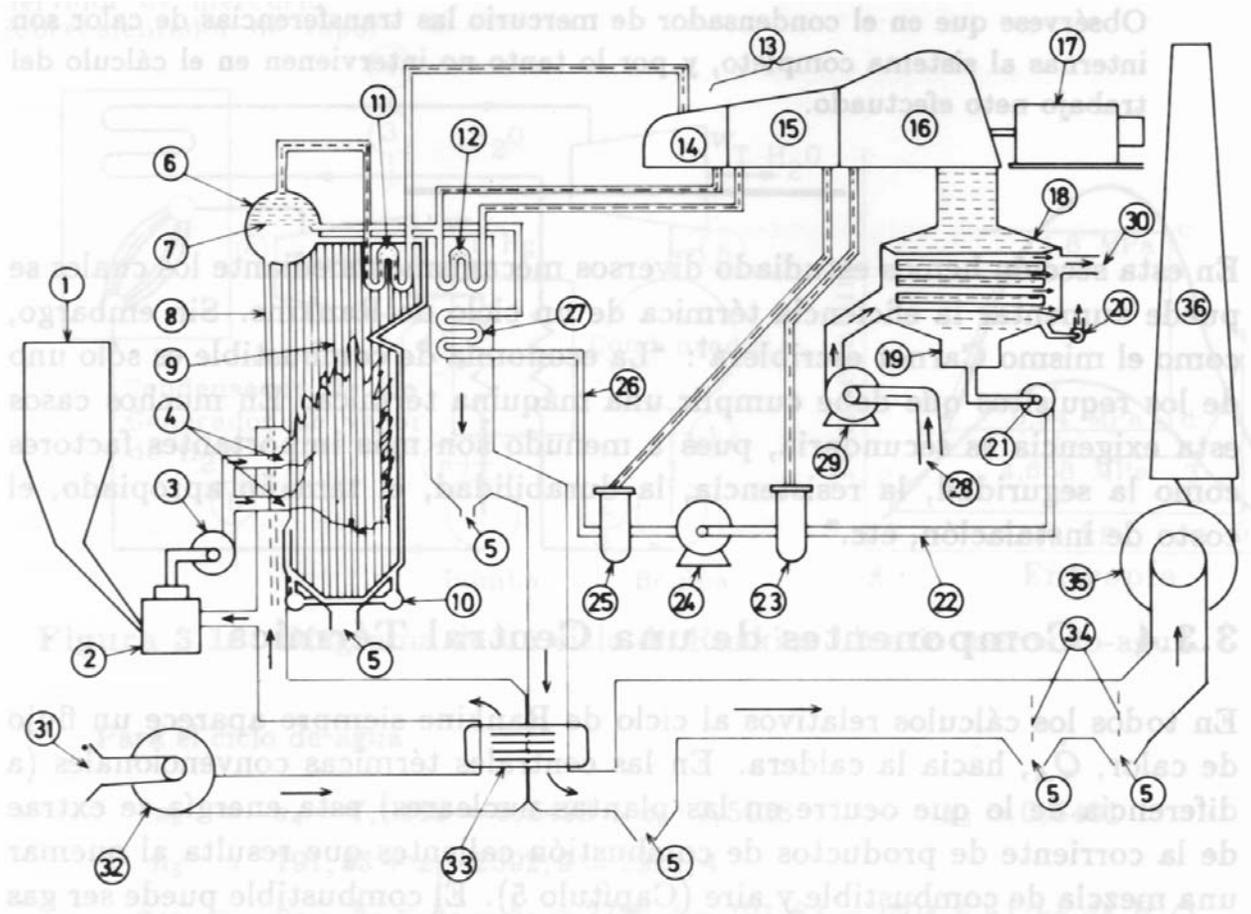


# EQUIPOS PARA LA GENERACIÓN DE VAPOR Y POTENCIA

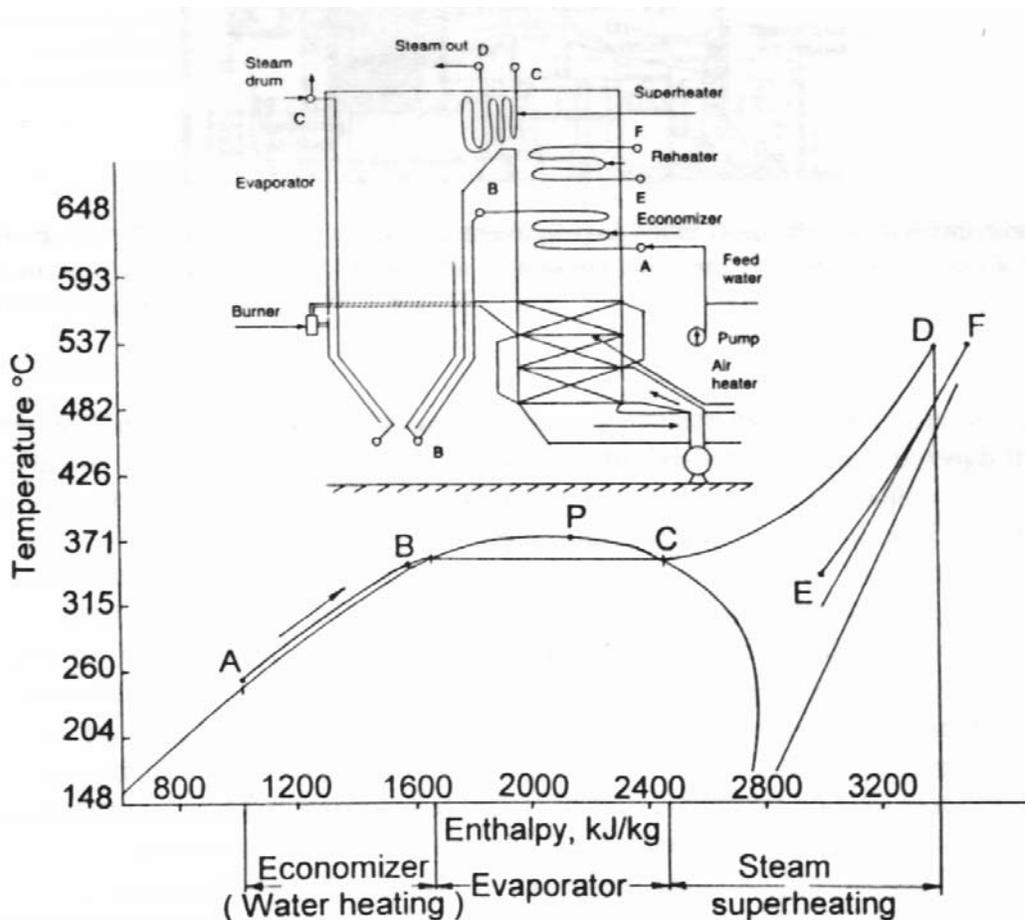
- **Diagrama simplificado de los equipos componentes de una central termo-eléctrica a vapor**



# EQUIPOS PARA LA GENERACIÓN DE VAPOR Y POTENCIA

## ➤ Caldera (Acuotubular):

- Quemadores y cámara de combustión (hogar): según el tipo de combustible o fuente de energía
- Precalentador de aire (de combustión)
- Economizador
- Evaporador (tubos)
- Domo(s) de vapor
- Sobrecalentador
- Recalentador(es) de vapor



