

FOTOVOLTAICA, BIOMASA Y COGENERACIÓN

BLOQUE III: Principios de generación y diseño de instalaciones de
cogeneración.

7.1 Interés energético de la cogeneración (I/XI)

$$\eta' = (T_1 - T_2)/T_1$$

donde

T_1 temperatura absoluta del “depósito” caliente (calor consumido) y

T_2 temperatura absoluta del “depósito” frío (calor disipado)

7.1 Interés energético de la cogeneración (II/XI)

$$\eta' = (T_1 - T_2)/T_1$$

donde

T_1 temperatura absoluta del “depósito” caliente (calor consumido) y

T_2 temperatura absoluta del “depósito” frío (calor disipado)

- El rendimiento real es mucho menor

7.1 Interés energético de la cogeneración (III/XI)

$$\eta' = (T_1 - T_2)/T_1$$

donde

T_1 temperatura absoluta del “depósito” caliente (calor consumido) y

T_2 temperatura absoluta del “depósito” frío (calor disipado)

- El rendimiento real es mucho menor
- El rendimiento nominal de una central depende en gran medida del combustible consumido
- Rendimiento medio global es del orden del 33%

7.1 Interés energético de la cogeneración (IV/XI)

$$\eta' = (T_1 - T_2)/T_1$$

donde

T_1 temperatura absoluta del “depósito” caliente (calor consumido) y

T_2 temperatura absoluta del “depósito” frío (calor disipado)

- El rendimiento real es mucho menor
- El rendimiento nominal de una central depende en gran medida del combustible consumido
- Rendimiento medio global es del orden del 33%
- En un equipo de cogeneración el rendimiento global suele situarse alrededor del 85%.

7.1 Interés energético de la cogeneración (V/XI)

- Se aprovecha una fracción muy importante del calor residual

7.1 Interés energético de la cogeneración (VI/XI)

- Se aprovecha una fracción muy importante del calor residual
- En la inmensa mayoría de los casos funciona durante muchas horas al año a régimen nominal

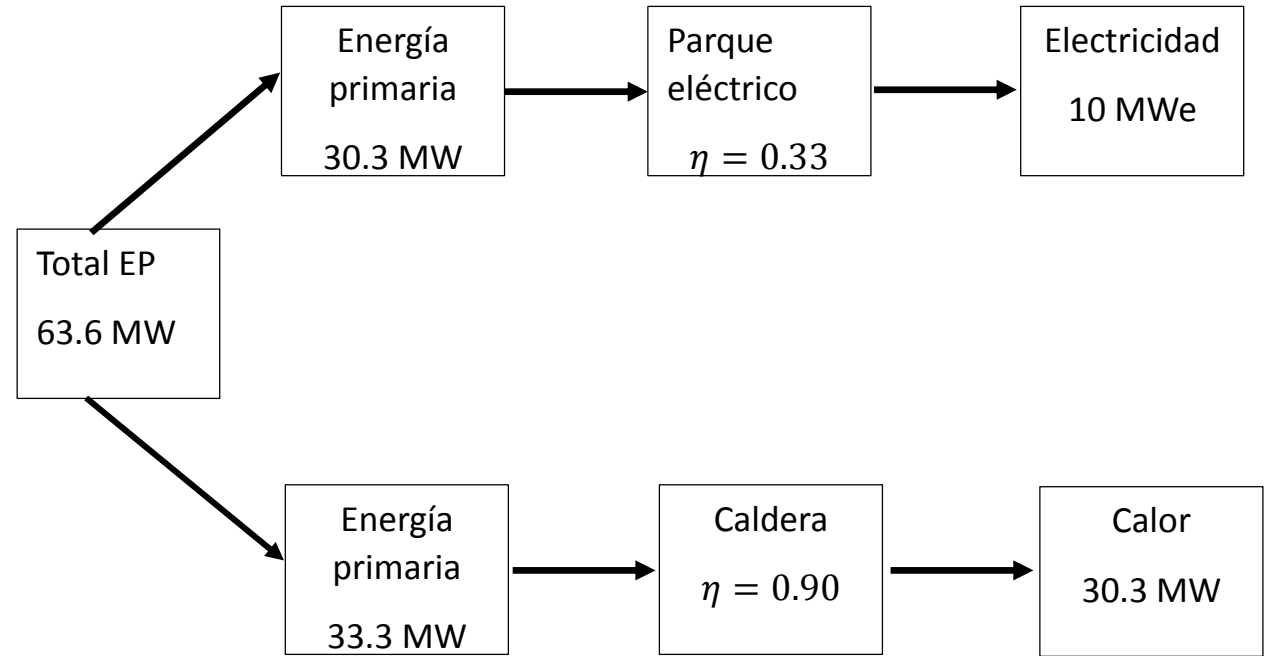
7.1 Interés energético de la cogeneración (VII/XI)

