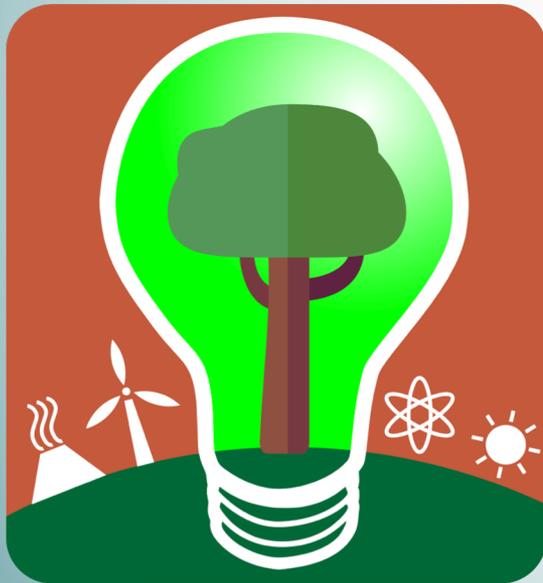


Transformación y Uso Eficiente de la Energía

BLOQUE I. CALOR Y FRÍO

1. Mejora de la eficiencia en sistemas de combustión



Juan Carcedo Haya

Departamento de Ingeniería
Eléctrica y Energética

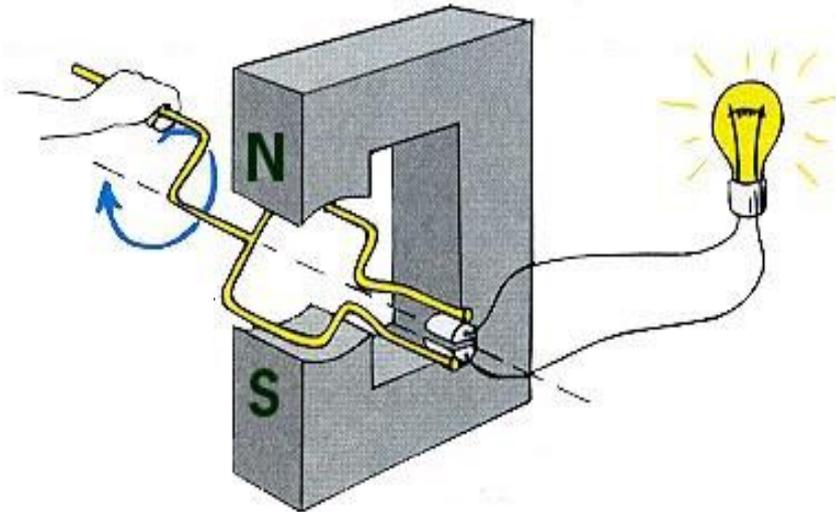
Este material se publica con licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



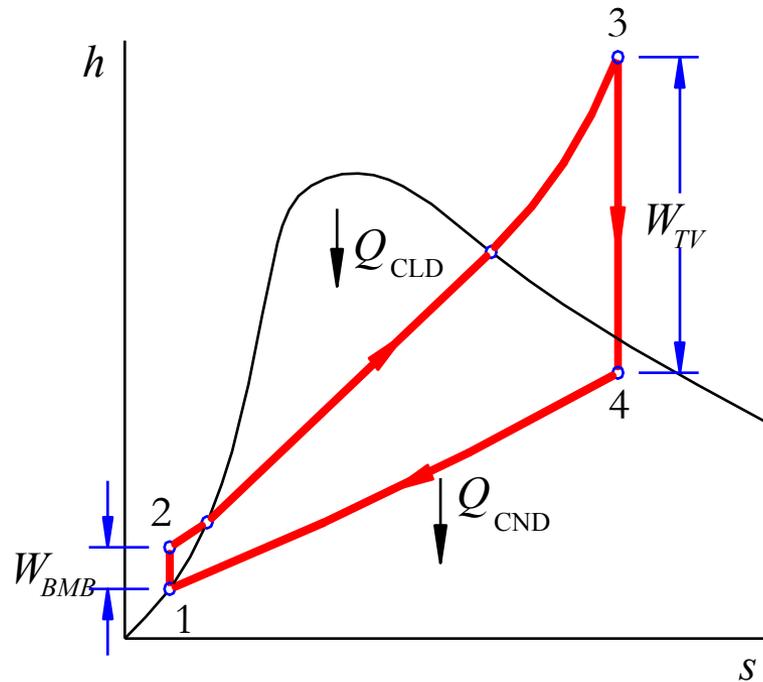
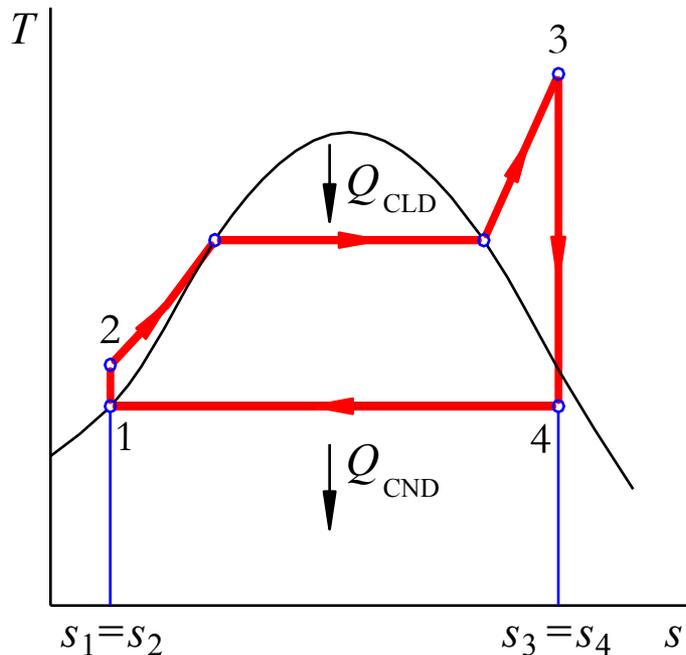
Se define la COGENERACIÓN como la producción conjunta, en proceso secuencial, de energía mecánica (o energía eléctrica) y energía térmica útil.