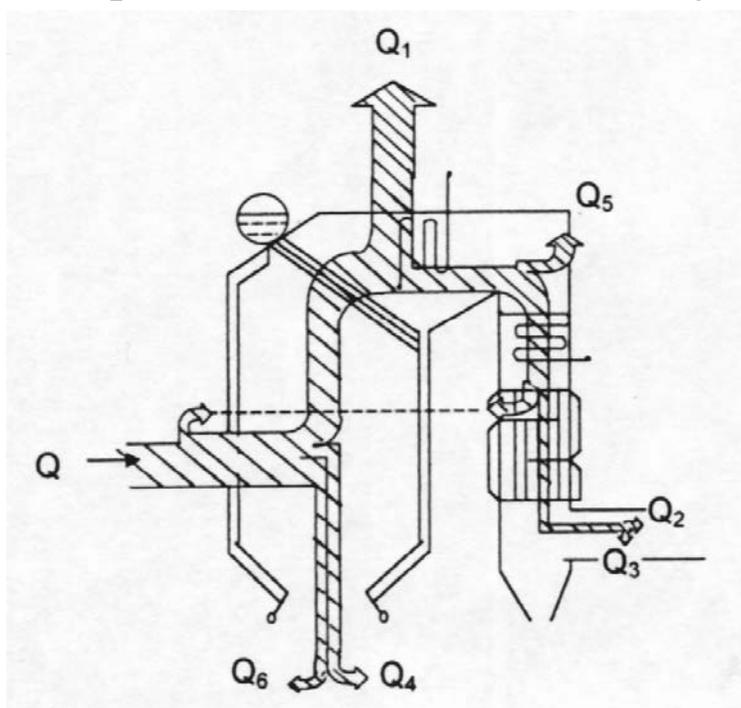
# EQUIPOS PARA LA GENERACIÓN DE VAPOR Y POTENCIA

## ➤ Eficiencia energética de una Caldera:

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{AbsVapor}}{\dot{Q}_{Combustible}} = \frac{\dot{Q}_{Vap Sobrecal} + \dot{Q}_{Rcal vap}}{\dot{Q}_{Combustible}} \approx 80\%$$

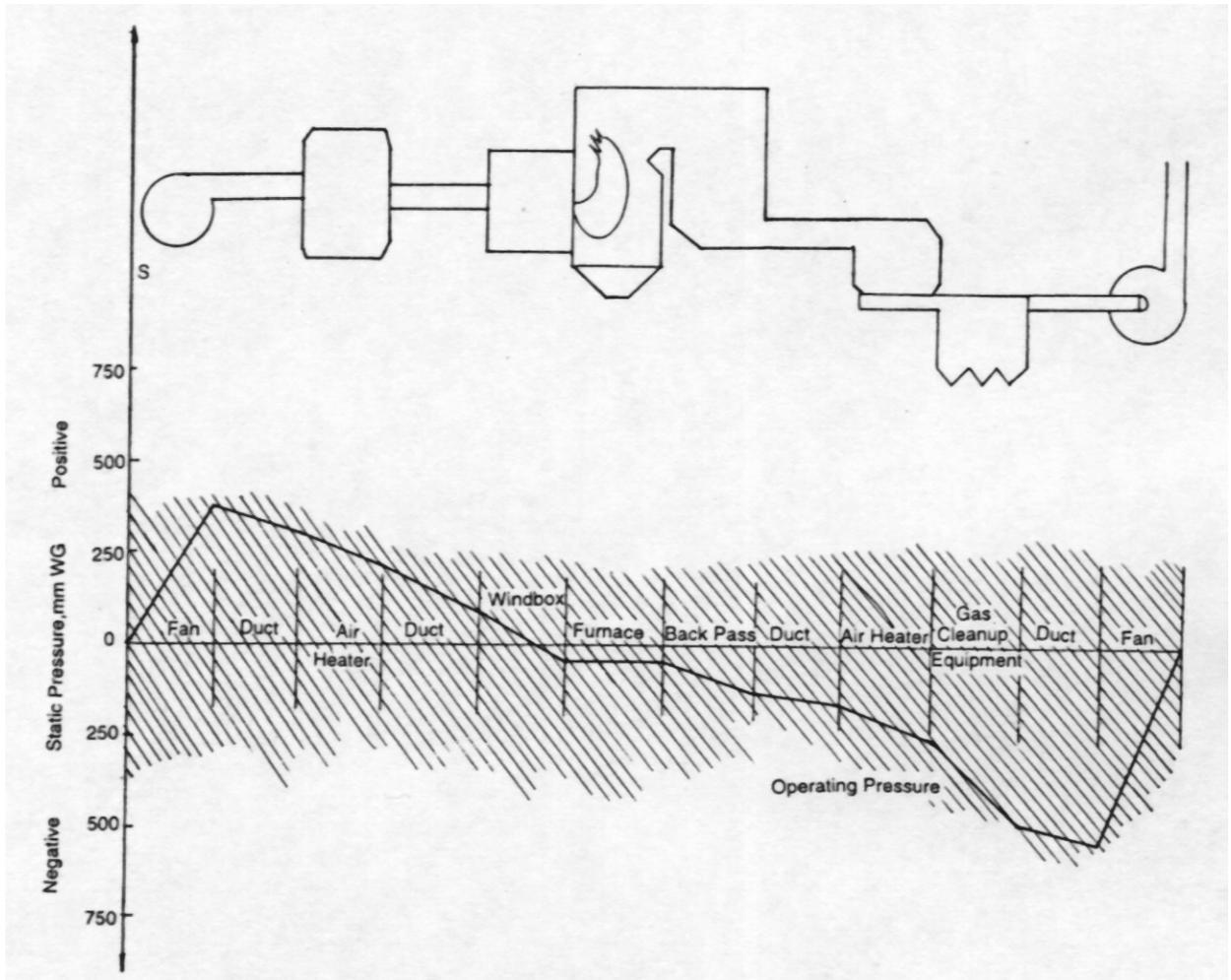
## ➤ Balance de energía en una caldera: $Q = Q_{combustible}$

