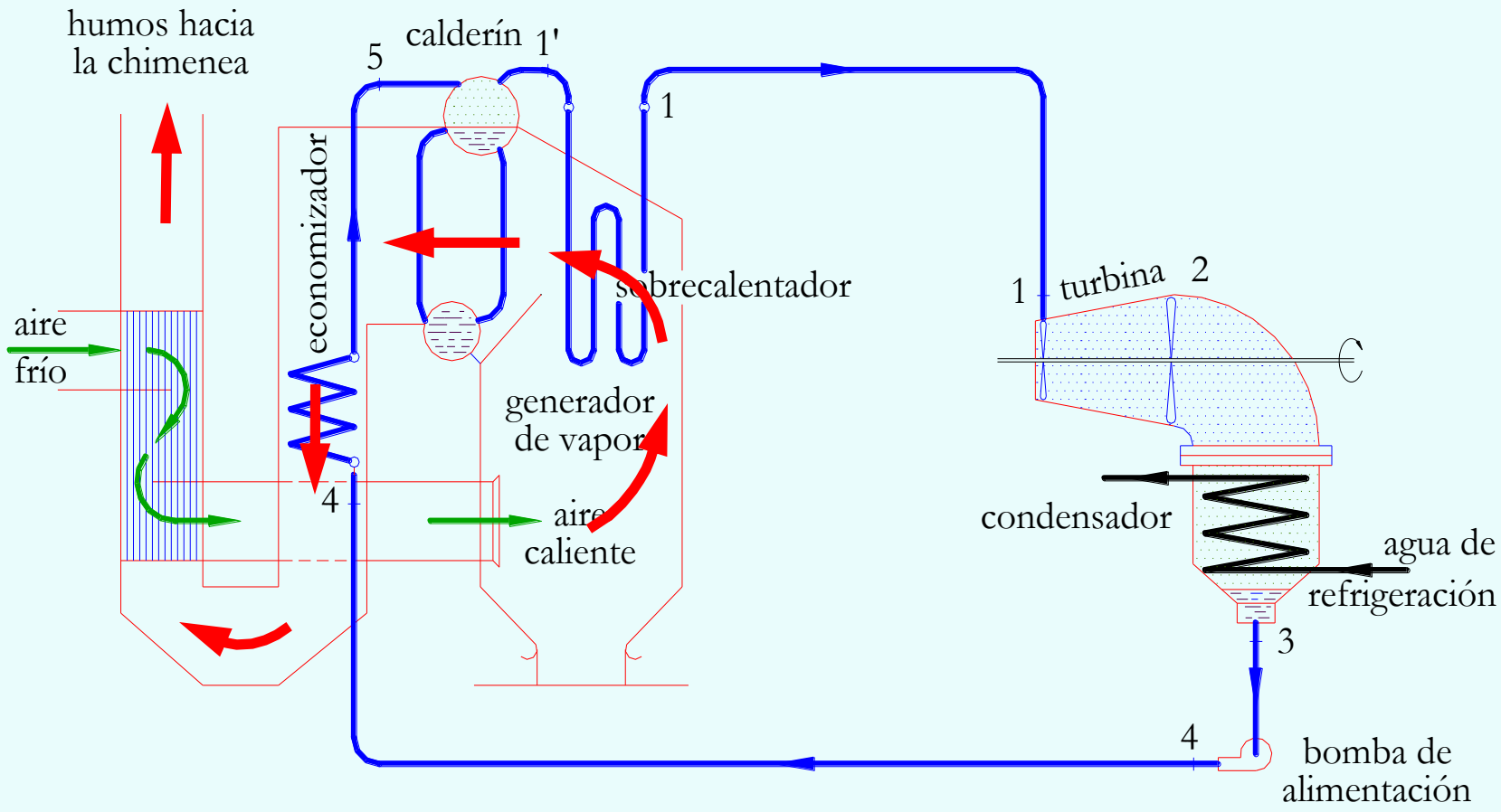


área A'12C' $= T_{m1} \cdot \Delta s$

área A'43C' $= T_{m2} \cdot \Delta s$

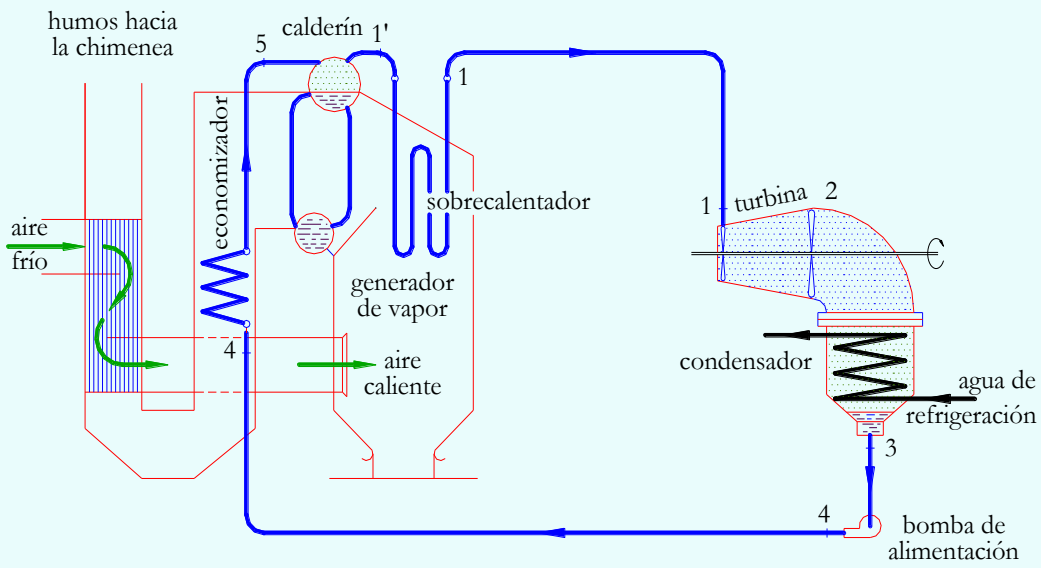
$$\eta_t = 1 - \frac{T_{m2}}{T_{m1}}$$

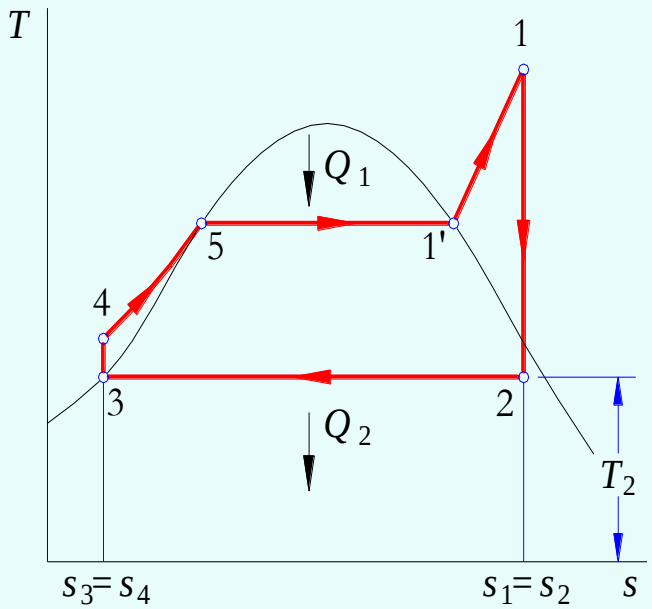
Esquema de una instalación simple de vapor



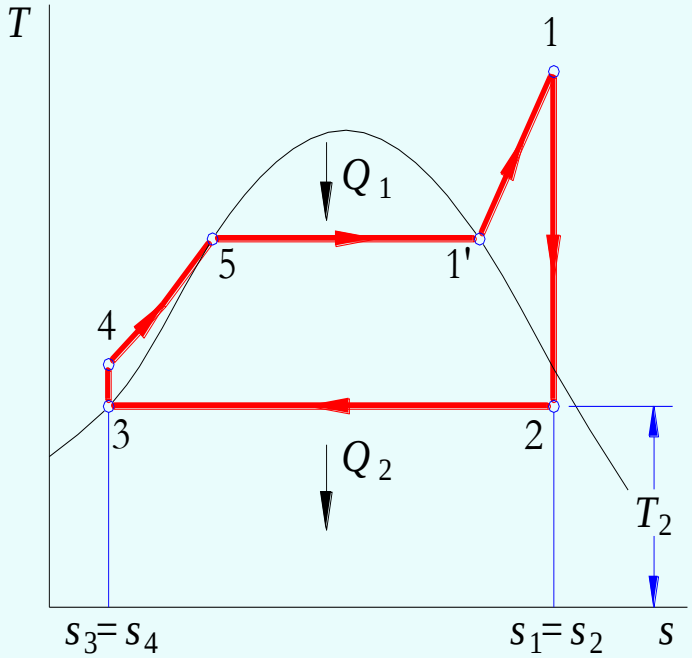
Ciclo Rankine

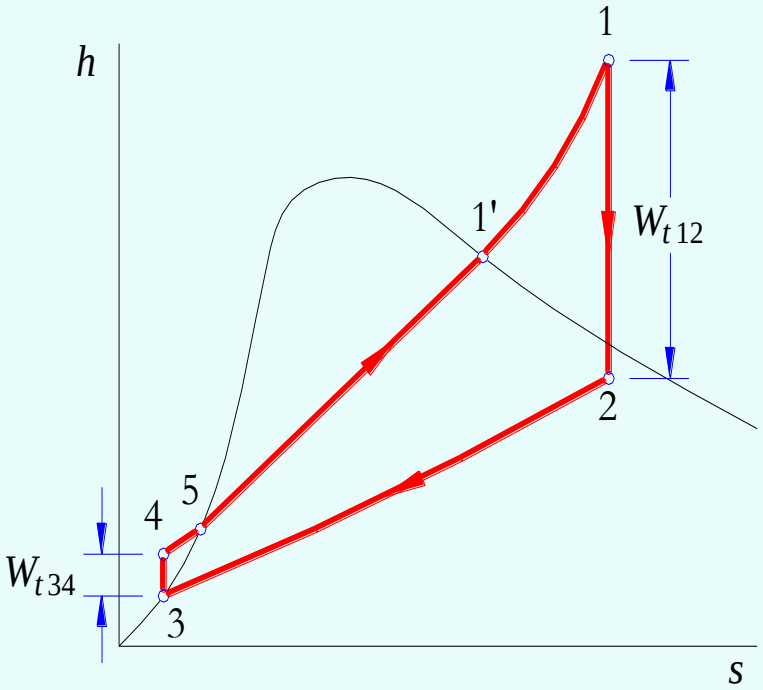
isoentrópica 1-2 (teórica): expansión en la turbina
isoterma y/o isobara 2-3: cesión de calor en el condensador
isoentrópica 3-4 (teórica): compresión en las bombas
isobara 4-5 (teórica): precalentamiento en el economizador
isoterma y/o isobara 5-1': vaporización en el hogar
isobara 1'-1 (teórica): calentamiento en el sobrecalentador





Ciclo Rankine en los diagramas *T-s* y *h-s*





William John Macquorn Rankine
(Escocia, 1820-1872)

Trabajo, calor y rendimiento

$$Q = h_2 - h_1 + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2} + W_t$$

Trabajo turbina

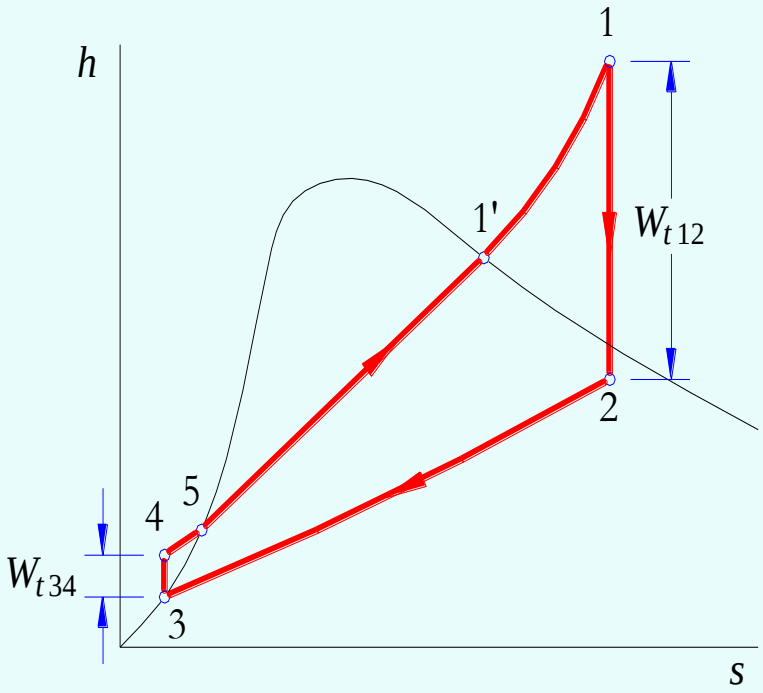
$$\boxed{W_{t12} = h_1 - h_2}$$

Trabajo bomba

$$\boxed{W_{t34} = h_3 - h_4}$$

Calor caldera

$$\boxed{Q_{41} = h_1 - h_4}$$



Rendimientos

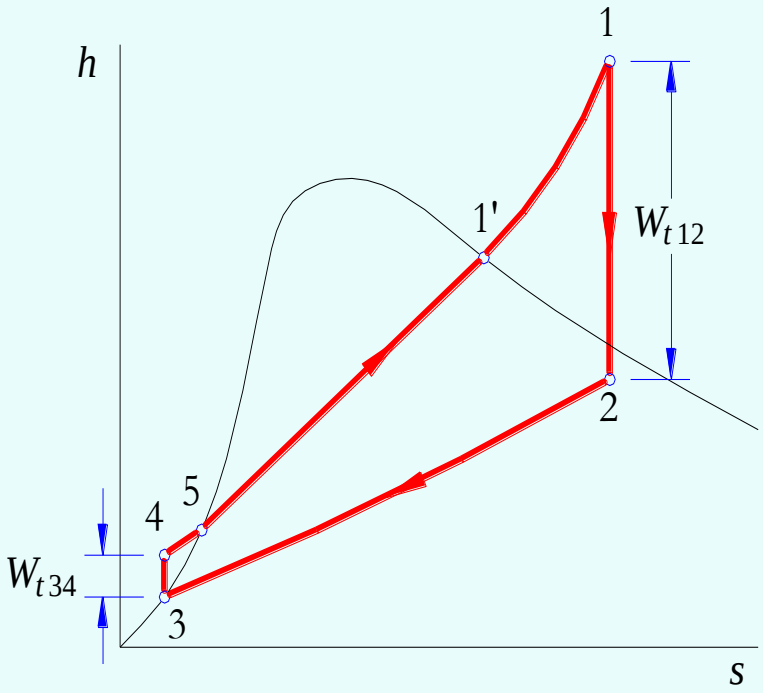
Bruto

$$\eta_{tb} = \frac{W_{t12}}{Q_{41}} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_4}$$