Mientras que el objetivo de una central termoeléctrica es producir energía eléctrica con el mayor rendimiento posible, el objetivo de una central de cogeneración es satisfacer una demanda **eléctrica** y una demanda **térmica** con el menor consumo de combustible posible.



EJEMPLO: CICLO DE RANKINE

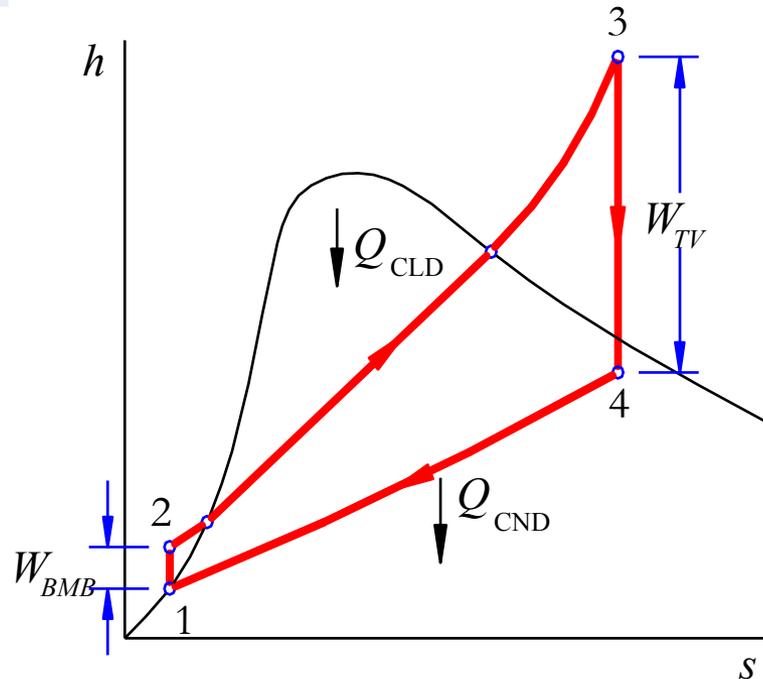
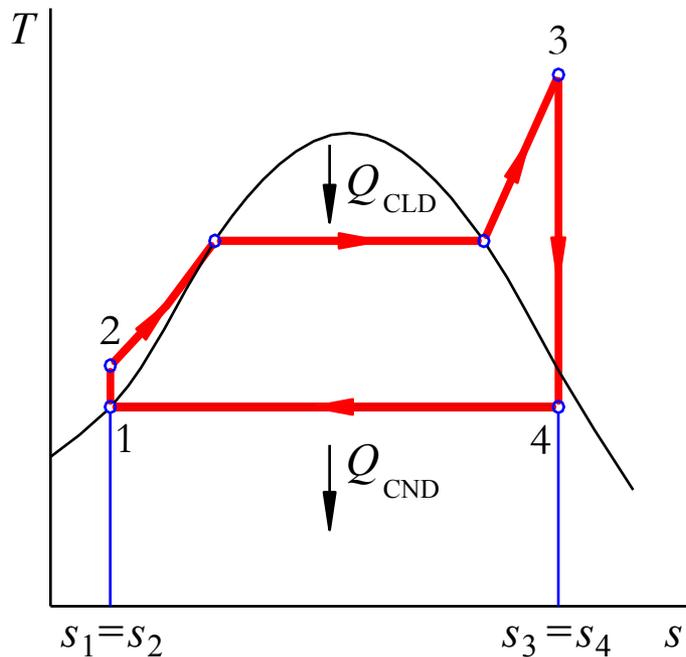
- Presión en la caldera: 159 bar
- Temperatura máxima en la caldera: 538 °C
- Presión en el condensador: 50 mbar



Resolviendo el ciclo resulta:

Estado	Presión (bar)	Temperatura (°C)	Entalpía (kJ/kg)
1	0,05	32,9	137,8
2	158,9	33,3	153,75
3	158,9	538	3406,04
4	0,05	32,9	1964,71

W TV	1441,33 kJ/kg
W BMB	15,95 kJ/kg
Q CLD	3252,29 kJ/kg
Q CND	1826,91 kJ/kg
η	43,83%



Resolviendo el ciclo resulta:

Estado	Presión (bar)	Temperatura (°C)	Entalpía (kJ/kg)
1	0,05	32,9	137,8
2	158,9	33,3	153,75
3	158,9	538	3406,04
4	0,05	32,9	1964,71

W TV	1441,33 kJ/kg
W BMB	15,95 kJ/kg
Q CLD	3252,29 kJ/kg
Q CND	1826,91 kJ/kg
η	43,83%

Obviamente, en régimen permanente se cumple que:

$$Q_{CLD} + W_{BMB} = Q_{CND} + W_{TV}$$

La caldera **aporta** 3.252,29 kJ por cada kg de vapor que recorre la instalación.

Las bombas **aportan** 15,95 kJ por cada kg de vapor que recorre la instalación.

La turbina **aprovecha** 1.441,33 kJ por cada kg de vapor que recorre la instalación.