- Calor útil =  $Q_1$  = calor absorbido por el vapor
- Pérdidas de calor:
  - $Q_2$  = a través de los gases de la chimenea (1%/10°C; 110°-180°C)
  - $Q_3$  = por combustión incompleta (0%-1%)
  - $Q_4$  = por carbón (combustible) no quemado (0%-4%)
  - $Q_5$  = por convección y radiación desde la caldera hacia el exterior (0,2%-3,5%)
  - $Q_6$  = por calor sensible de las cenizas y escoria (LHV)



# EQUIPOS PARA LA GENERACIÓN DE VAPOR Y POTENCIA

- **Perfil de presión de los productos de combustión en una caldera**



# EQUIPOS PARA LA GENERACIÓN DE VAPOR Y POTENCIA

## ➤ Turbina de vapor

- Desde finales del siglo XIX
- Expansión sin pérdidas,  $S$  cte. La caída de entalpía a disposición de la turbina se transformaría completamente en energía mecánica, excepto por las pérdidas no termodinámicas (fugas, rozamientos mecánicos)
- Pero en la realidad hay una degradación de la energía térmica,  $S \uparrow$  y la energía efectivamente transformada en trabajo es inferior al salto entálpico del vapor en la TV. Tal disipación se produce por rozamientos fluidos, choques y radiación
- Su  $\eta$  depende de:
  - La potencia de la máquina, siendo  $>$  para TV de  $>$  potencia
  - Carga de la turbina, una  $\downarrow$  de caudal  $\downarrow$ ?  $\eta$  de la turbina

## ➤ Pérdidas de turbina a vapor:

- Fricción del fluido: 10% de la E.D. ( $\eta_t \approx 70\%-90\%$ )
- Supersaturación: vapor subenfriado al pasar la línea de saturación
- Fugas (interiores y hacia el exterior): 1% de la E.D. ( $\eta_v$ )
- Velocidad de salida: 270-300 m/s. 2-3% de pérdidas
- Humedad: en últimas etapas TV, las que están dentro de la campana de cambio de fase
- Transferencia de calor: despreciables
- Pérdidas mecánicas y eléctricas: son ctes. en cantidad a cualquier carga, 1% mecánicas, 1-2% generador. ( $\eta_m$ )