Neto

$$\eta_{tn} = \frac{W_{t12} - |W_{t34}|}{Q_{41}}$$

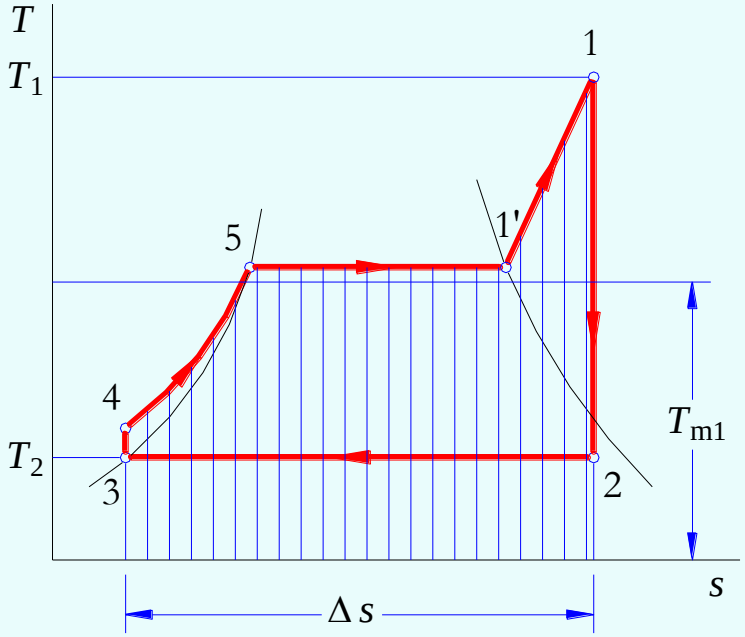
$$\eta_{tn} = \frac{h_1 - h_2 - (h_4 - h_3)}{h_1 - h_4}$$

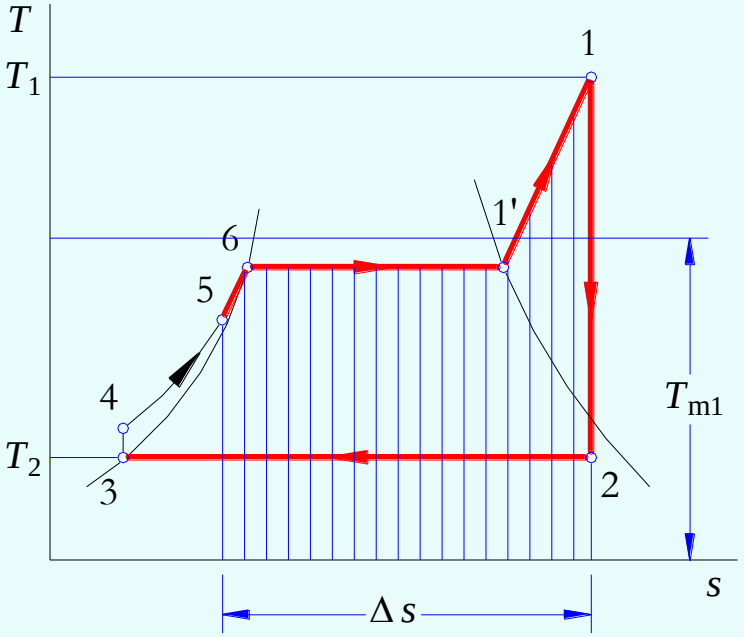


Características que mejoran el rendimiento

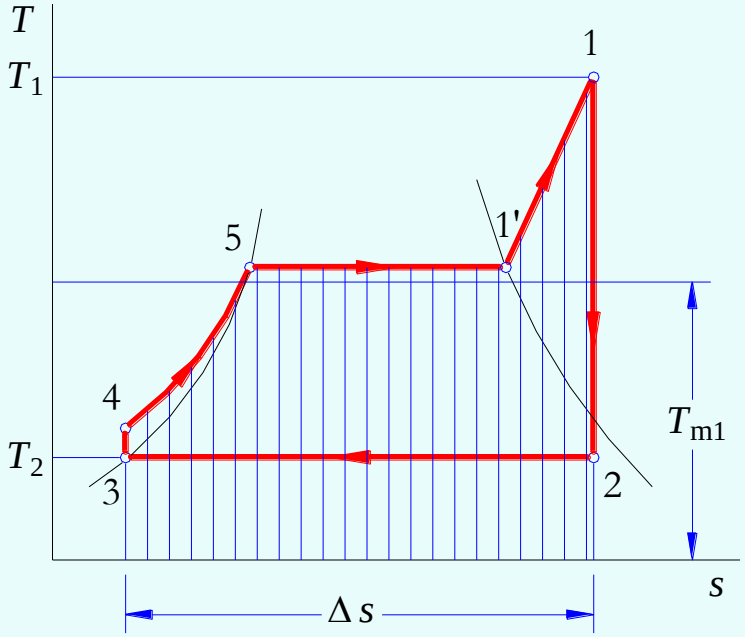
$$\eta_t = 1 - \frac{T_{m2}}{T_{m1}}$$

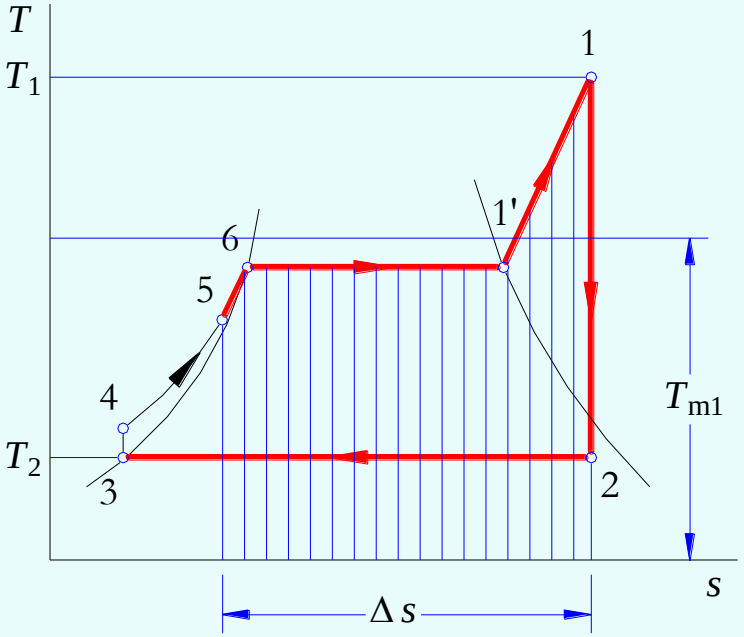
1. Temperatura máxima T_1 elevada: aumenta T_{m1}
2. Presión de vaporización elevada: aumenta T_{m1}
3. Presión de condensación baja: disminuye T_{m2}
4. Precalentamiento agua alimentación: aumenta T_{m1}



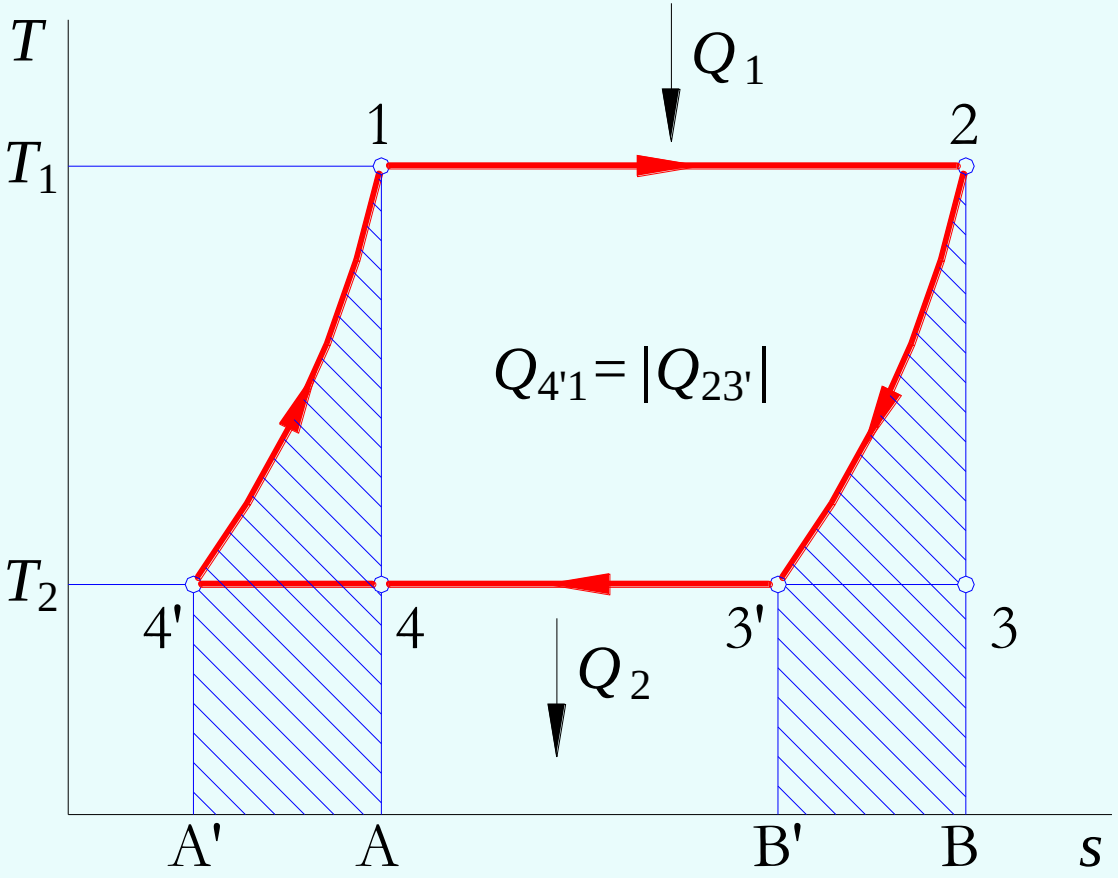


En efecto, el precalentamiento 4-5 (figura de la derecha) se hace fuera de la caldera, con extracciones de vapor en determinados puntos de la turbina. El agua de alimentación sigue calentándose en el economizador a partir del estado 5. La media de ordenadas T_{m1} a lo largo de Δs resulta así mayor.



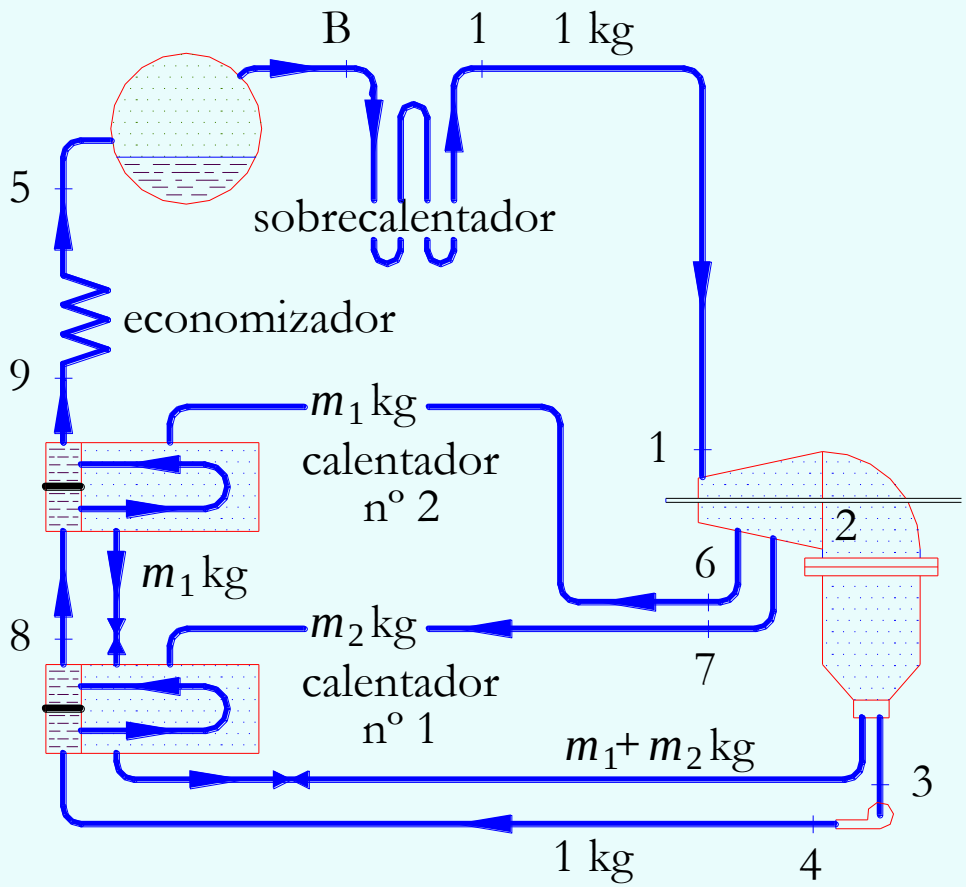


Otra forma de comprobarlo: el precalentamiento del agua de alimentación (4’-1) se hace con el calor que cede el vapor de las extracciones durante la expansión 2-3’.



Ciclo regenerativo

Al ciclo con extracciones de vapor suele llamársele ***ciclo regenerativo.*** La figura representa una central imaginaria con 2 extracciones (la realidad está alrededor de 7).