El condensador **disipa** 1.826,91 kJ por cada kg de vapor que recorre la instalación.

¿Por qué se desaprovecha tanta energía?

Presión sat	Temp. sat.	Volumen	Volumen	Entalpía	Entalpía	Entalpía	Entropía	Entropía	Entropía
bar	°C	v' (dm ³ /kg)	v'' (dm ³ /kg)	h' (kJ/kg)	h'' (kJ/kg)	$r_{(l-v)}$ (kJ/kg)	s' (kJ/kg·K)	s'' (kJ/kg·K)	Δs (kJ/kg·K)
0,0500	33,00	1,0053	28196,00	137,8	2560,9	2423,1	0,476	8,394	7,918
1,0132	100,00	1,0435	1673,00	419,1	2675,8	2256,7	1,308	7,355	6,048



En Termodinámica, la variable utilizada para determinar la calidad de la energía se denomina **EXERGÍA**.

Se define la EXERGÍA como la parte de la energía que puede ser convertida en trabajo mecánico.

A la parte no convertible en trabajo mecánico se la denomina ANERGÍA.

FACTOR EXERGÉTICO DEL CALOR

$$f_{ex} = 1 - \frac{T_a}{T}$$

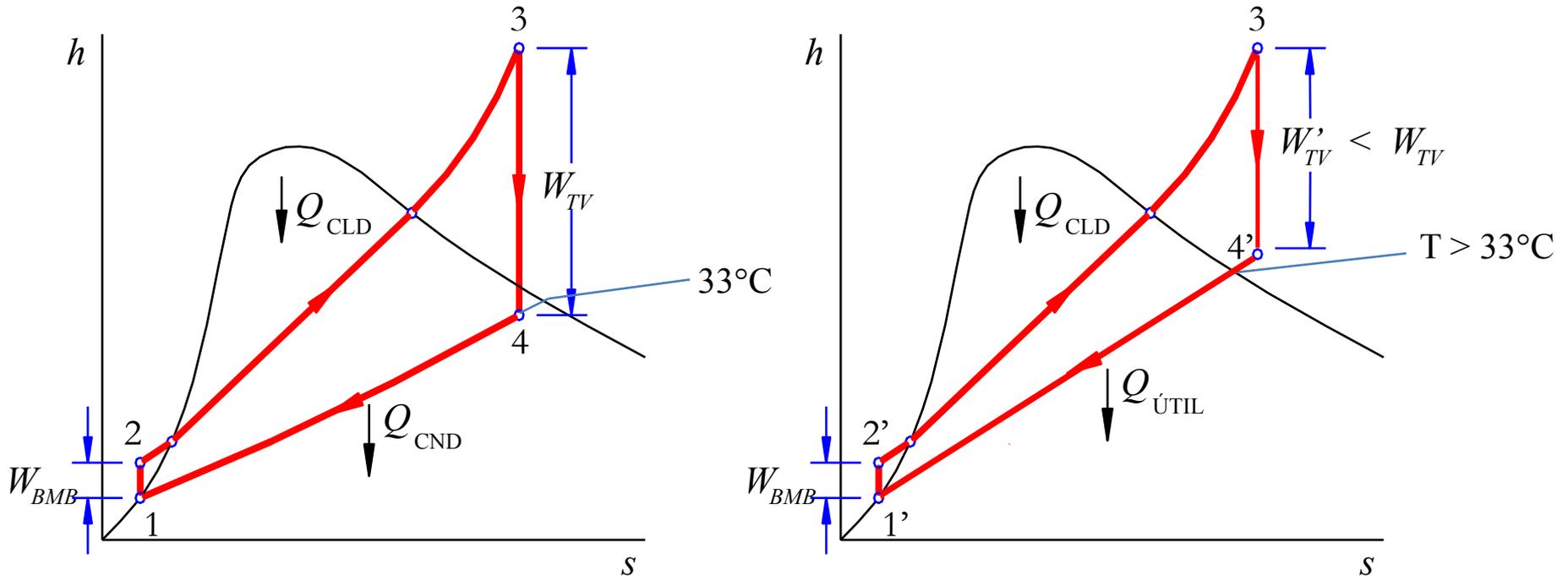
Siendo:

- T_a = Temperatura del medio ambiente (estado muerto)
- T = Temperatura a la que se encuentra el calor