## ➤ $\eta_{\text{global}} \approx 67\%-87\%$ (y menor para turbinas más pequeñas)

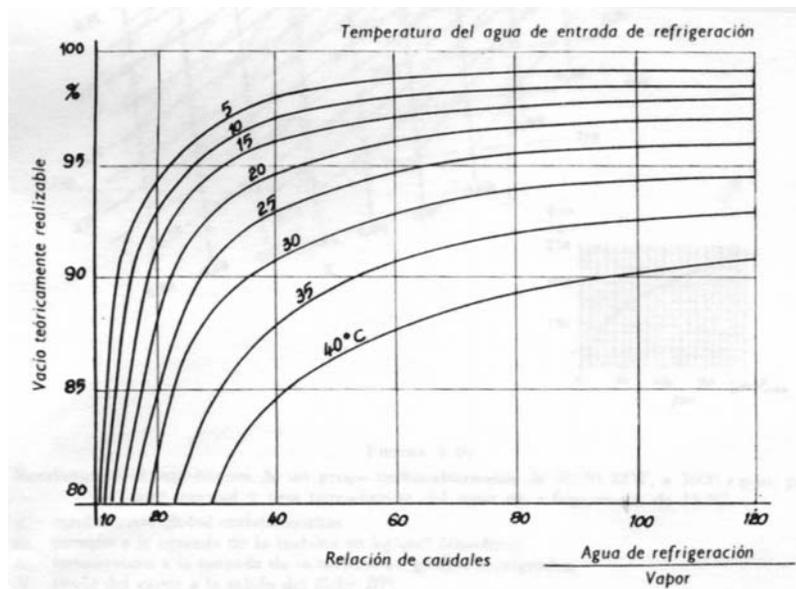
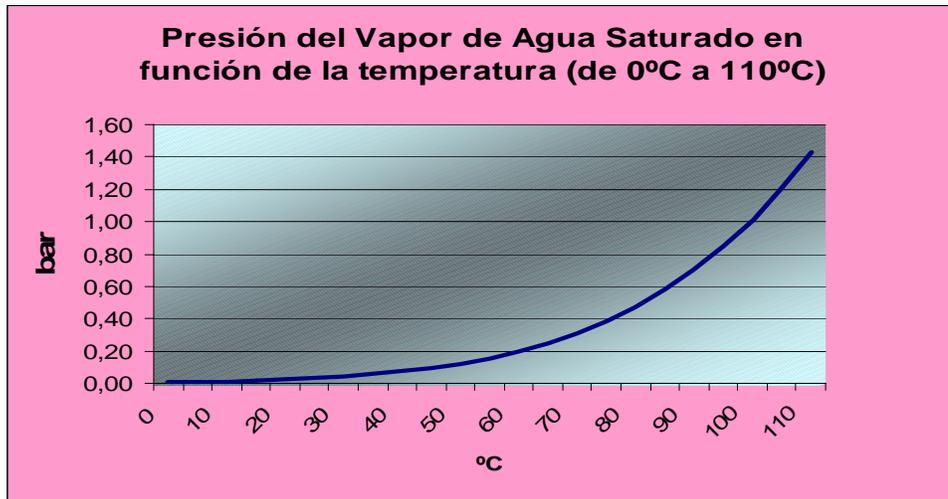
# EQUIPOS PARA LA GENERACIÓN DE VAPOR Y POTENCIA

- Características de desempeño :
  - Consumo específico de vapor: kg/kWh
  - Heat Rate: kcal/kWh =  $860/\eta$
- Rangos de capacidades de TV:
  - 100 kW a 300 MW
  - $P_{\max} = 150\text{bar?}$
  - $T_{\max} = 550^{\circ}\text{C?}$
  - 3.000 rpm a 16.000 rpm
- Algunos tipos de TV:
  - A condensación: para producción local de energía eléctrica, con o sin extracciones intermedias
  - A contrapresión: uso en cogeneración, con o sin extracciones intermedias
  - Con más de una entrada de vapor (vapor recalentado)
  - De pequeña y mediana potencia: accionamiento de bombas y compresores