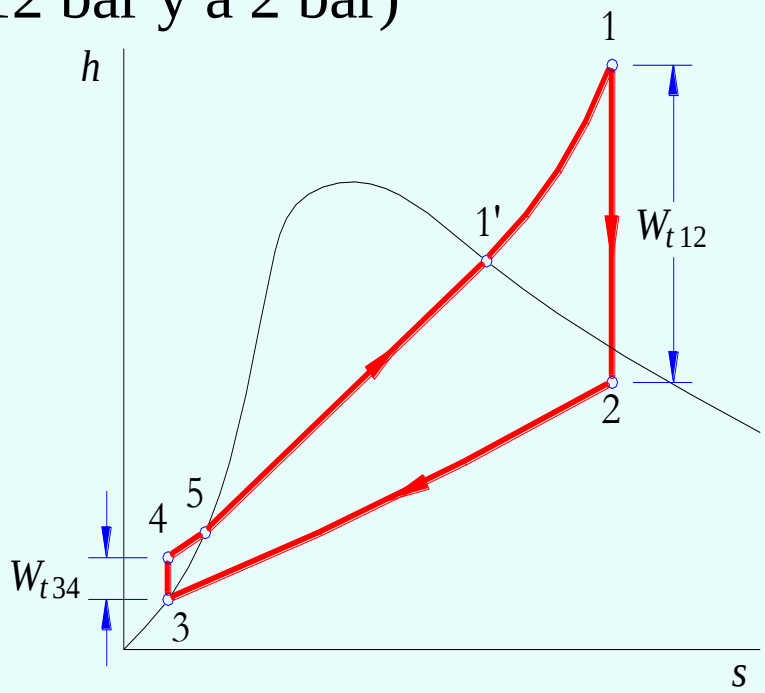
EJERCICIO

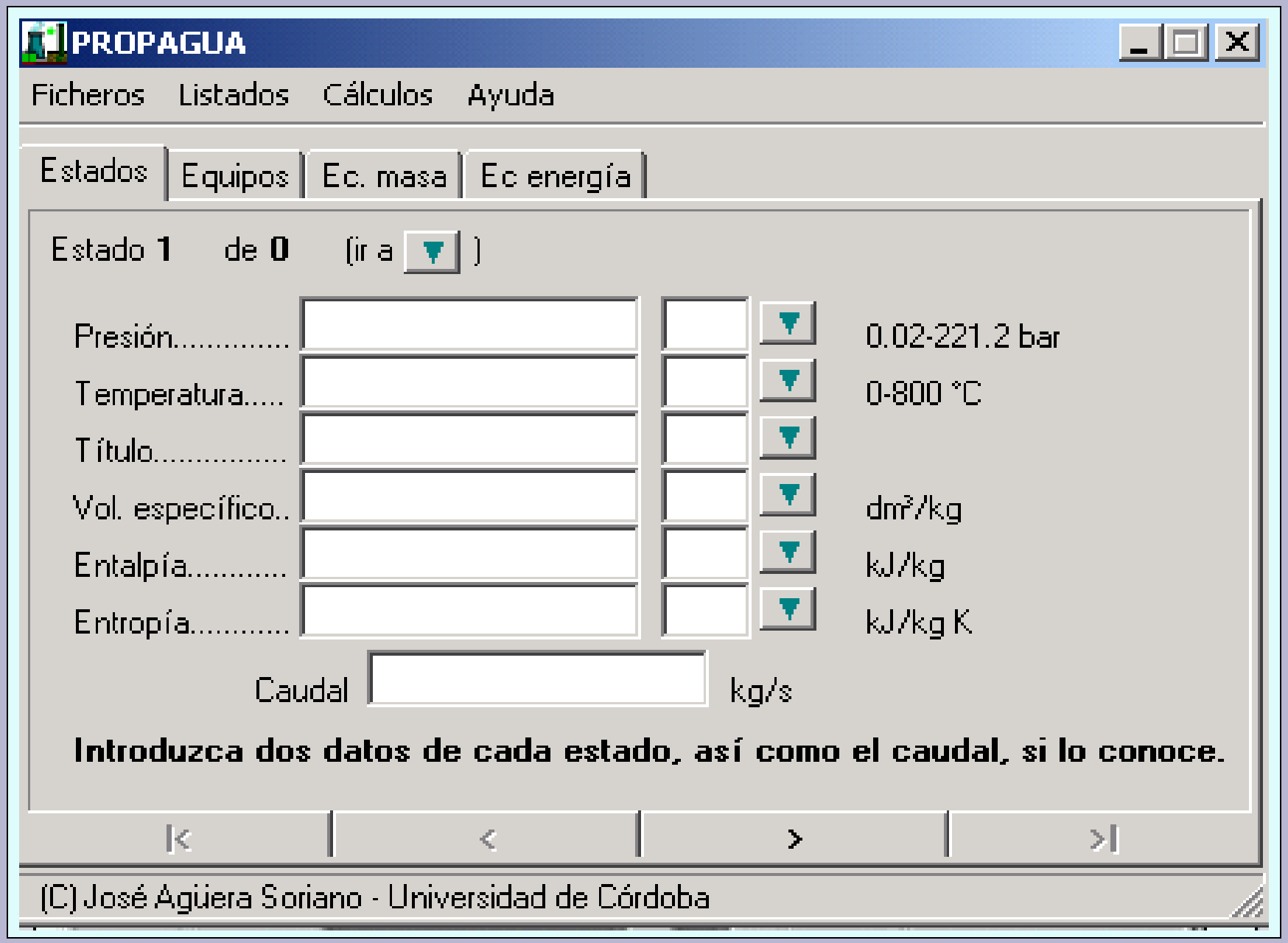
Calcular el rendimiento bruto:

a) p_1 = 60 bar, t_1 = 480 ºC, p_2 = 0,04 bar
b) p_1 = 160 bar, t_1 = 480 ºC, p_2 = 0,04 bar
c) p_1 = 160 bar, t_1 = 540 ºC, p_2 = 0,04 bar
d) p_1 = 60 bar, t_1 = 480 ºC, p_2 = 1 bar
e) p_1 = 60 bar, t_1 = 480 ºC, p_2 = 0,04 bar
(dos extracciones de vapor a 12 bar y a 2 bar)

Solución

a) η_{tb} = 0,4067
b) η_{tb} = 0,4394
c) η_{tb} = 0,4486
d) η_{tb} = 0,3052
e) η_{tb} = 0,4326



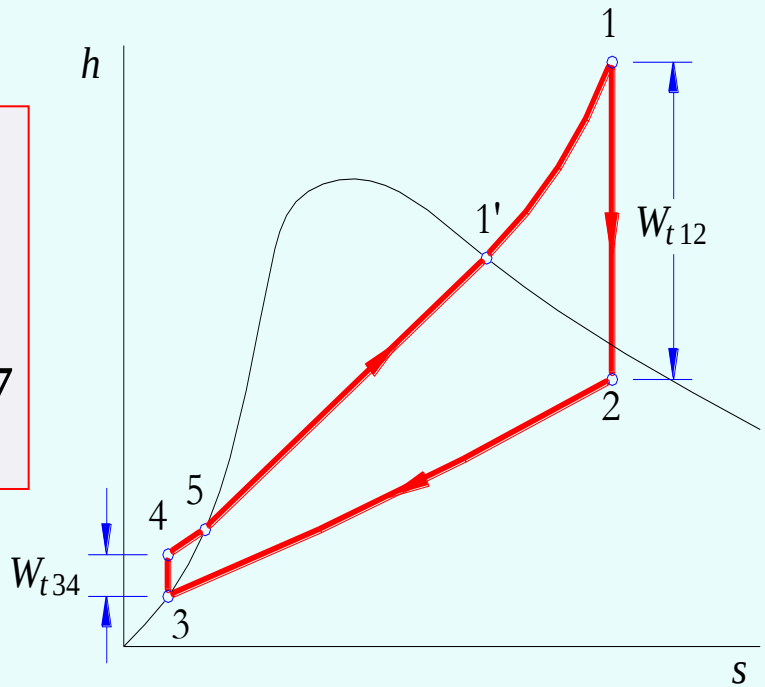

PROPAGUA
Ficheros
Listados
Cálculos
Ayuda
Estados
Equipos
Ec. masa
Ec energía
Estado 1 de 0 (ir a)
Presión.....
0.02-221.2 bar
Temperatura.....
0-800 °C
Título.....
Vol. específico..
dm³/kg
Entalpía.....
kJ/kg
Entropía.....
kJ/kg K
Caudal
kg/s
Introduzca dos datos de cada estado, así como el caudal, si lo conoce.
(C) José Agüera Soriano - Universidad de Córdoba

EJERCICIO (p_1 = 60 bar, t_1 = 480 ºC, p_2 = 0,04 bar)

	x	p bar	t °C	h kJ/kg	s kJ/kg K	v dm³/kg	e kJ/kg
1	V	**60,000**	**480,00**	**3375,00**	6,81990	54,8170	1378,61
2	0,79441	**0,040**	28,98	**2054,28**	**6,81990**	27648,3672	57,89
3	**0,00000**	**0,040**	28,98	121,40	0,42250	1,0040	0,40
4	L	**60,000**	29,11	**127,41**	**0,42250**	1,0013	6,41

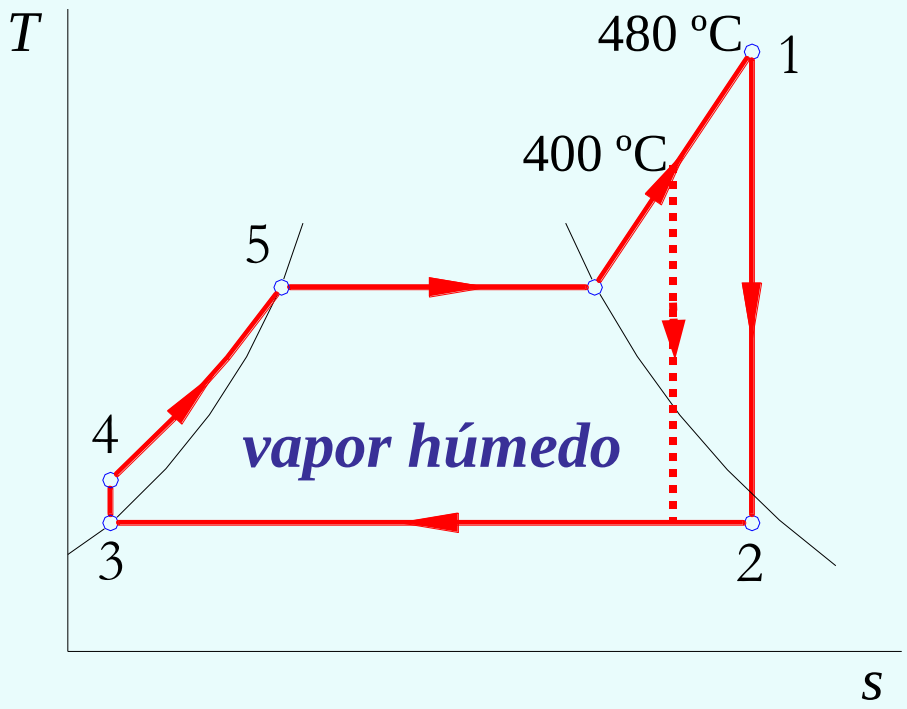
$$\eta_{tb} = \frac{W_{t12}}{Q_{41}} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_4} =$$

$$= \frac{3375{,}0 - 2054{,}3}{3375{,}0 - 127{,}4} = 0{,}4067$$



Ocurrió ***realmente*** hace unos 50 años en una Central Térmica cuyas condiciones de trabajo se correspondían con los datos del ejercicio anterior (p_1 = 60 bar, t_1 = 480 ºC, p_2 = 0,04 bar).

En su puesta en marcha, se pensó probar la turbina a 400 ºC en lugar de los 480 ºC. Con ello, el vapor entró antes de lo previsto en la zona húmeda, sobrepasando el límite de títulos (0,9 - 0,85), en que aparecen gotas de agua que, a velocidades tan elevadas, erosionaron en pocos días los álabes de las últimas ruedas, formando surcos de medio centímetro.



Ciclo Rankine con recalentamiento

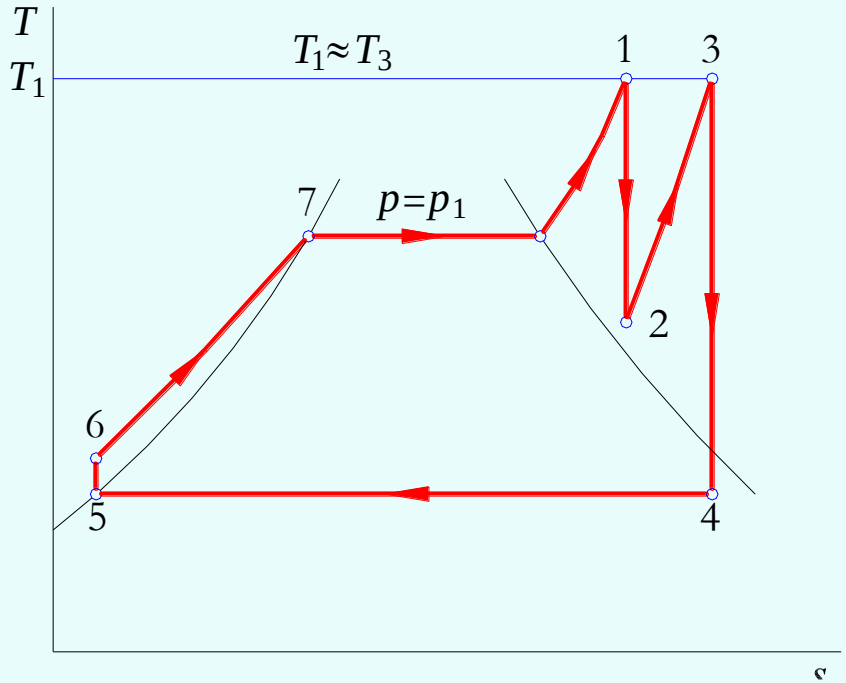
Con las altas presiones que se utilizan actualmente para un buen rendimiento, al expandirse el vapor en la turbina pasaría enseguida a la zona húmeda, y si el título de vapor baja demasiado (límite 0,9 - 0,85) se formarían gotas de agua, que a velocidades tan elevadas con que circulan erosionarían rápidamente los álabes.

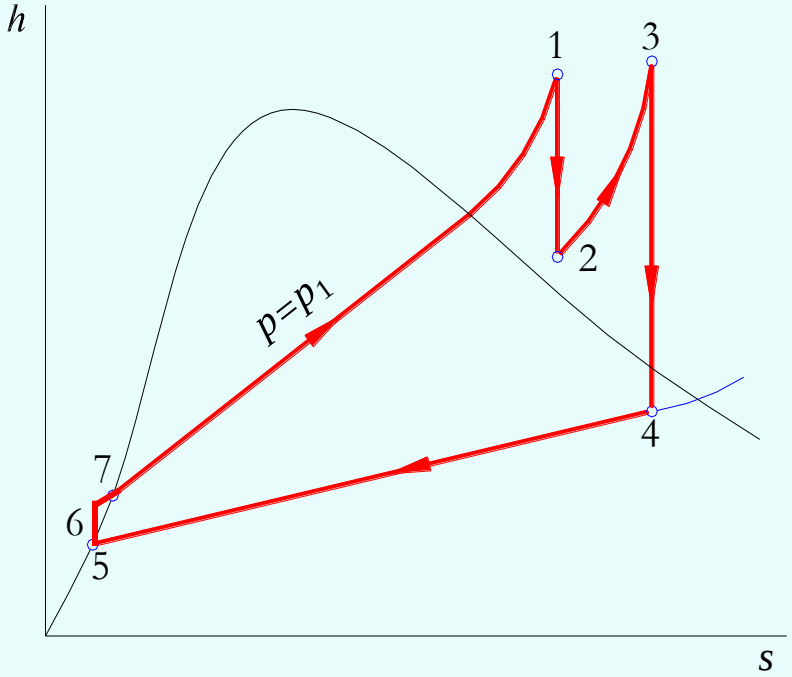
Para evitarlo, y no renunciar a las altas presiones, el vapor se retorna a la caldera a la salida de la turbina de alta para volver a sobrecalentarse en el recalentador, y posteriormente seguir expandiéndose en las turbinas de media y baja.