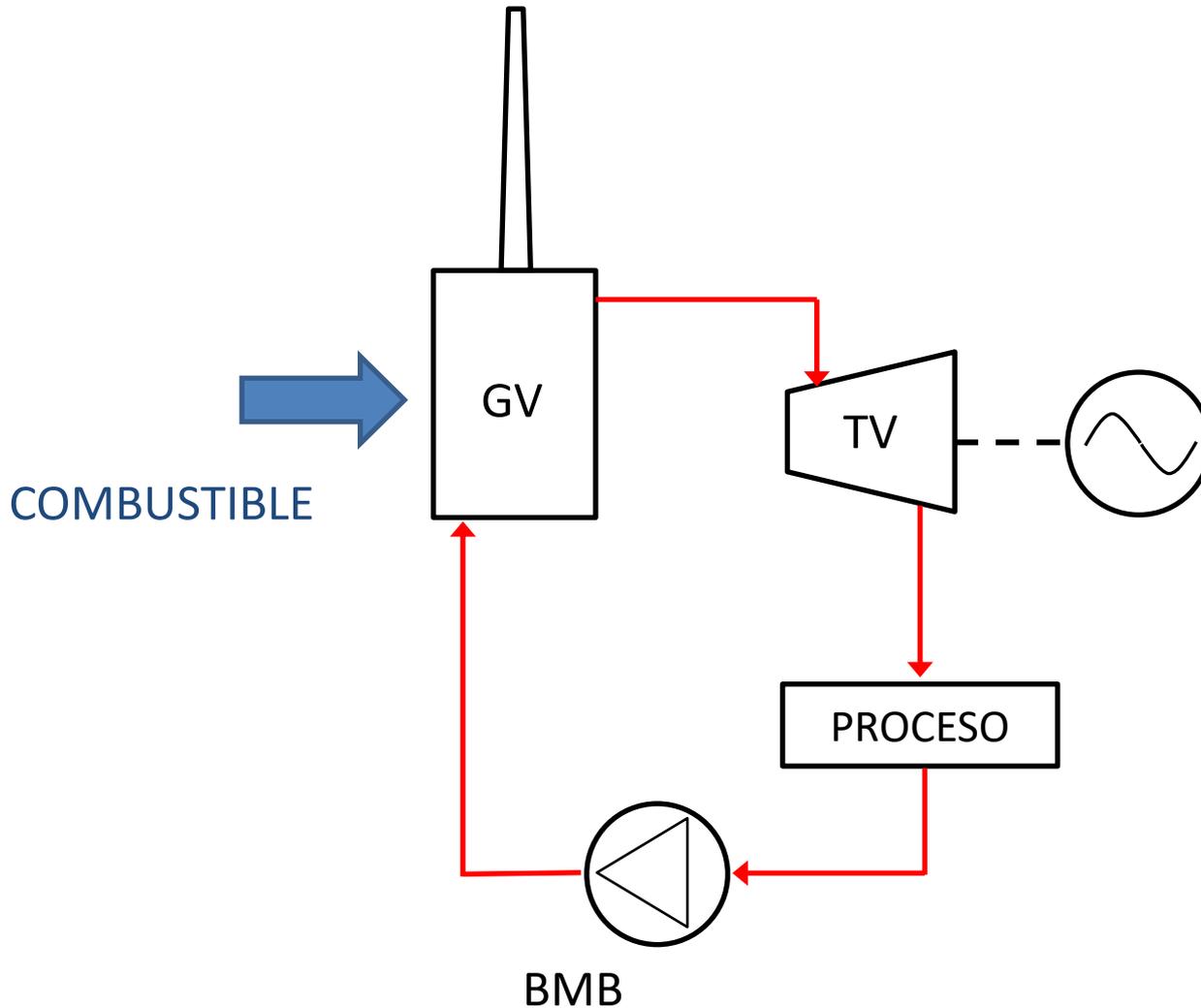
Entonces, la exergía del calor es:

$$E(Q) = f_{ex} \cdot Q$$

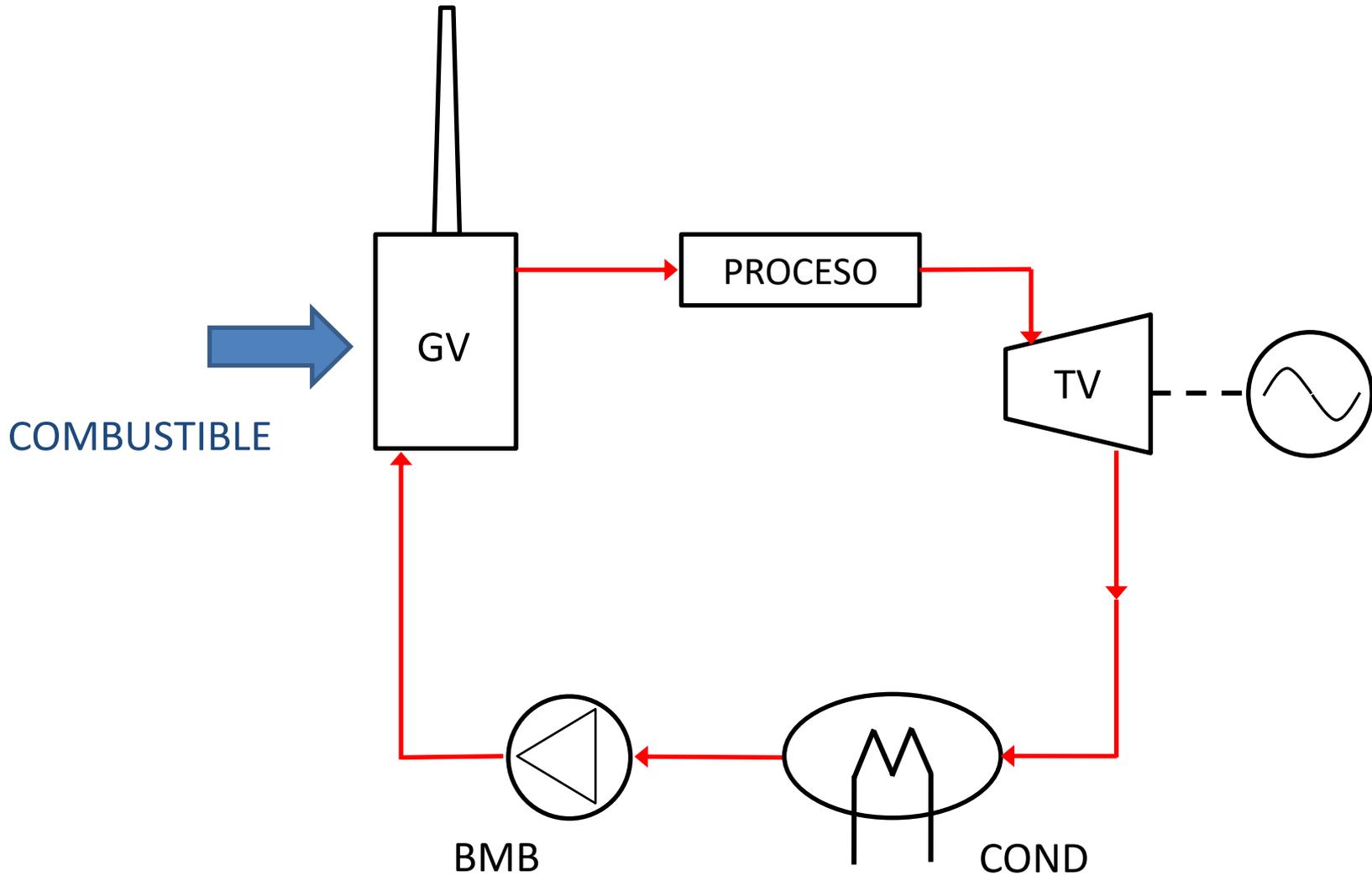
Se «sacrifica» parte de la energía eléctrica en aras de la energía térmica útil.