- Se aprovecha una fracción muy importante del calor residual
- En la inmensa mayoría de los casos funciona durante muchas horas al año a régimen nominal
- Puede pararse el equipo generador

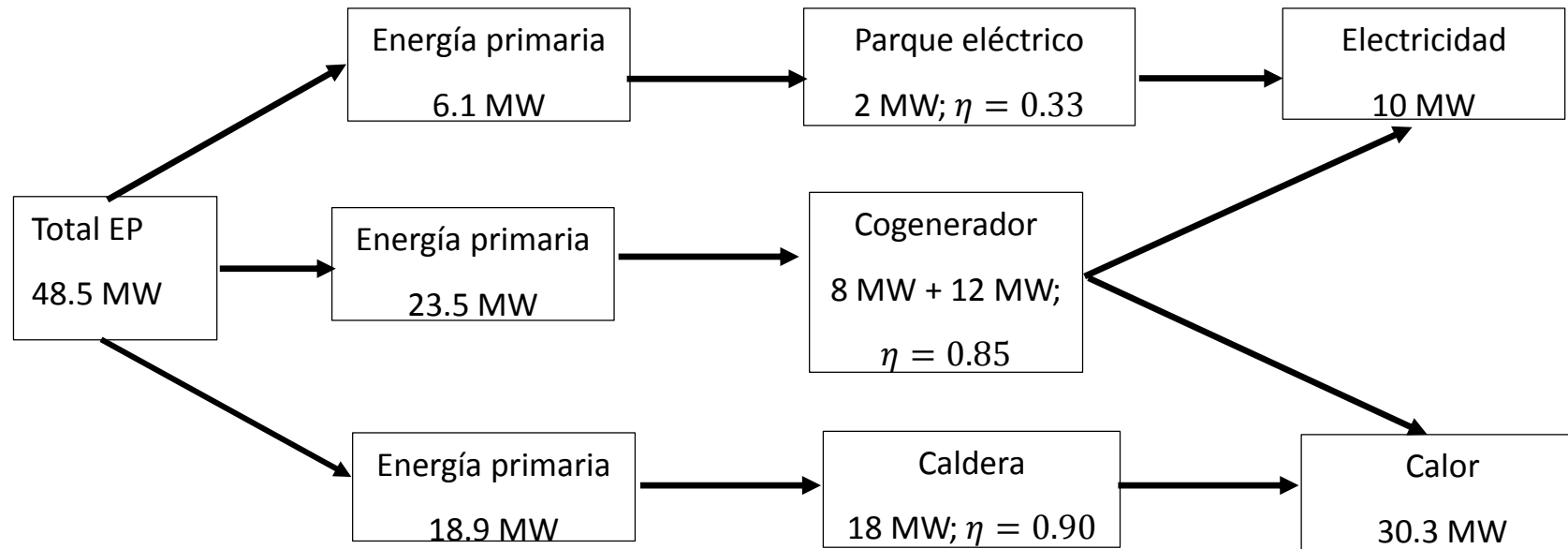
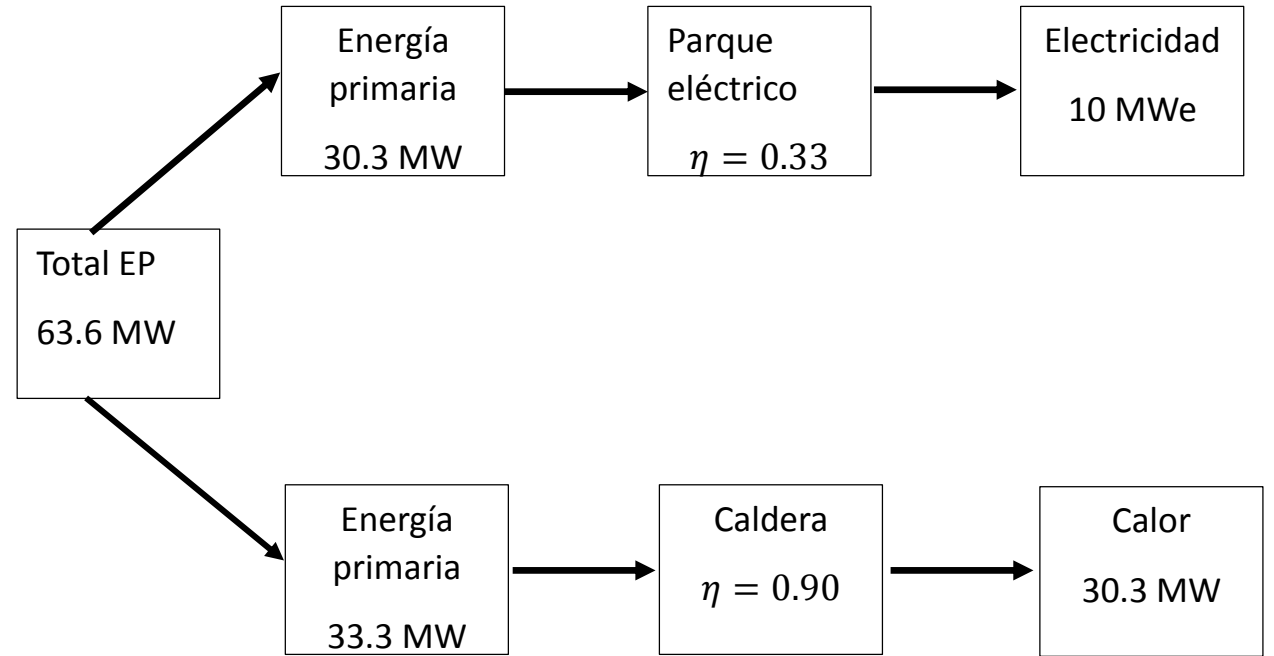
7.1 Interés energético de la cogeneración (VIII/XI)