Ciclo Rankine con recalentamiento

Resulta que el rendimiento térmico mejora con este recalentamiento; pero no lo suficiente como para compensar las pérdidas en su ir y venir del vapor.

El recalentamiento sólo se justifica para evitar que se formen gotas.



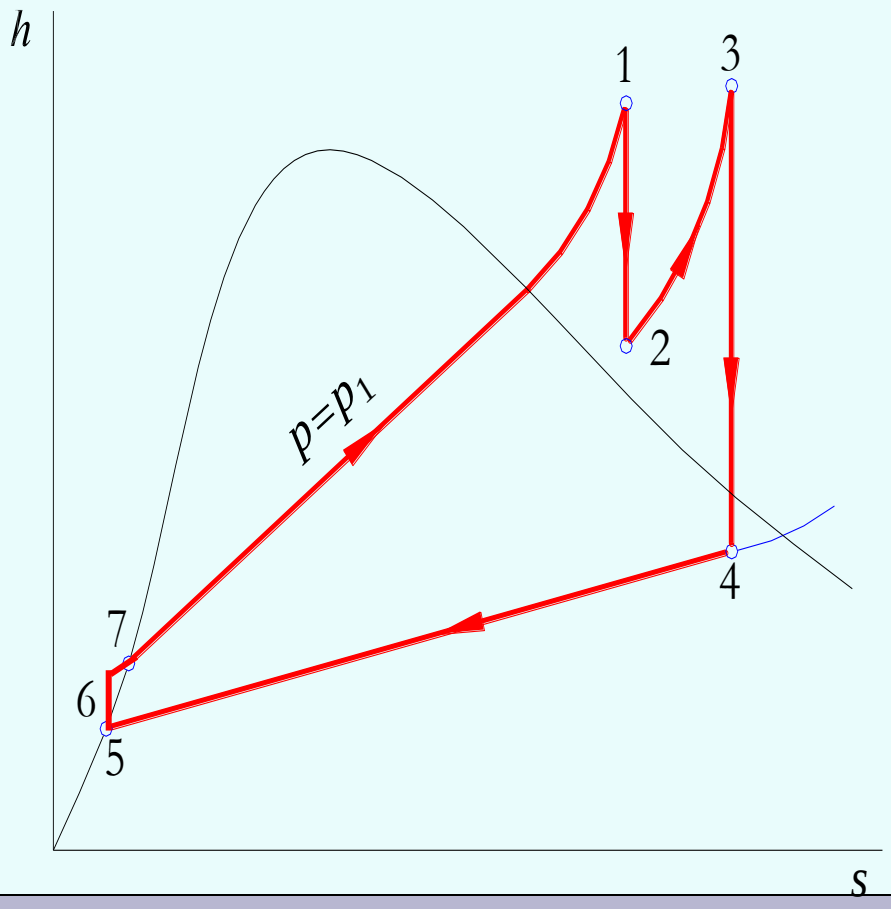


Ciclo Rankine con recalentamiento

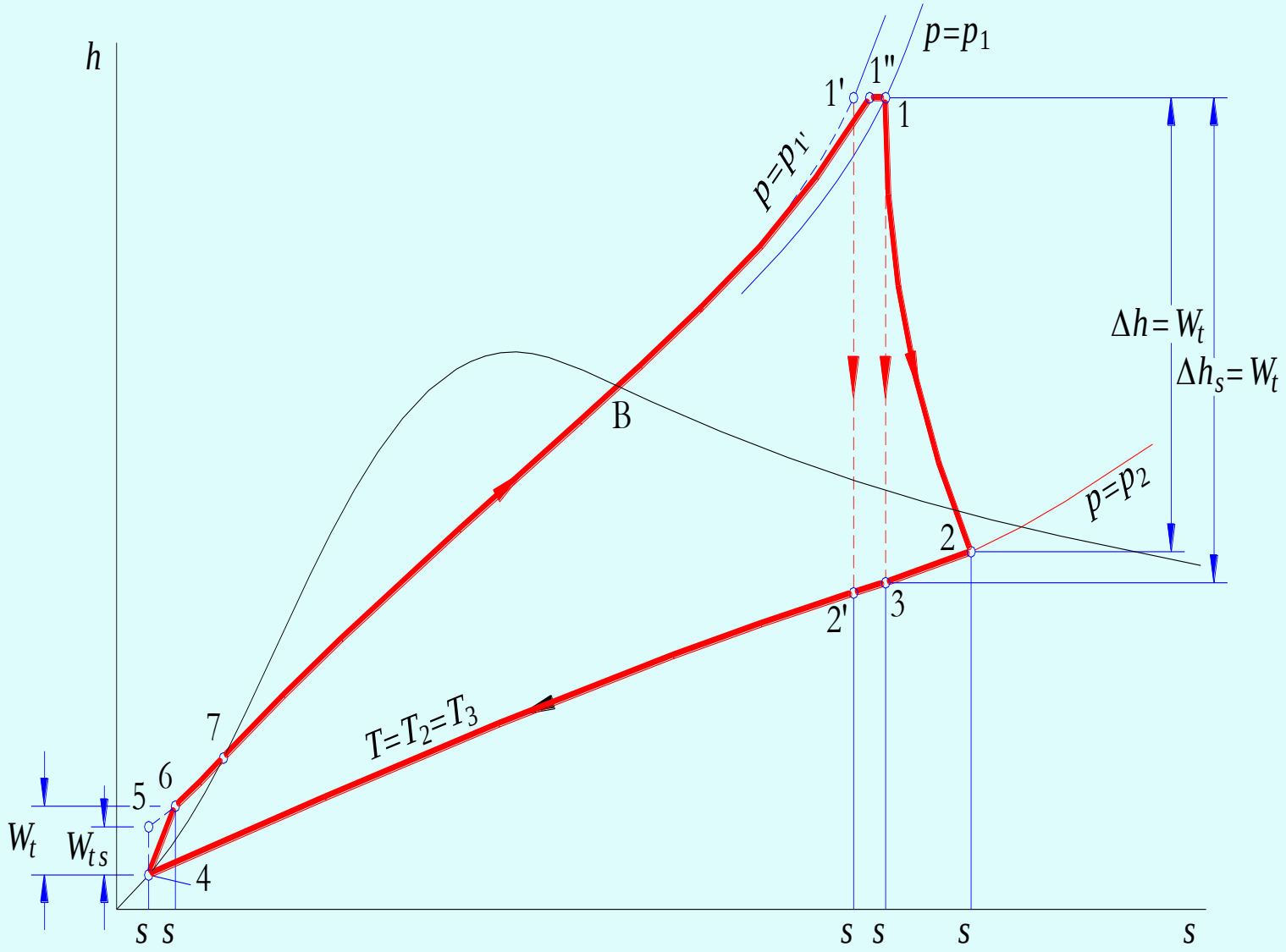
$$W_t = h_1 - h_2 + h_3 - h_4 + (h_5 - h_6)$$

$$Q = h_1 - h_6 + h_3 - h_2$$

$$\eta_{tn} = \frac{W_t}{Q}$$



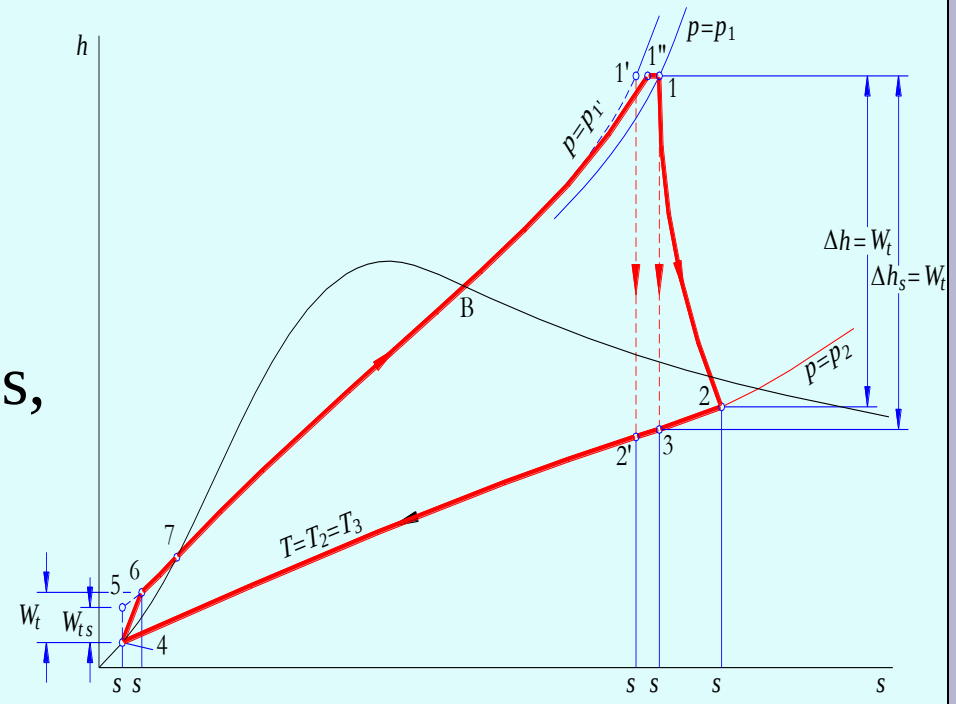
Ciclo irreversible



Haya o no rozamientos internos, el trabajo técnico en la turbina y en la bomba viene dado por la diferencia de entalpías:

$$W_{t12} = h_1 - h_2$$

$$\left|W_{t46}\right| = h_6 - h_4$$



Y los rendimientos térmicos, bruto y neto, serían ahora,

$$\eta_{tb} = \frac{W_{t12}}{Q_{61}} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_6}$$

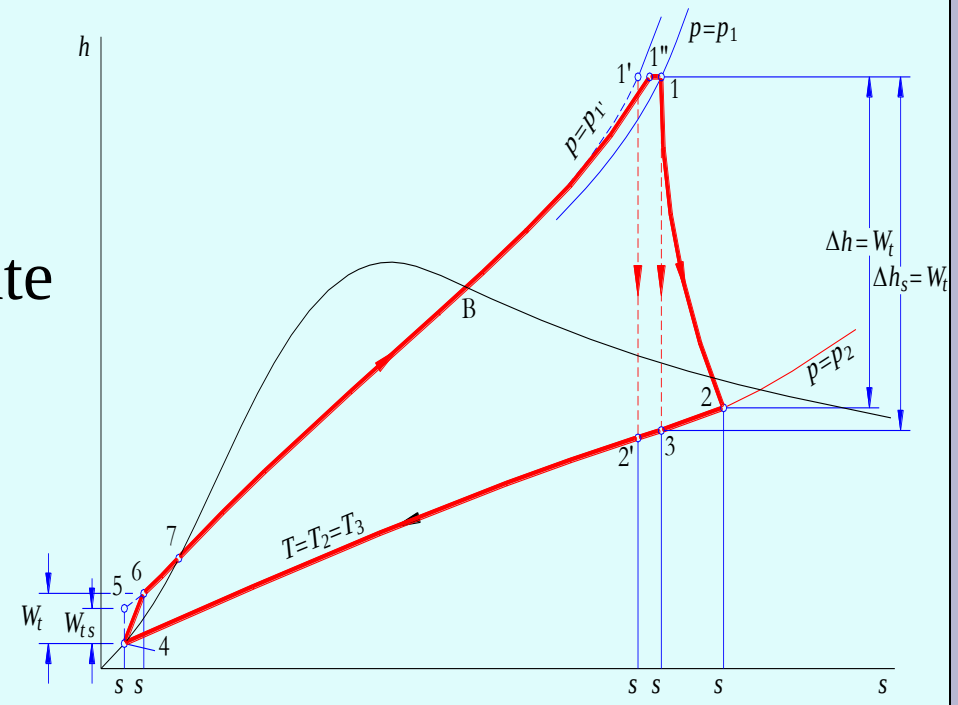
$$\eta_{tn} = \frac{W_{t12} - \left|W_{t46}\right|}{Q_{61}} = \frac{h_1 - h_2 - (h_6 - h_4)}{h_1 - h_6}$$

Se llama ***rendimiento isoentrópico*** η_{sT} de la turbina al cociente entre el trabajo real y el teórico:

$$\eta_{sT} = \frac{W_{t12}}{W_{ts}} = \frac{\Delta h}{\Delta h_s}$$

Y el de la bomba, al cociente entre el trabajo teórico y el real:

$$\eta_{sB} = \frac{W_{ts}}{W_{t46}} = \frac{\Delta h_s}{\Delta h}$$



El ***rendimiento isoentrópico*** de la turbina es del orden del 85%, y el de la bomba del 70%.

EJERCICIO

Calcular el rendimiento bruto ***irreversible*** (p_1 = 60 bar, t_1 = 480 ºC, p_2 = 0,04 bar): rendimiento de la turbina 85% y el de la bomba el 70%.