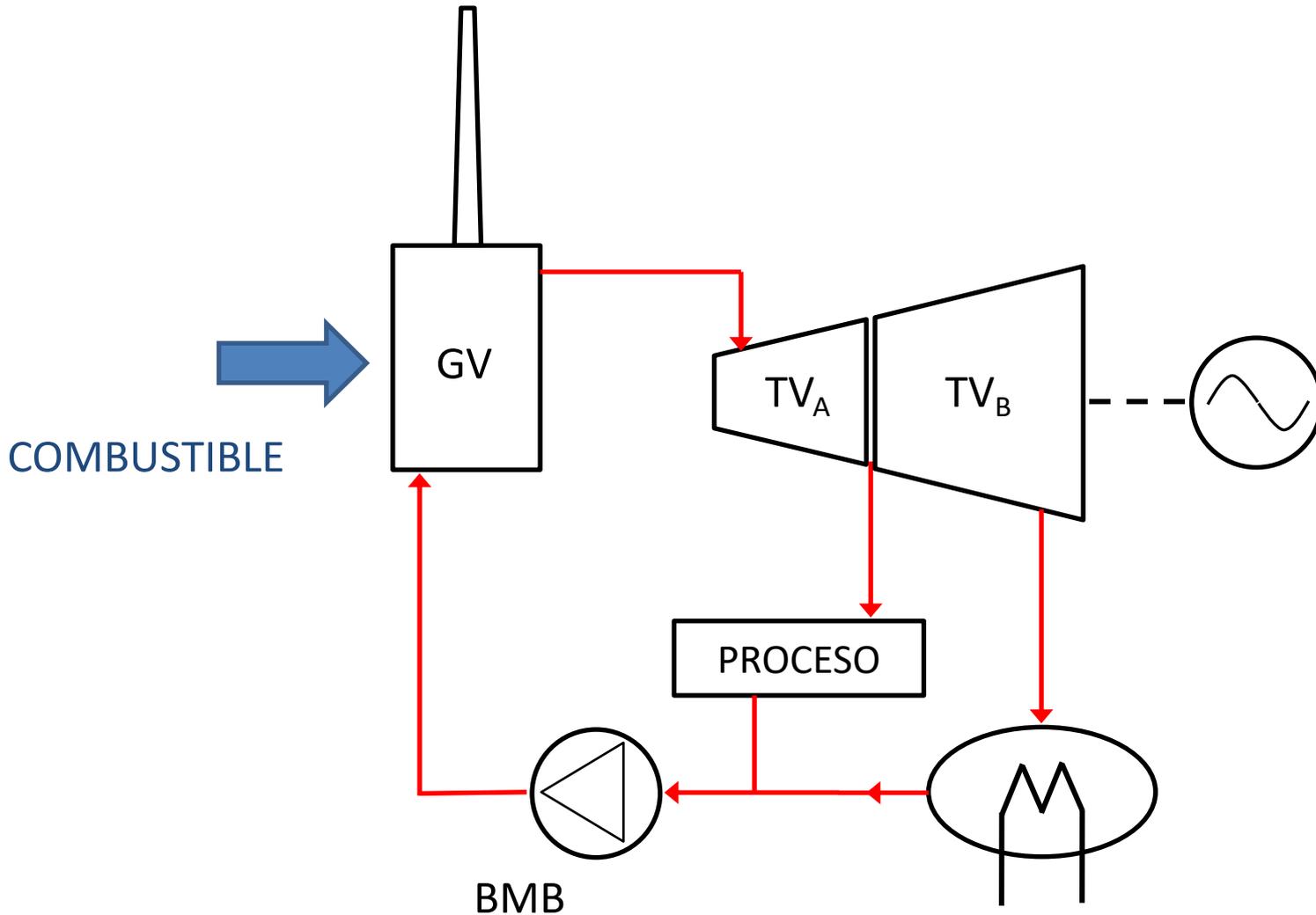
Ejemplos: TV a contrapresión. Ciclo de cabecera