# EQUIPOS PARA LA GENERACIÓN DE VAPOR Y POTENCIA

## ➤ El condensador

- Para que el calor residual del ciclo de vapor se libere a la atm. a una  $T^\circ$  levemente superior a la  $T_{atm}$ , el condensador trabaja en vacío ( $P_{atm} - P_c$ ).  $P_c = P_{vap}(T)$



## ➤ Tipos:

- De superficie
- De mezcla

# EQUIPOS PARA LA GENERACIÓN DE VAPOR Y POTENCIA

## ➤ Bomba agua de alimentación

- Ubicaciones posibles:
  - A la salida del condensador: se bombea agua fría
  - Entre dos precalentadores: se requiere una bomba de extracción a la salida del condensador que asegure una presión del orden de 10bar
  - Inmediatamente a la entrada de la caldera (tendencia actual)
- En los 2 últimos casos se bombea agua caliente:  $\downarrow v$ ,  $\uparrow \eta$  2% a 2,5%
- La energía transmitida al agua  $\uparrow T$ , lo que permite disminuir los caudales de vapor para el precalentamiento del agua de alimentación,  $\uparrow$  el  $W$  que realiza el vapor en la TV
- $\eta \approx 70\%$

## ➤ Precalentadores de agua de alimentación:

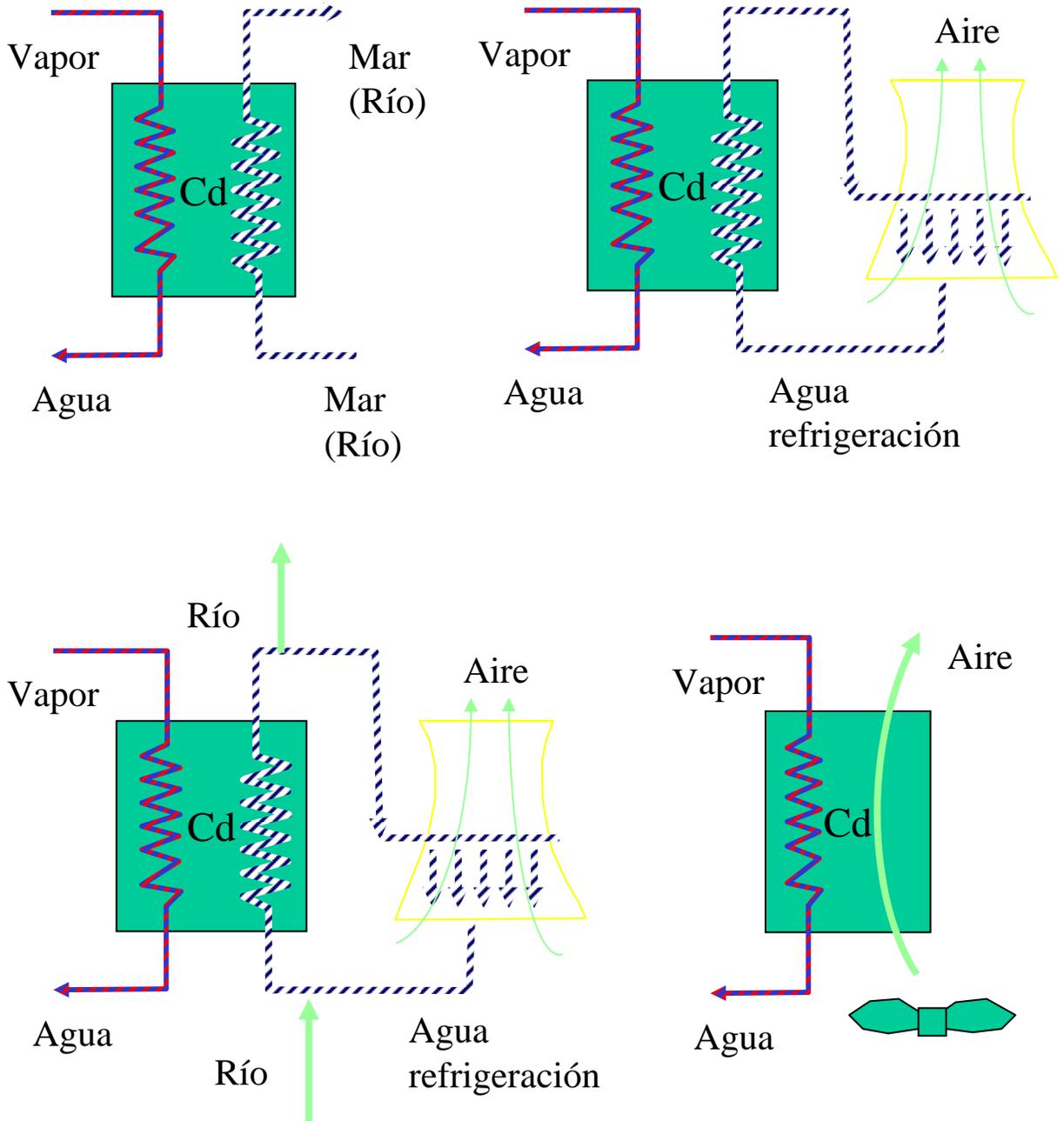
- Cerrados o de superficie: el vapor no tiene contacto con el agua. Son pequeños condensadores que operan a mayor presión que el condensador. El condensado obtenido puede:
  - Devolverse al que le precede usando una válvula reductora de presión (o hacia el condensador si se trata del primer precalentador): + simple y + usado.
  - Bombearse a la cañería de condensado principal
- Contacto directo: desgasificador, se aprovecha de extraer el oxígeno y gases del agua
- Se usan varios de superficie y un desgasificador antes de la caldera