Solución

Agua (líquido y/o vapor): Propiedades de estados introducidos

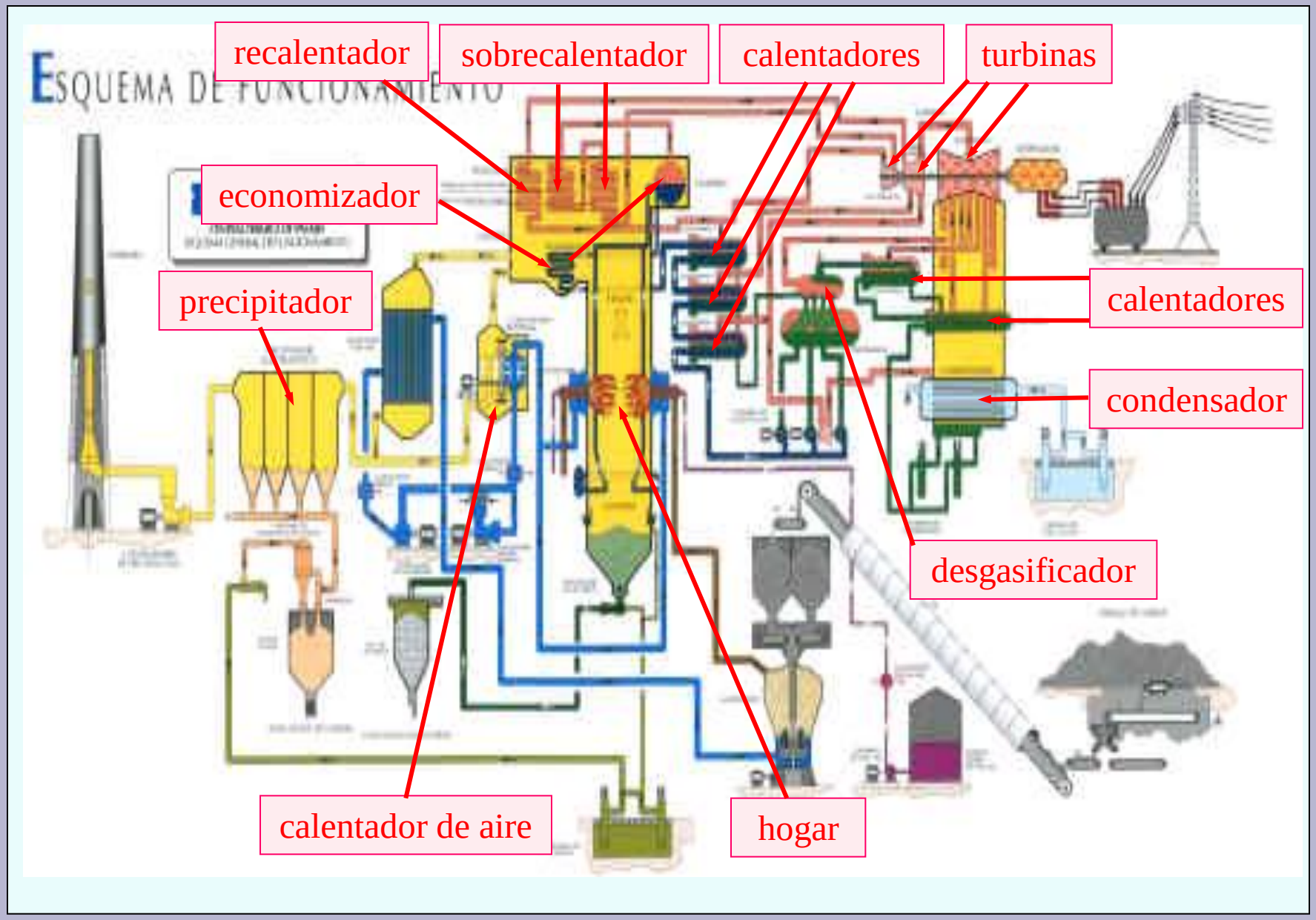
est. n°	título x	presión absoluta p bar	tempe-ratura t °C	entalpía específica h kJ/kg	entropía específica s kJ/kg K	volumen específico v dm³/kg	exergía entálpica e kJ/kg
1	V	**60,000**	**480,00**	3375,00	6,81990	54,8170	1378,61
2	0,87583	**0,040**	28,98	**2252,39**	7,47559	30482,0137	63,78
3	0,79441	**0,040**	28,98	2054,28	**6,81990**	27648,3672	57,89
4	**0,00000**	**0,040**	28,98	121,40	0,42250	1,0040	0,40
5	L	**60,000**	29,11	127,41	**0,42250**	1,0013	6,41
6	L	**60,000**	29,73	**129,99**	0,43103	1,0015	6,49

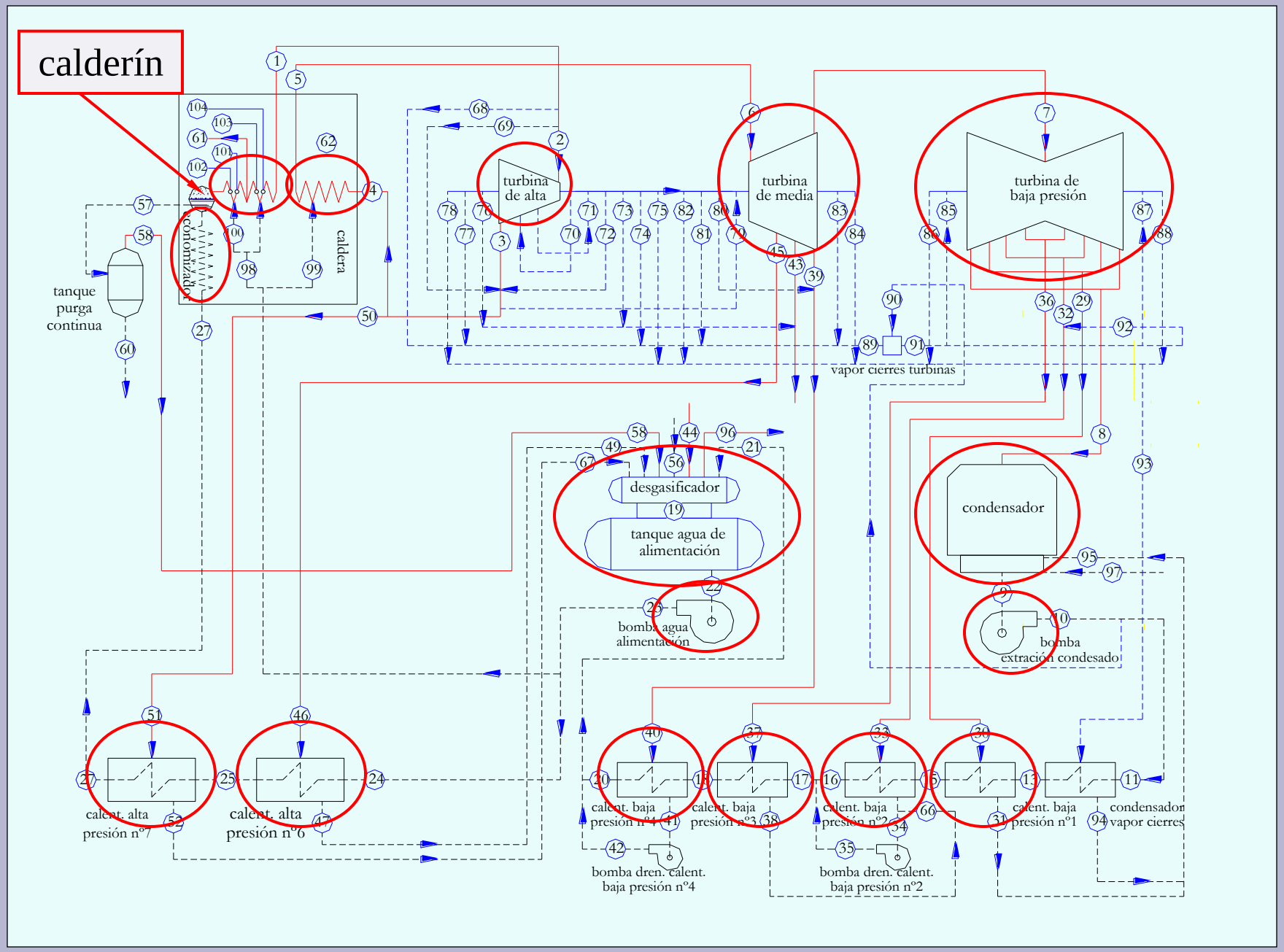
Agua (líquido y/o vapor): Propiedades de estados introducidos

est. n°	título x	presión absoluta p bar	tempe-ratura t °C	entalpía específica h kJ/kg	entropía específica s kJ/kg K	volumen específico v dm³/kg	exergía entálpica e kJ/kg
1	V	60,000	480,00	**3375,00**	6,81990	54,8170	1378,61
2	0,87583	0,040	28,98	**2252,39**	7,47559	30482,0137	63,78
3	0,79441	0,040	28,98	2054,28	6,81990	27648,3672	57,89
4	0,00000	0,040	28,98	**121,40**	0,42250	1,0040	0,40
5	L	60,000	29,11	127,41	0,42250	1,0013	6,41
6	L	60,000	29,73	**129,99**	0,43103	1,0015	6,49

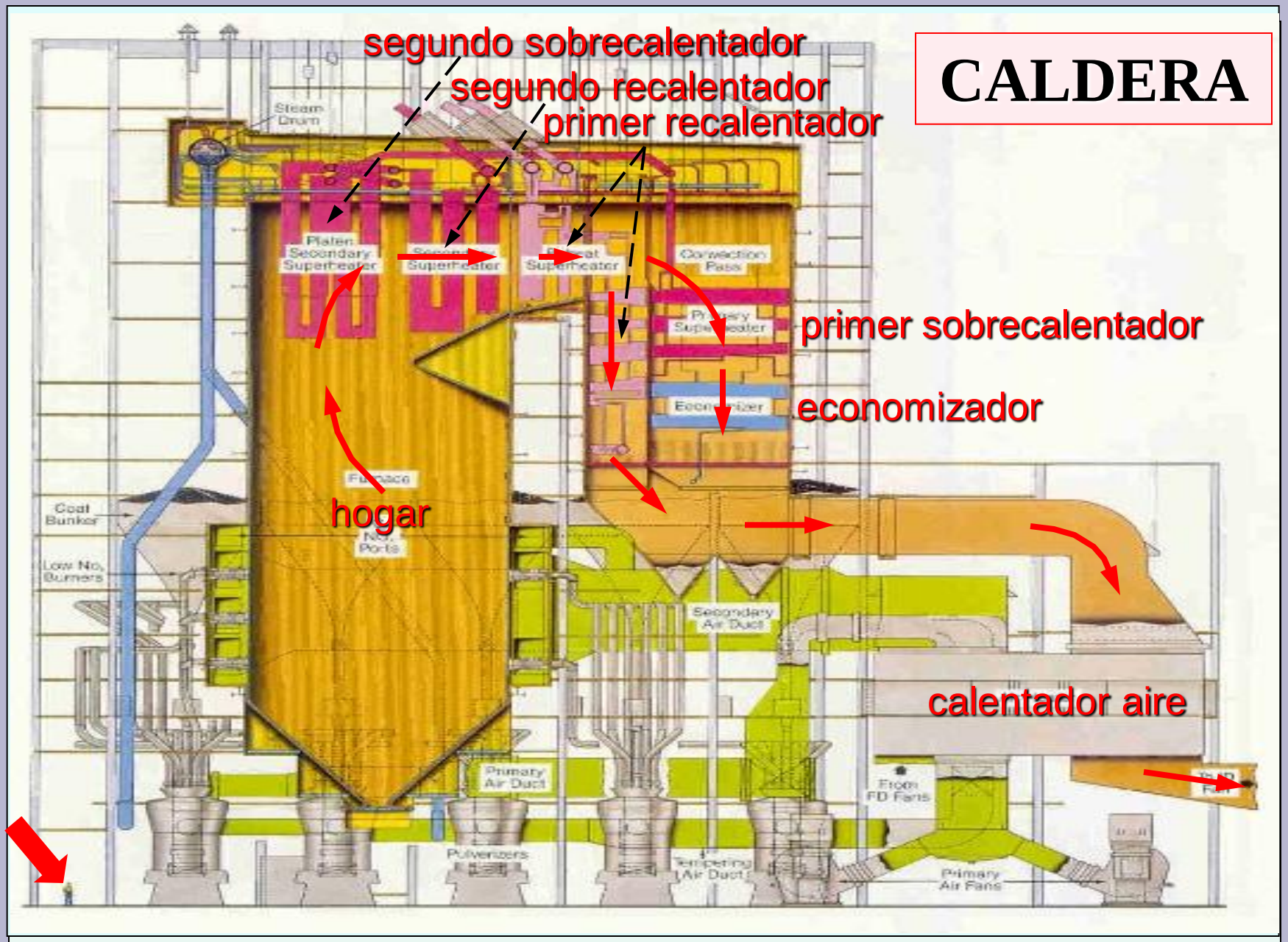
$$\eta_{tb} = \frac{W_{t12}}{Q_{61}} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_6} = \frac{3375 - 2252{,}4 - 130 + 121{,}4}{3375 - 130} = 0{,}3433$$

El ***rendimiento teórico*** fue 0,4067 (un 10% más), lo que da idea de la merma de rendimiento, a causa del rozamiento de flujo en la turbina.

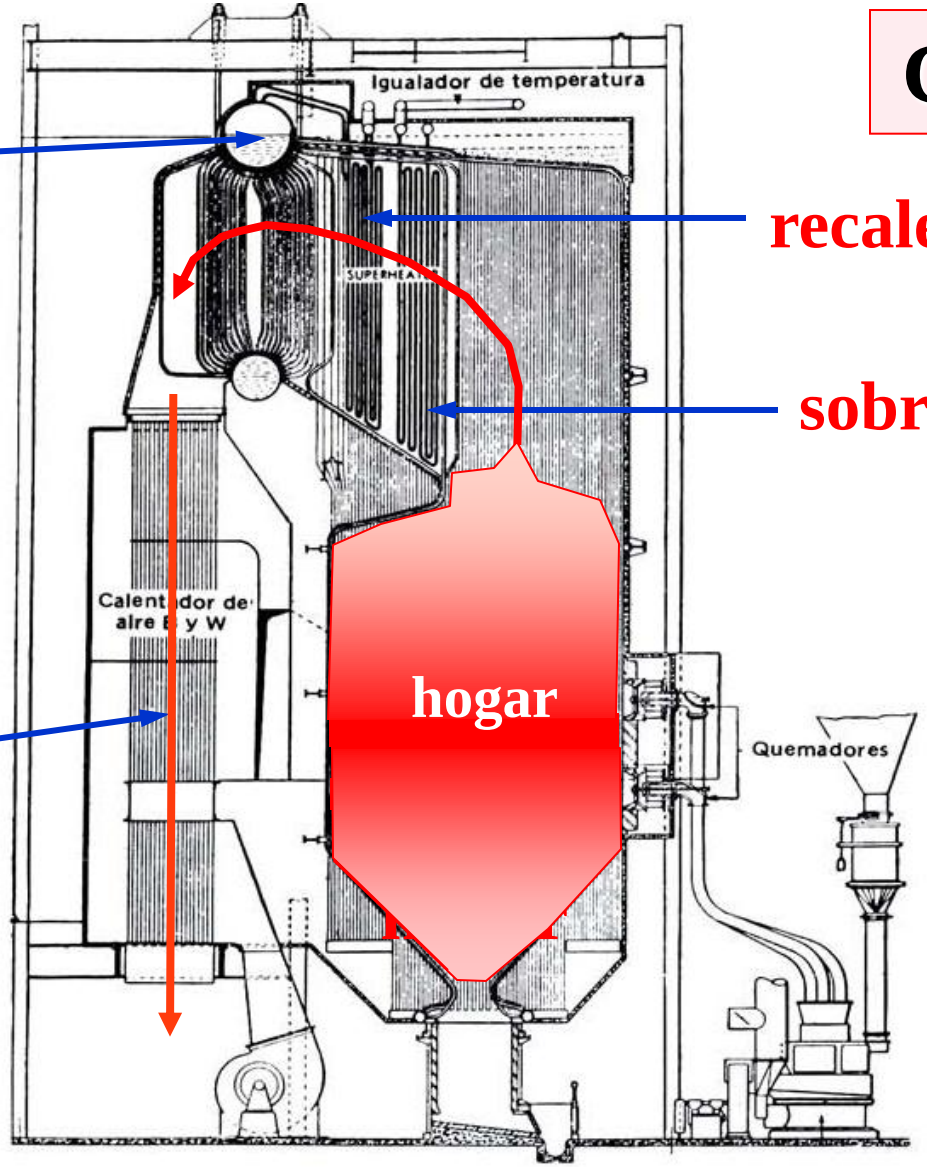

ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO
recalentador
sobrecalentador
calentadores
turbinas
economizador
precipitador
calentadores
condensador
desgasificador
calentador de aire
hogar


calderín
caldera
economizador
tanque purga continua
turbina de alta
turbina de media
turbina de baja presión
vapor cierres turbinas
desgasificador
tanque agua de alimentación
bomba agua alimentación
condensador
bomba extración condesado
calent. alta presión nº7
calent. alta presión nº6
calent. baja presión nº4
calent. baja presión nº3
calent. baja presión nº2
calent. baja presión nº1
condensador vapor cierres
bomba dren. calent. baja presión nº4
bomba dren. calent. baja presión nº2