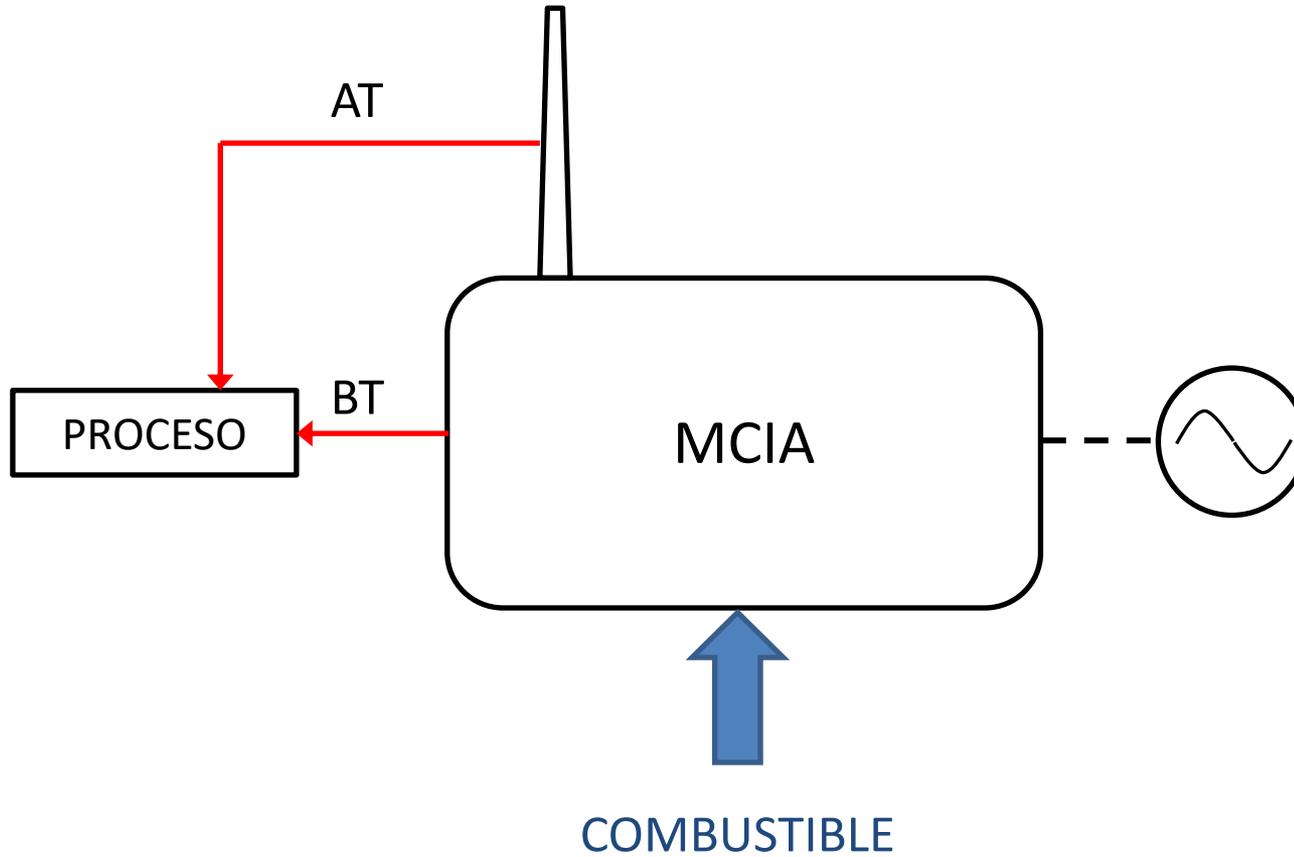
Ejemplos: TV de condensación. Ciclo de cola



Ejemplos: TV de condensación con extracción



Ejemplos: Motor de combustión interna alternativo



Ejemplos: MCIA 800 kW



Ejemplos: MCIA 6000 kW



Criterios de eficiencia de las plantas de cogeneración (I)

- Factor de utilización de la energía (FUE) o rendimiento global

$$FUE = \frac{W_e + Q_u}{F}$$

- Ahorro de combustible (ΔF)

$$\Delta F = \frac{W_e}{\eta_{e,red}} + \frac{Q_u}{\eta_{cld}} - F$$

- Índice de ahorro de energía (IAE)

$$IAE = \frac{\Delta F}{\frac{W_e}{\eta_{e,red}} + \frac{Q_u}{\eta_{cld}}}$$

Criterios de eficiencia de las plantas de cogeneración (II)

- Relación calor electricidad (RCE) $RCE = \frac{Q_u}{W_e}$

- Rendimiento eléctrico $\eta_e = \frac{W_e}{F}$

- Rendimiento eléctrico equivalente (REE) $REE = \frac{W_e}{F - \frac{Q_u}{0,9}}$

Criterios de eficiencia de las plantas de cogeneración (III)

OJO con el rendimiento eléctrico equivalente (REE) y la postcombustión...