# EQUIPOS PARA LA GENERACIÓN DE VAPOR Y POTENCIA

- Equipos auxiliares:
  - Para el combustible: Almacenamiento y transporte hasta caldera
  - Abatimiento de emisiones:
    - Precipitadores electrostáticos, filtros de manga, (PM)
    - Tecnología quemadores, mallas catalíticas (CO)
    - SCR, SNCR (NO<sub>x</sub>)
    - Scrubber (SO<sub>2</sub>)
  - Para la Caldera:
    - Ablandadores
    - Desmineralizadores
    - Desgasificador
    - Bombas de productos químicos
    - Sistemas de purga
  - Para el condensador:
    - Torres de enfriamiento y piscinas
    - Bombas agua de enfriamiento
    - Reposición de agua de enfriamiento
    - Eyector (extrae gases no condensables)
- Instrumentación y control
- Iluminación, etc.

# CICLO COMBINADO

## ➤ Tipos de refrigeración en el condensador



## Tecnologías de Generación de Potencia y su Eficiencia a Plena Carga

	Category	Technology	Net Efficiency* (%)
<b>Coal</b>	Stoker/Cyclone Steam Cycle	Stoker-Fired Steam (underfeed, overfeed, spreader)	20-32
		Cyclone Steam	32-35
	Pulverized Coal Steam Cycle	Subcritical	36-39
		Supercritical and ultra supercritical	40-46
	Fluidized Bed Steam Cycle	Circulating Fluidized Bed (atmospheric)	34-40
		Atmospheric Bubbling Fluidized Bed	34-40
		Pressurised Fluidized Bed Combustion	39-41
		Pressurised Fluidized Bed/Combined Cycle	42-45
	Gasification/Gas Turbine Combined Cycle	Moving Bed IGCC	40-43
		Pressurised Fluid Bed IGCC	40-44
Entrained Flow IGCC		42-46	
Combined Heat & Power	Cogeneration	50-85	
<b>Gas/Oil</b>	Internal Combustion	Reciprocating Engine	30-34
	Steam Boiler	Subcritical	36-38
		Supercritical	40-42
	Gas Turbine	Gas Turbine Simple Cycle (GTSC) or Peaking Units	24-37
		Gas Turbine Combined Cycle (GTCC)	53-60
	Combined Heat & Power	Depends on design and the efficiency of heat use.	65-85%