CALDERA

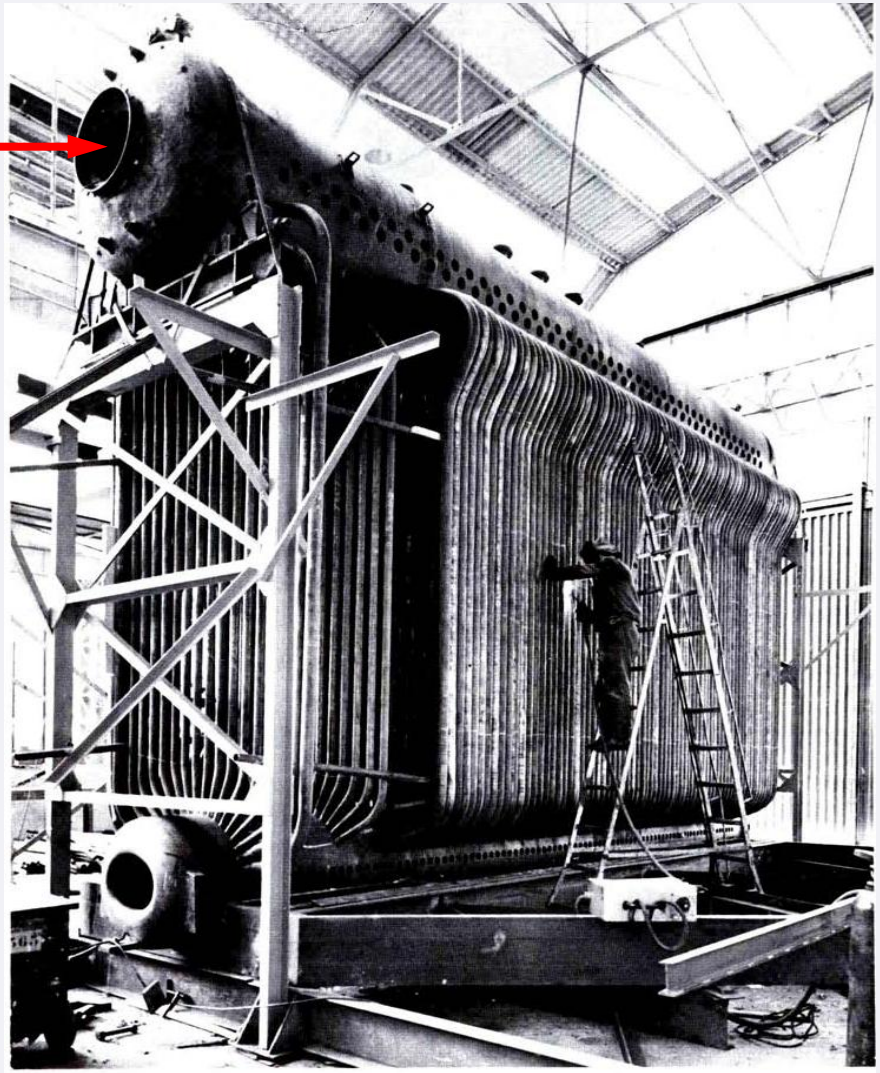

segundo sobrecalentador
segundo recalentador
primer recalentador
primer sobrecalentador
economizador
hogar
calentador aire
Steam Drum
Platen Secondary Superheater
Convection Pass
Coal Bunker
Low No. Burners
Secondary Air Duct
Primary Air Duct
Pulverizers
From FD Fans
Primary Air Fans

CALDERA


Igualador de temperatura
SUPERHEATER
Calentador de aire E y W
Quemadores
calderín
recalentador
sobrecalentador
calentador de aire
hogar

CALDERA

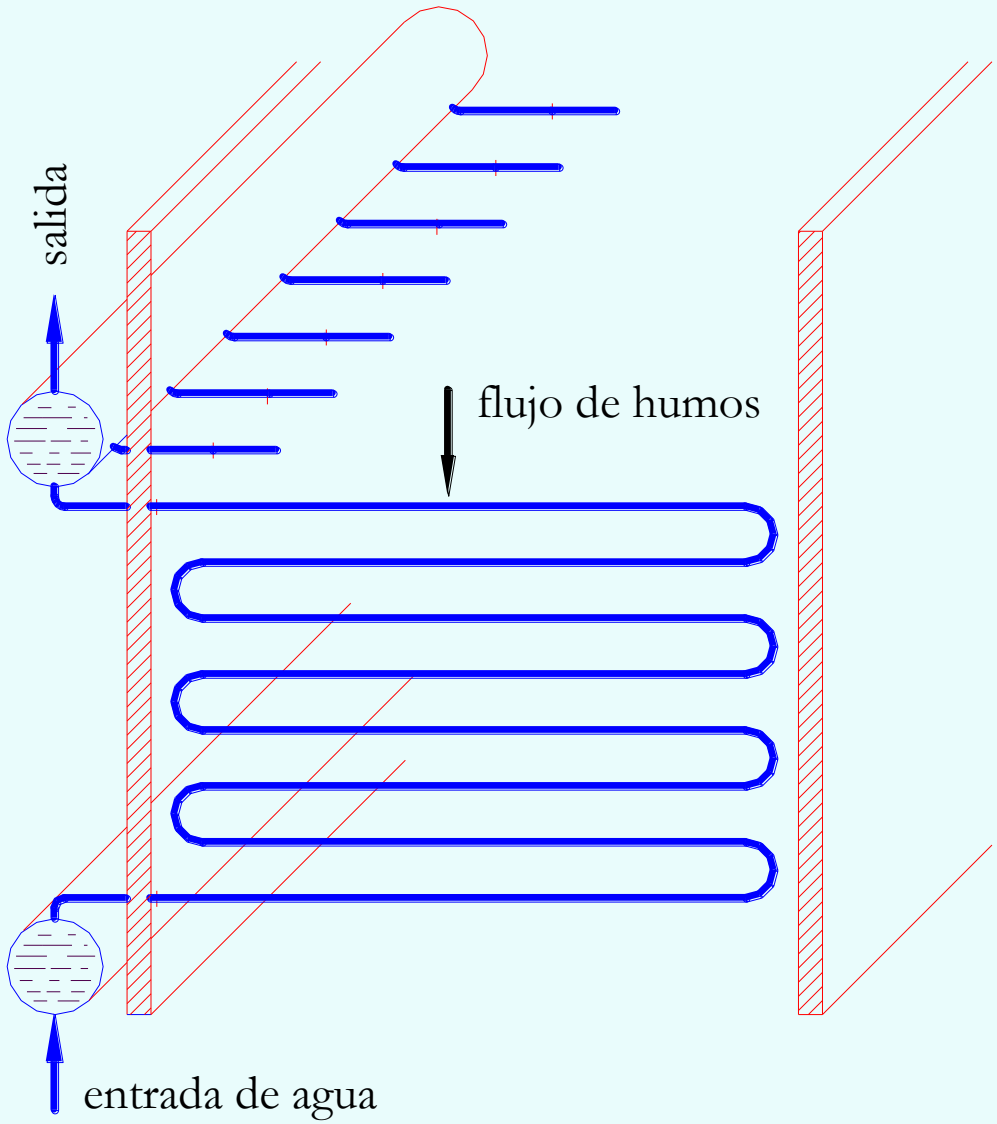
calderín



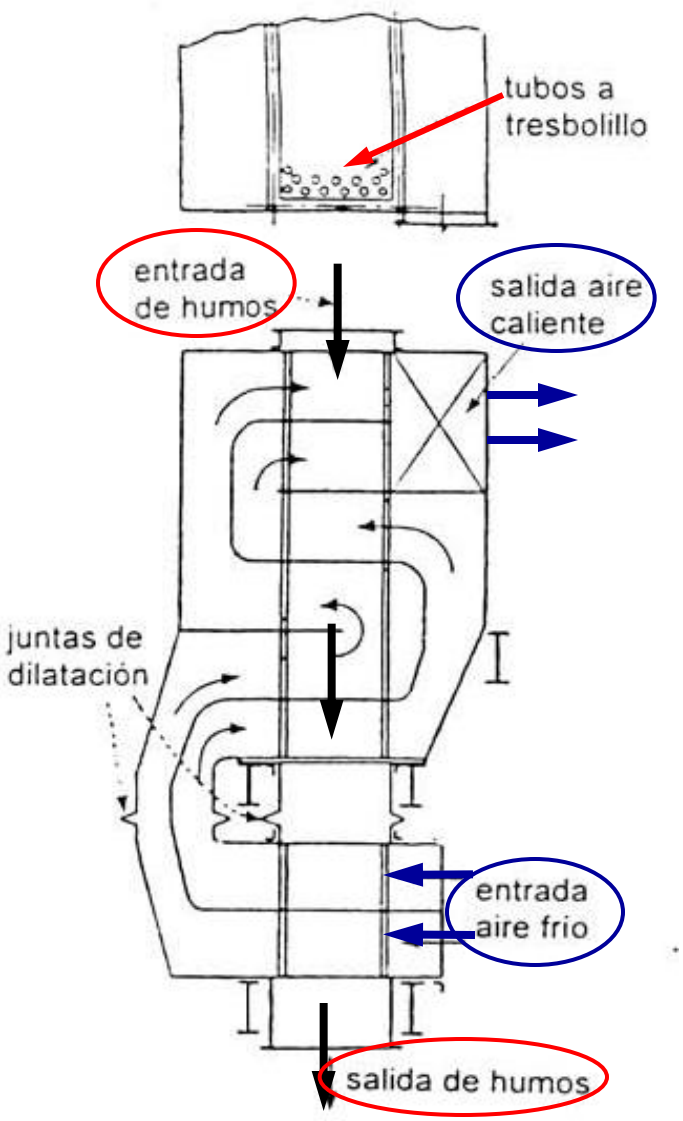
p_1 = 60 bar
t_1 = 480 ºC
P = 40 MW

Grupos 1 y 2. Central Térmica de Puente Nuevo (ya desmantelados)