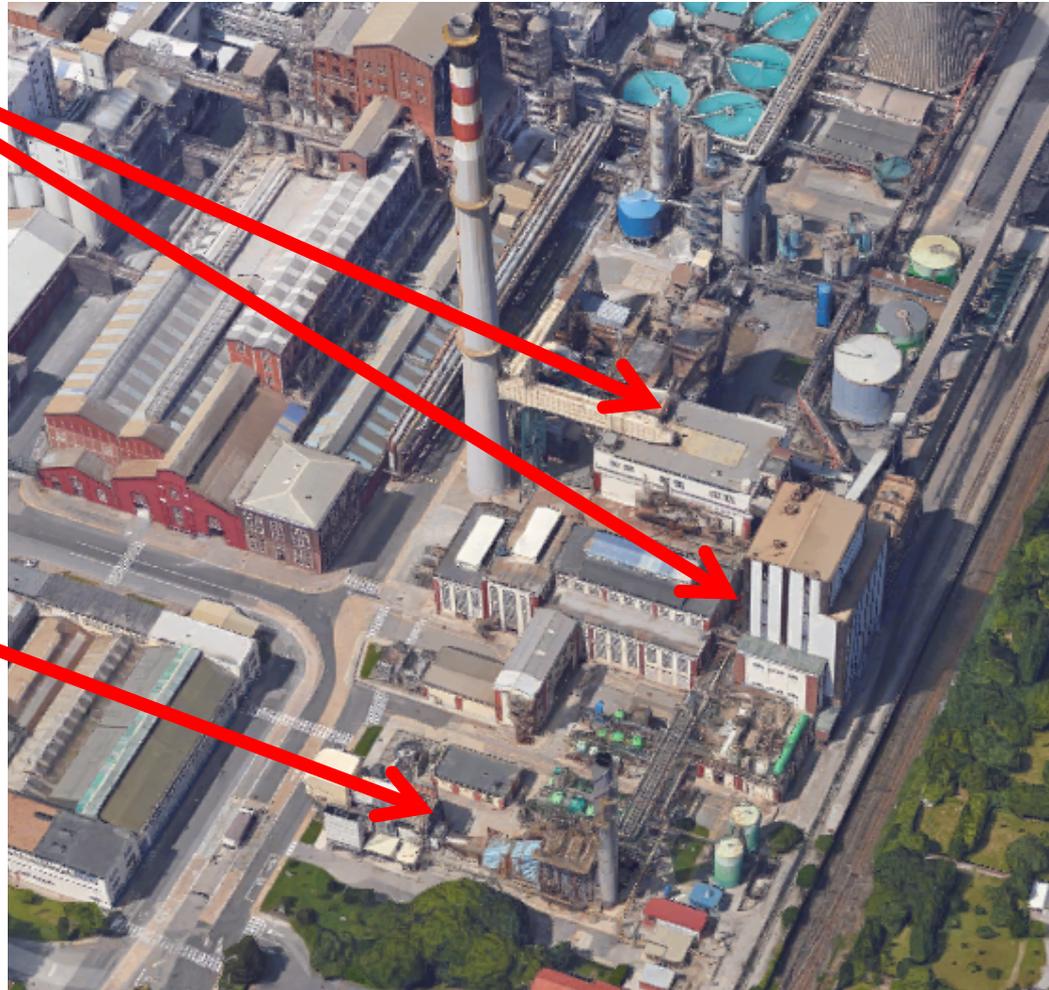


COGENERACIÓN

Ejemplo de una planta de cogeneración industrial

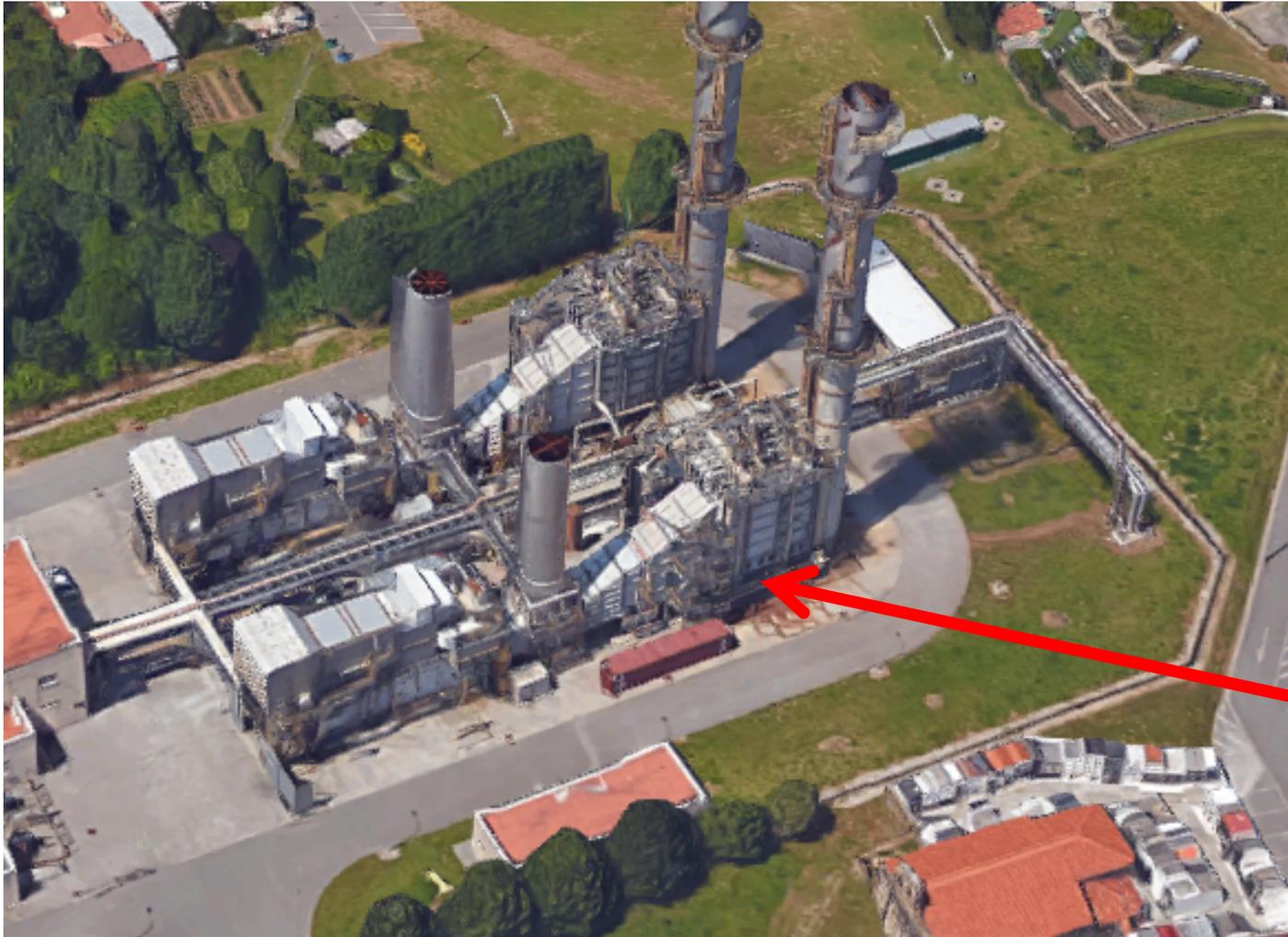
Carbón

Gas natural



Fuente: GoogleMaps

Ejemplo de una planta de cogeneración industrial



Fuente: GoogleMaps

HRSG

HRSG = Heat recovery steam generator

Definición: Se trata de la utilización de dos o más ciclos termodinámicos de diferente naturaleza para obtener un tipo de energía final (energía mecánica)