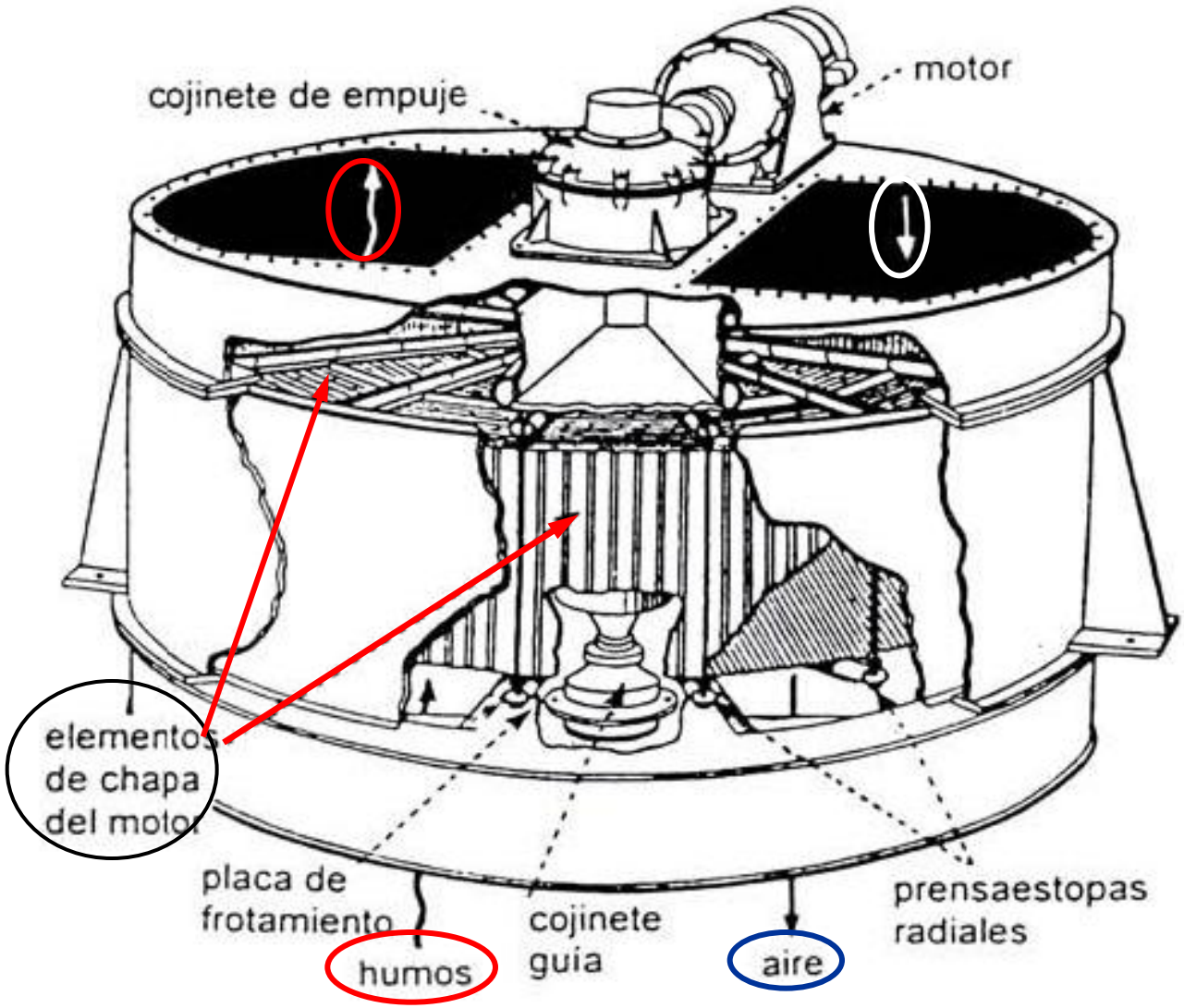
Esquema de un economizador



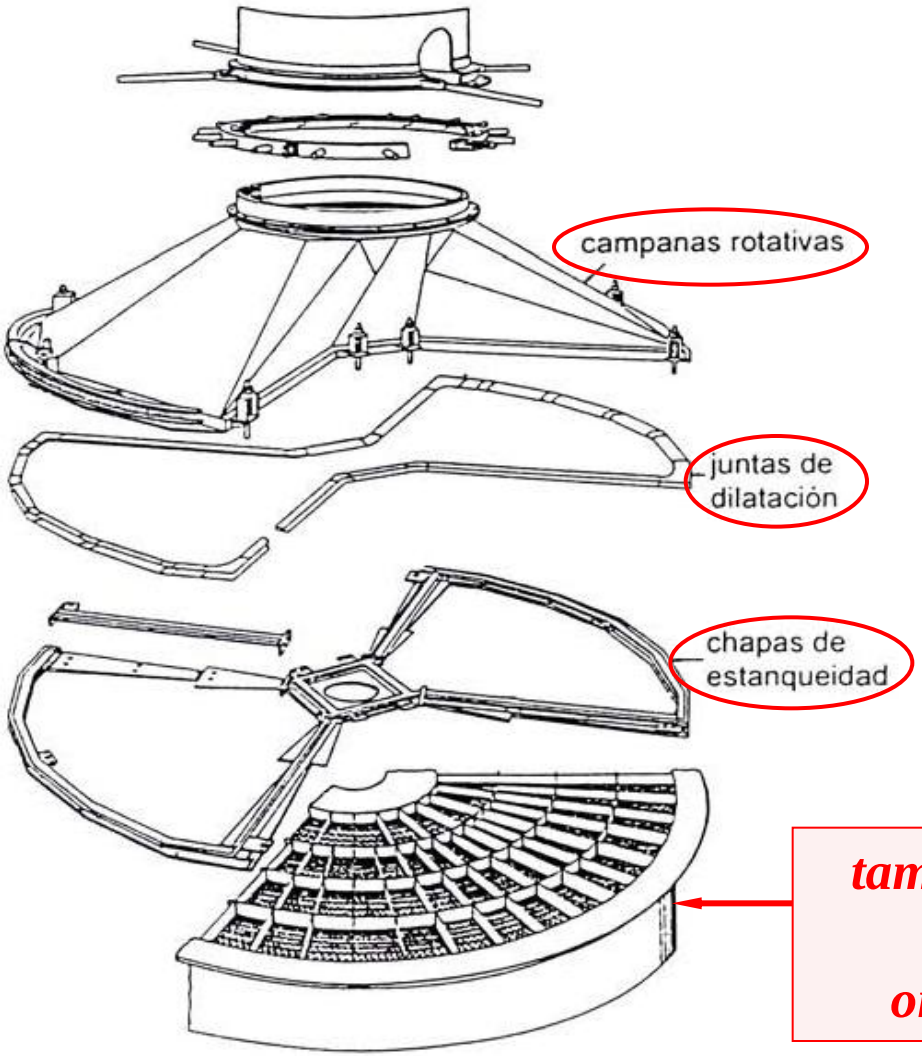
Calentador de aire tubular



Calentador de aire rotativo

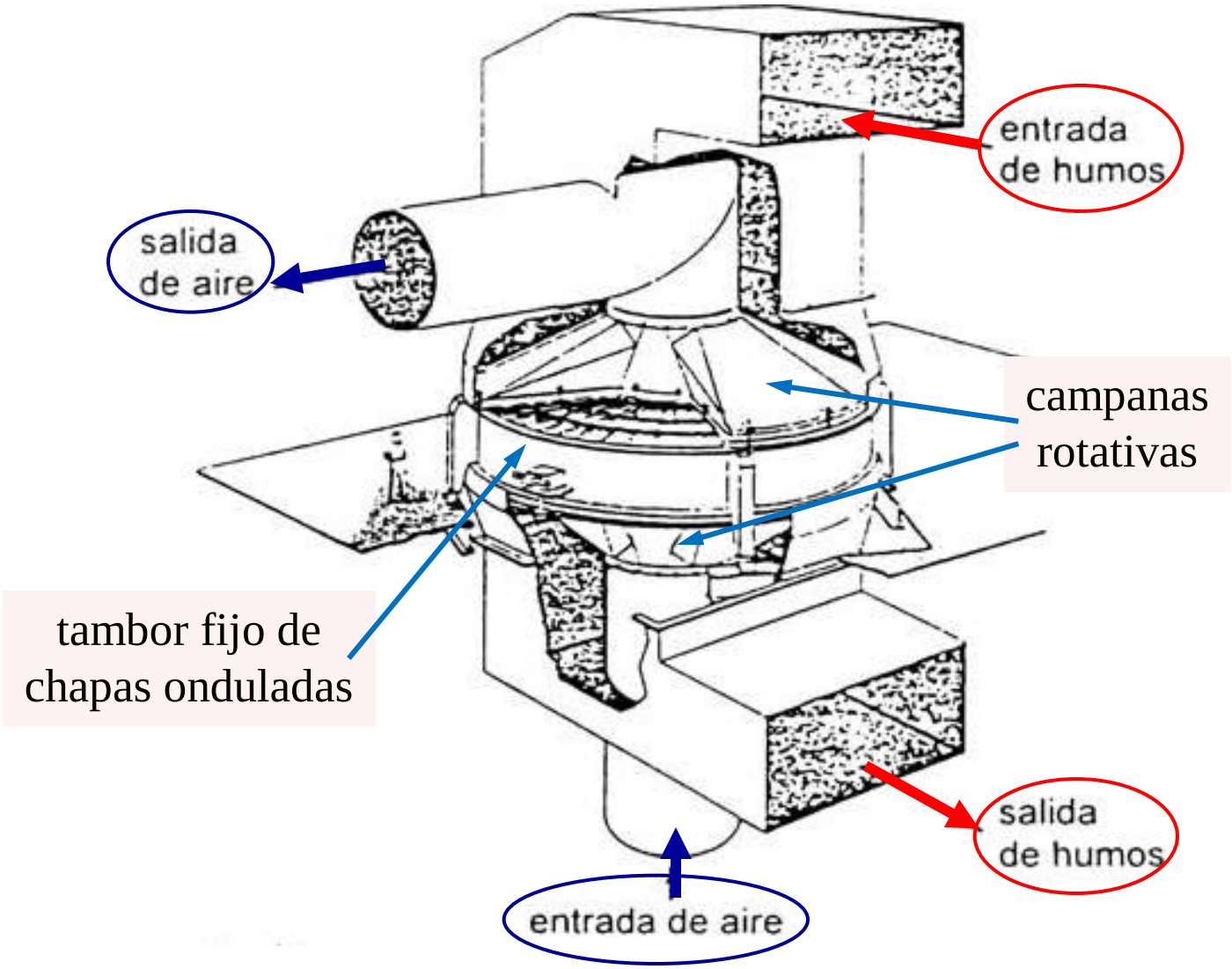


Calentador de aire Rothemühle

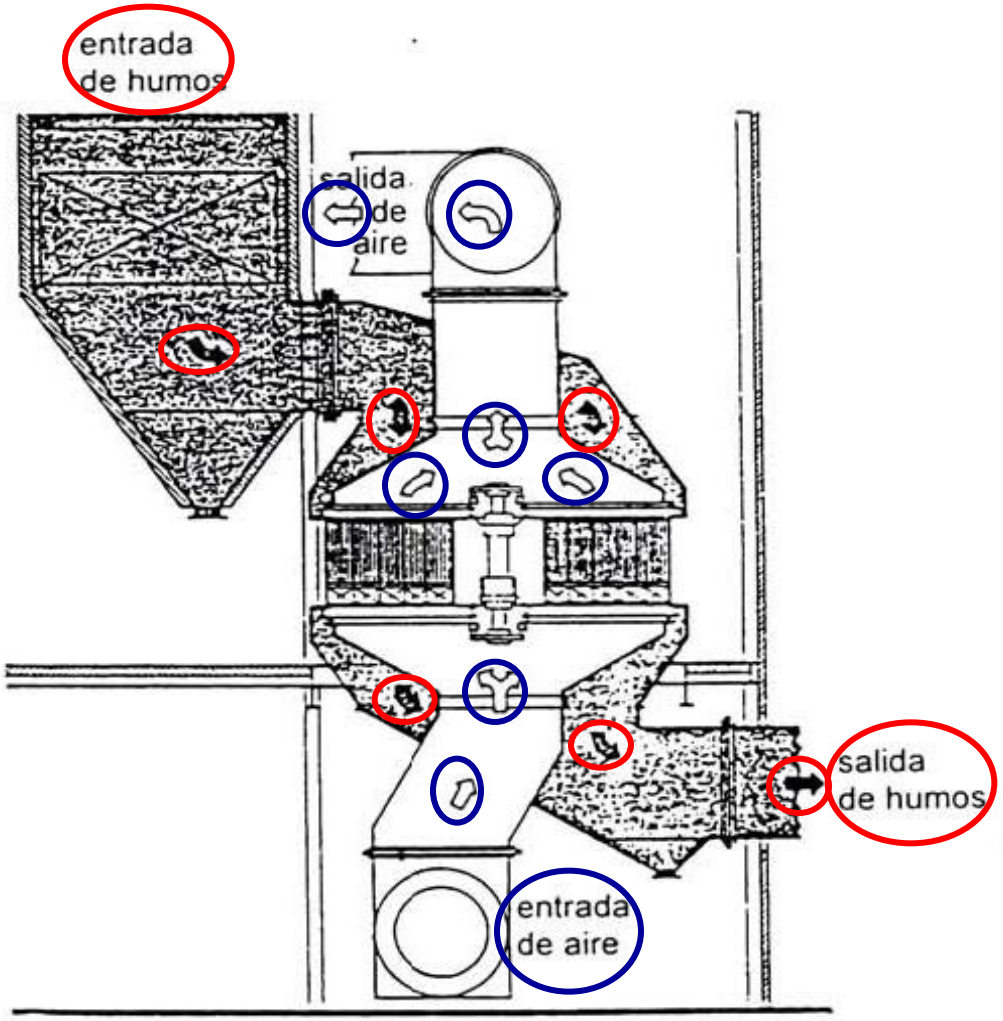


tambor fijo de chapas onduladas

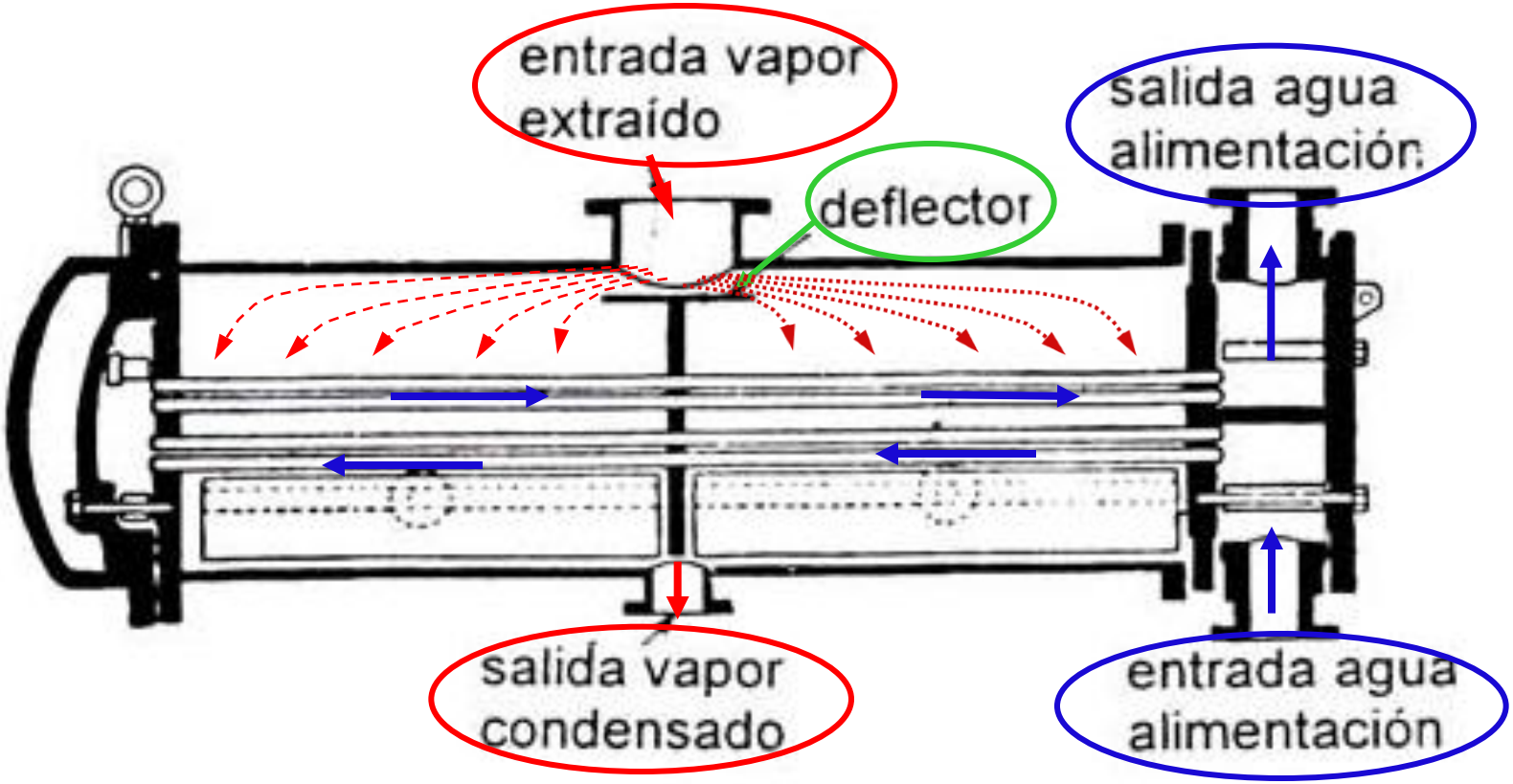
Calentador de aire Rothemühle



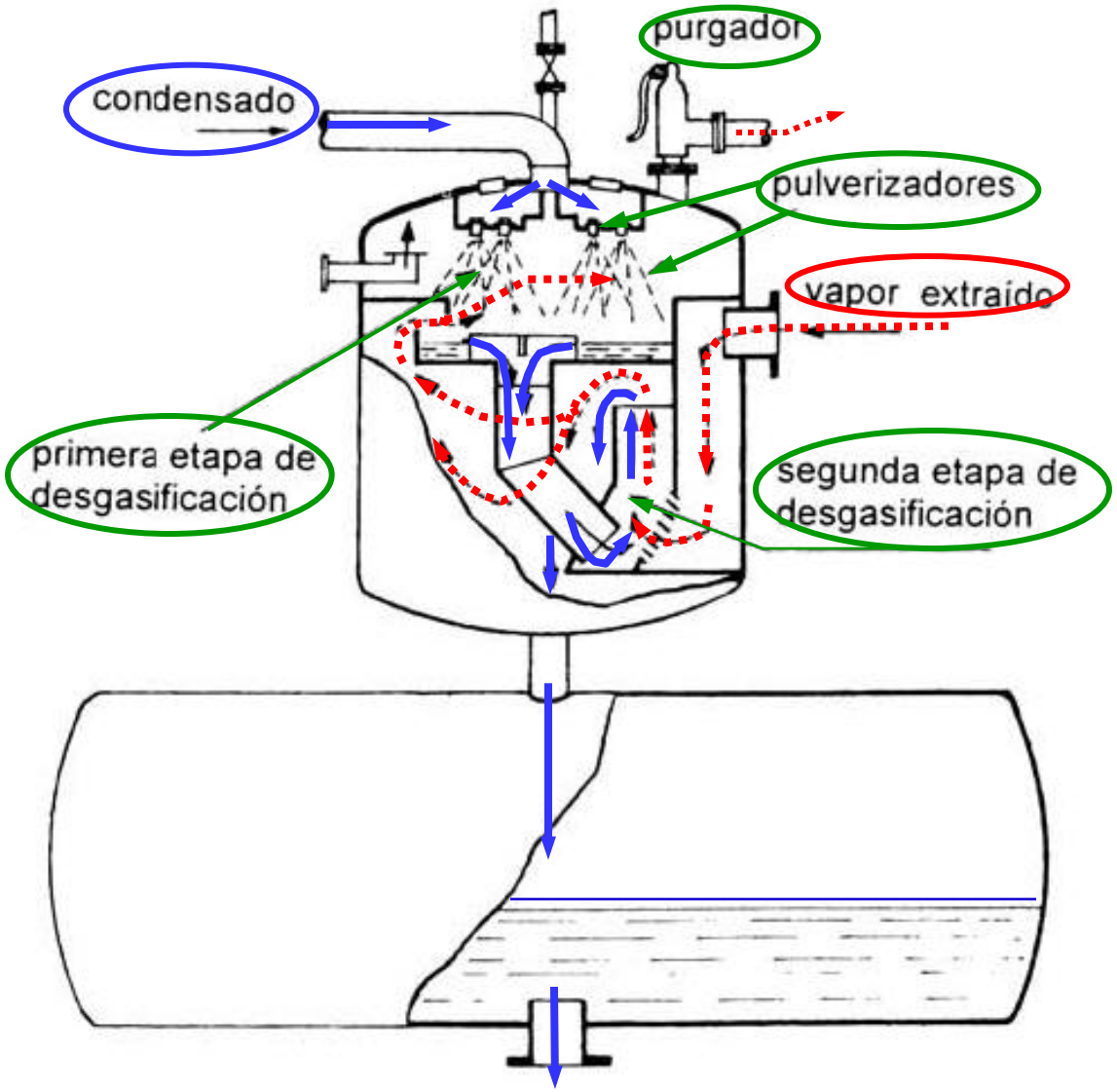
Calentador de aire Rothemühle



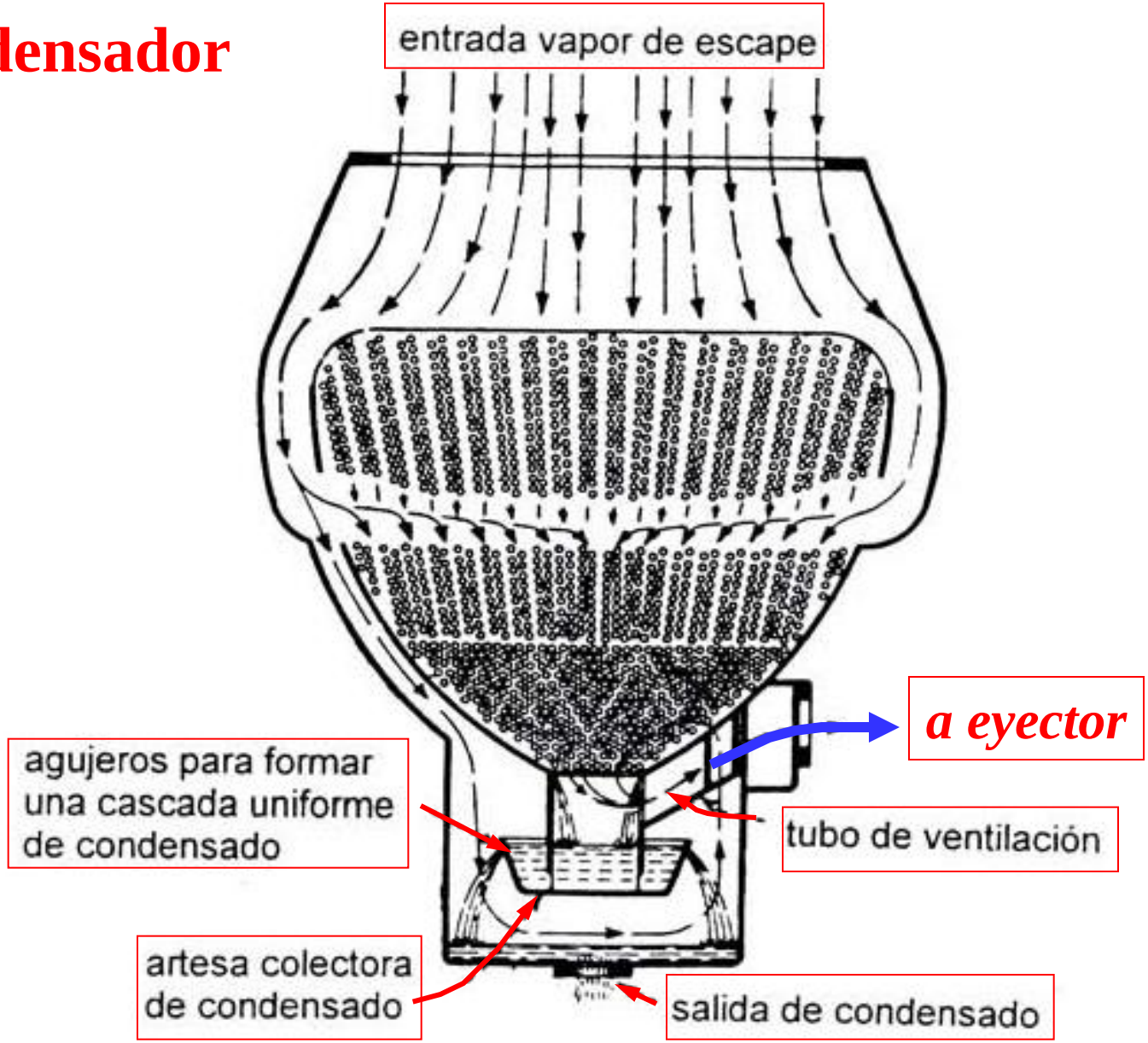
Calentador de agua cerrado



Calentador de mezcla, o desgasificador

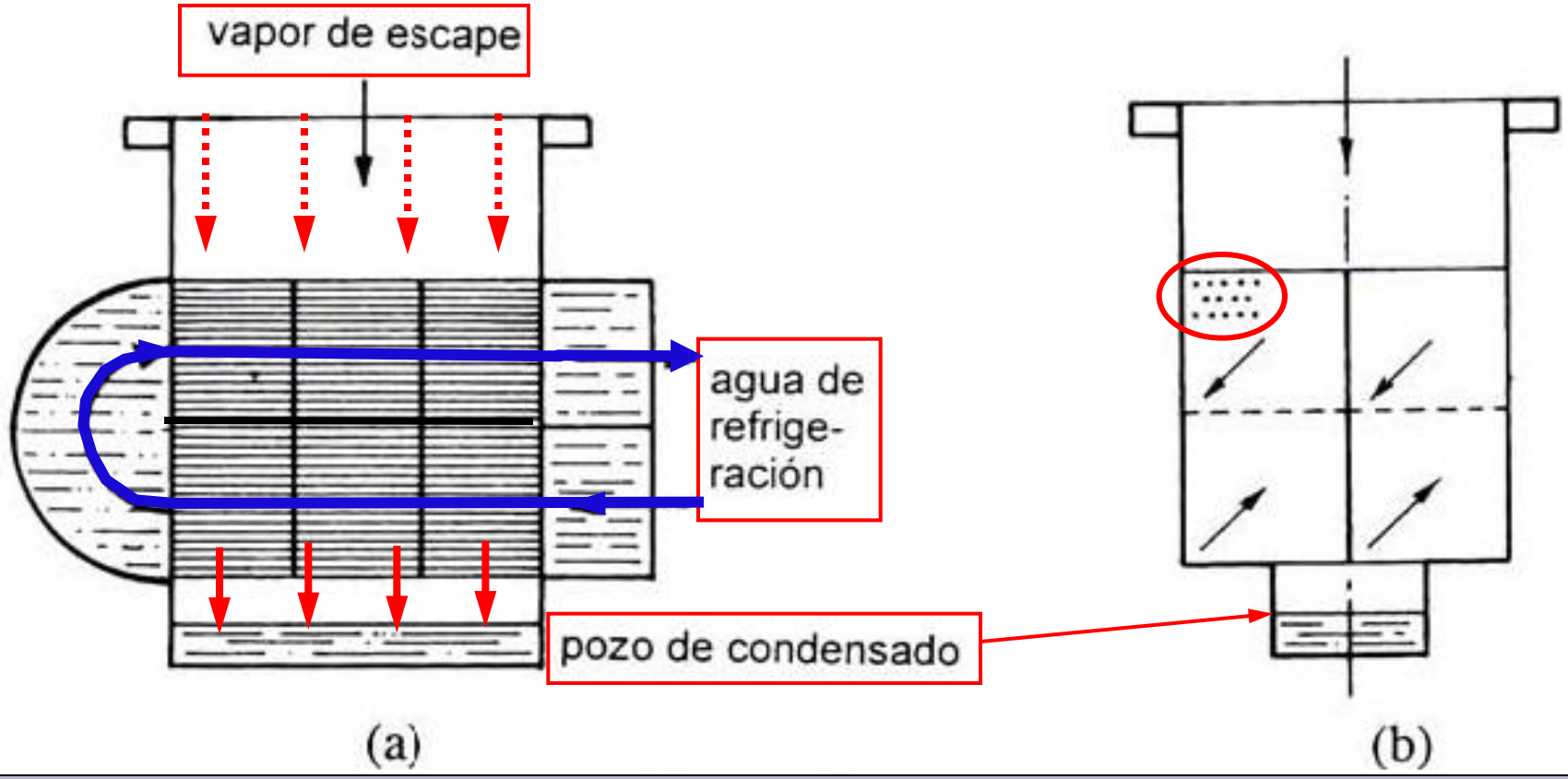


Condensador

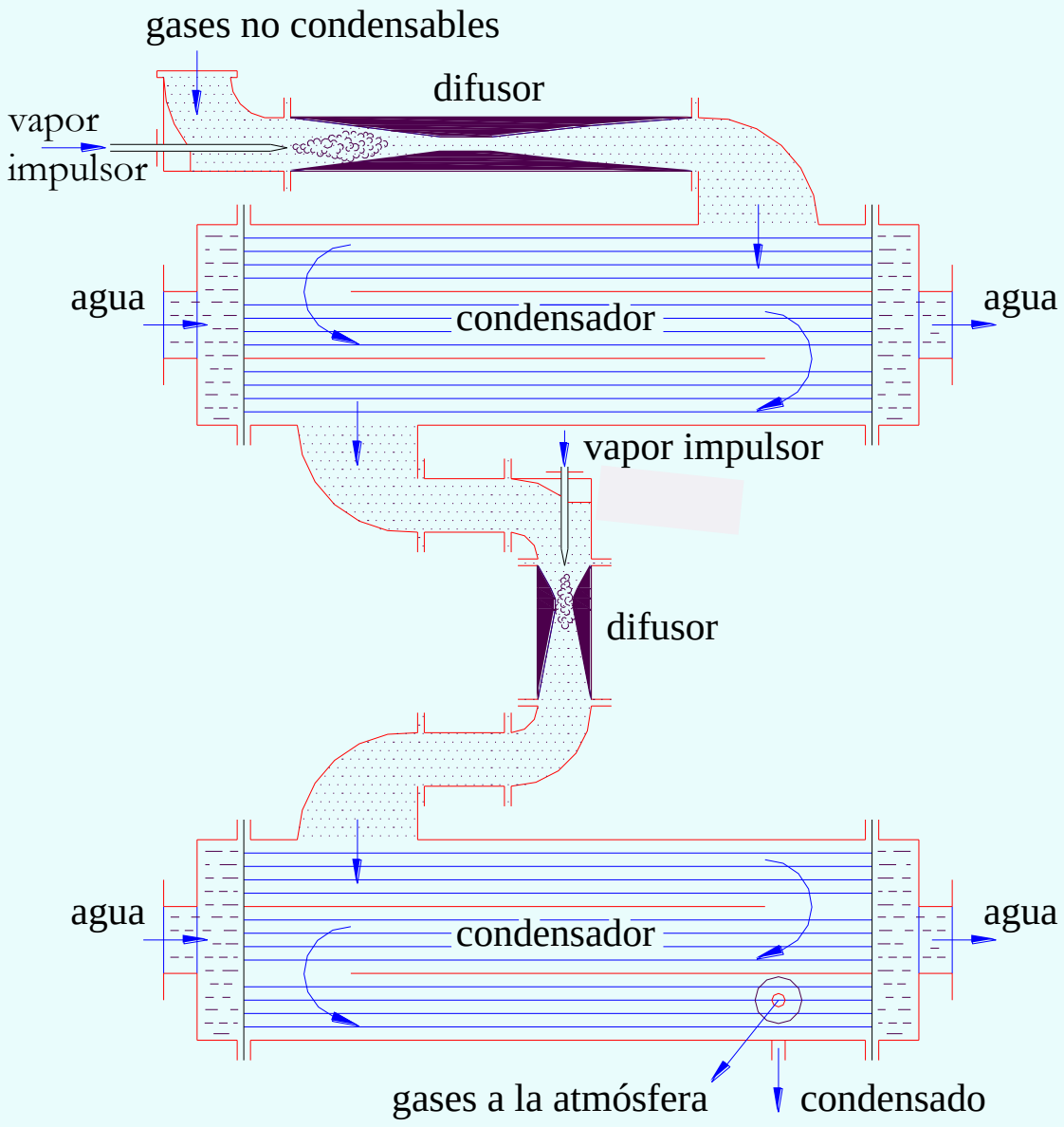


Condensador

Este esquema corresponde al condensador del grupo 3 de la Central de Puente Nuevo: 17000 tubos de cobre, de 12 m de longitud y 22 mm de diámetro interior.



Eyector


gases no condensables
difusor
vapor
impulsor
agua
condensador
agua
vapor impulsor
difusor
agua
condensador
agua
gases a la atmósfera
condensado

Central Térmica Puente Nuevo (Córdoba)

Central Térmica Puente Nuevo (Córdoba)