La disposición más habitual (no necesariamente la única) es la utilización de un ciclo Brayton y un ciclo Rankine de manera que **una parte** de la energía residual del primero es aprovechada por el segundo.

Inevitablemente (2º Ppio. Termo) una parte del calor no podrá transformarse en trabajo y tendrá que disiparse.

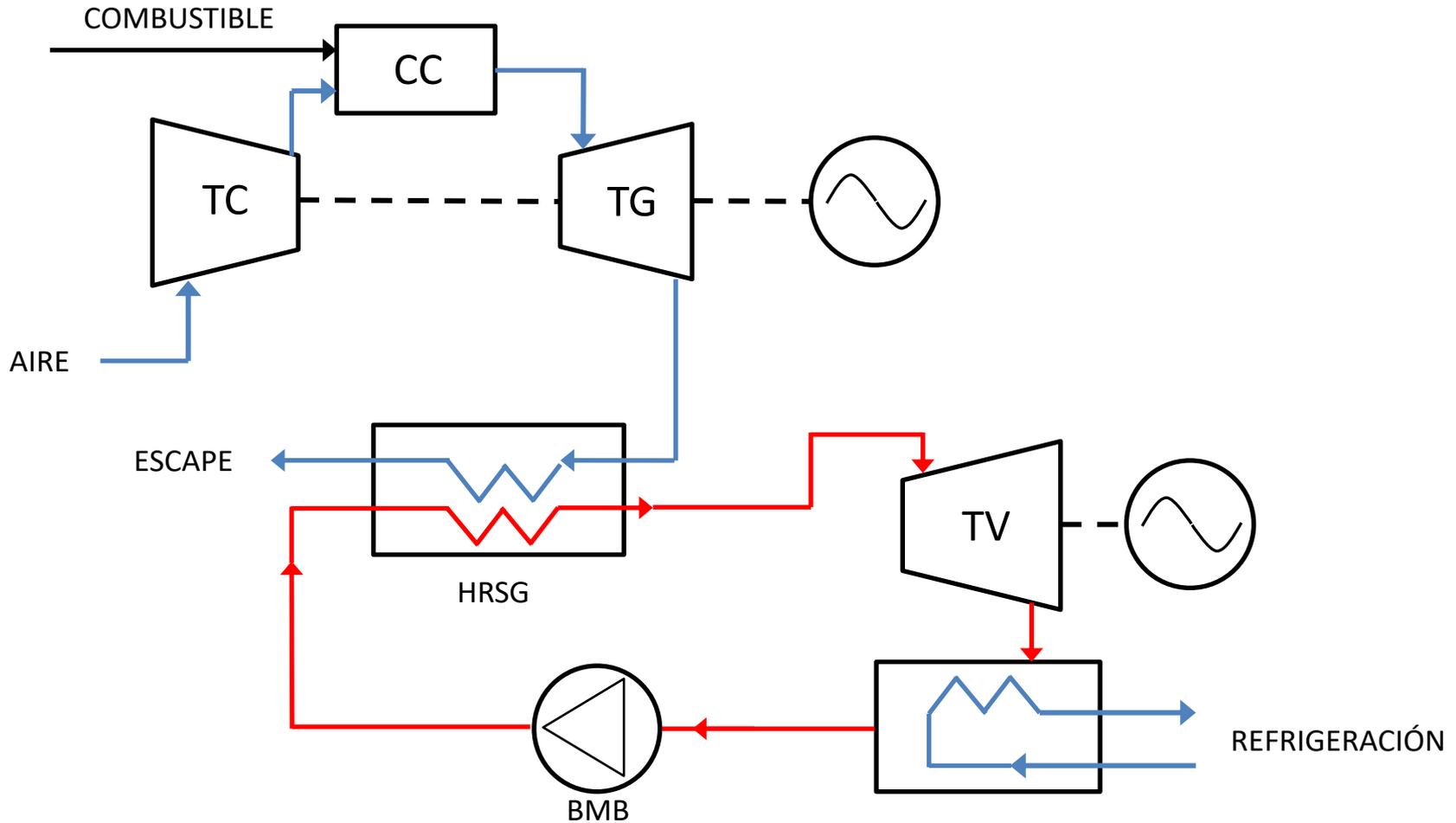
La principal ventaja estriba en que pueden alcanzarse rendimientos globales próximos al 50%.

El combustible debe ser apto para su utilización en función de la tecnología elegida. Por ejemplo, en las CCC Brayton+Rankine el combustible suele ser GN, GLP, combustible líquido o combustible gasificado.

GICC = Gasificación integrada en ciclo combinado => Gasificación termoquímica del carbón, limpieza, combustión menos contaminante.

Ejemplo: Elcogas (Puertollano)

Esquema de una central eléctrica de ciclo combinado



Esto también es una central eléctrica de ciclo combinado