- Se aprovecha una fracción muy importante del calor residual
- En la inmensa mayoría de los casos funciona durante muchas horas al año a régimen nominal
- Puede pararse el equipo generador
- Las pérdidas eléctricas de transformación prácticamente desaparecen

7.1 Interés energético de la cogeneración (IX/XI)

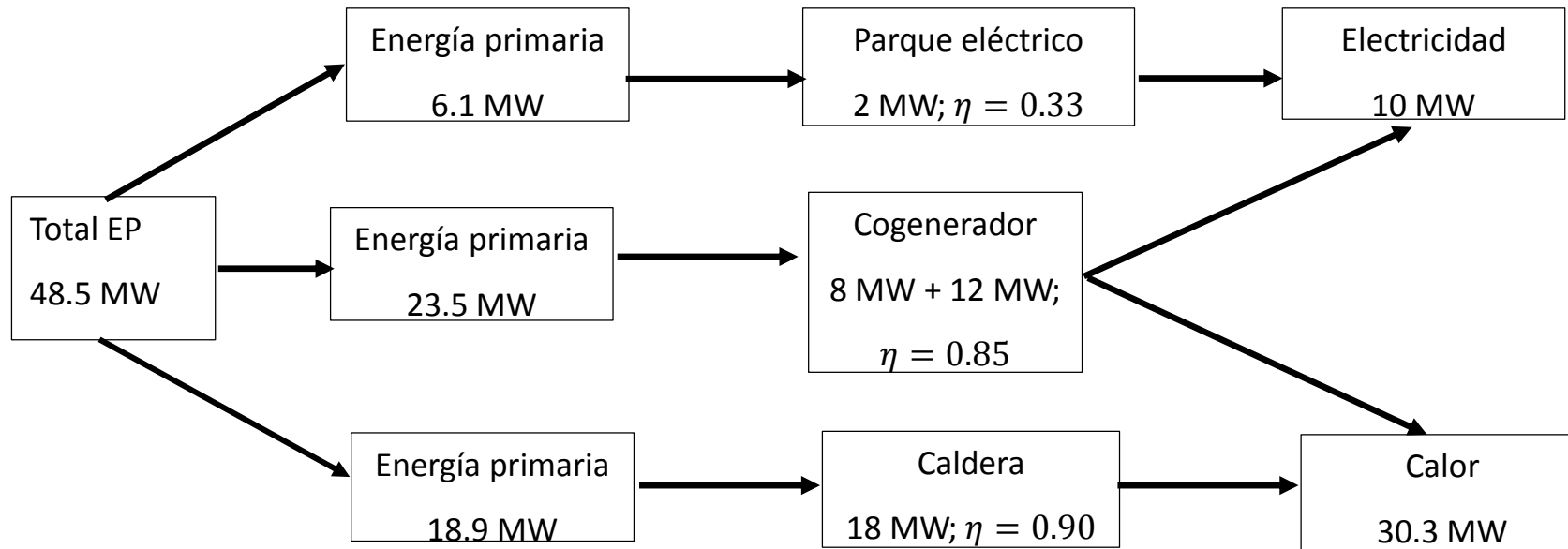
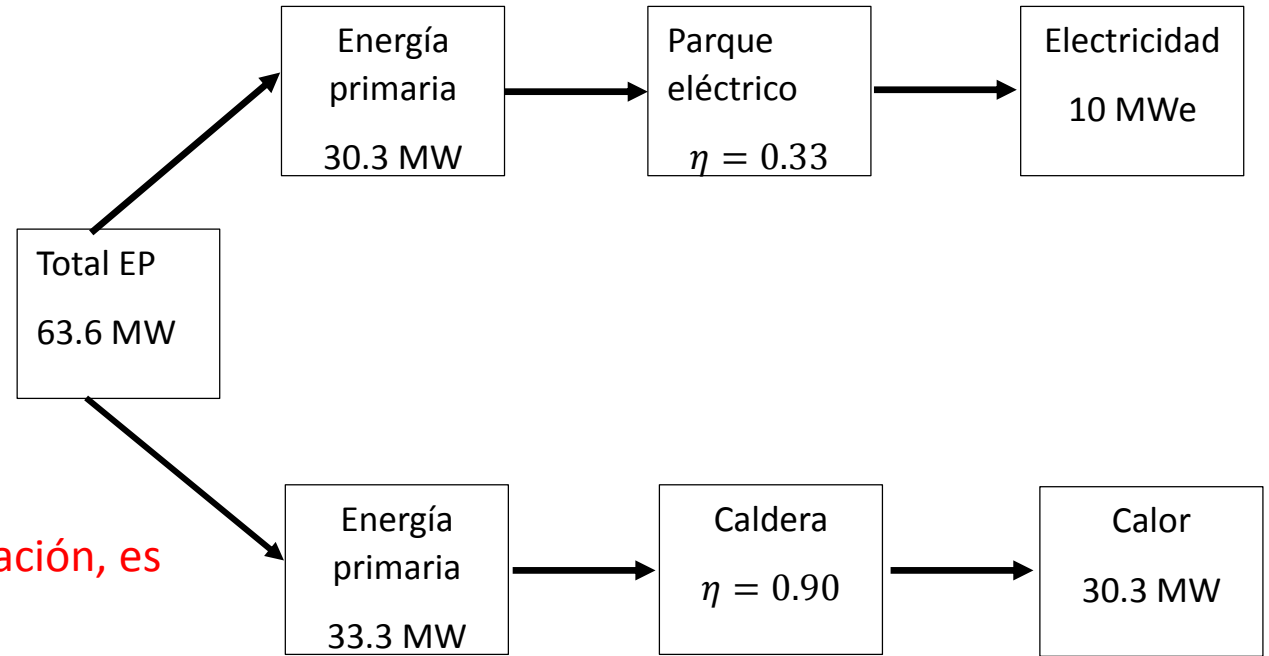


7.1 Interés energético de la cogeneración (X/XI)



7.1 Interés energético de la cogeneración (XI/XI)

El ahorro en energía primaria, si se utiliza la cogeneración, es $Ahorro = 64.9 - 49.1 = 15.8 \text{ MW}$ (24.3%)



7.2 Interés económico de la cogeneración (I/III)

- Se supondrá que 1 kWh de energía eléctrica cuesta 0.15 unidades monetarias, que la energía equivalente a 1 kWh en forma de combustible cuesta 0.06 unidades monetarias y que el sistema funciona 4000 horas/año a carga nominal.

a) Coste anual de la electricidad

$$CE_{sc} = 10 \cdot 10^3 \cdot 0.15 \cdot 4000 = 6.00 \cdot 10^6 \text{ um}$$

Coste anual del combustible

$$CC_{sc} = 33.3 \cdot 10^3 \cdot 0.06 \cdot 4000 = 7.99 \cdot 10^6 \text{ um}$$

Coste energético total anual

$$CT_{sc} = 13.99 \cdot 10^6 \text{ um}$$

7.2 Interés económico de la cogeneración (II/III)

- Se supondrá que 1 kWh de energía eléctrica cuesta 0.15 unidades monetarias, que la energía equivalente a 1 kWh en forma de combustible cuesta 0.06 unidades monetarias y que el sistema funciona 4000 horas/año a carga nominal.

a) Coste anual de la electricidad

$$CE_{sc} = 10 \cdot 10^3 \cdot 0.15 \cdot 4000 = 6.00 \cdot 10^6 \text{ um}$$

Coste anual del combustible

$$CC_{sc} = 33.3 \cdot 10^3 \cdot 0.06 \cdot 4000 = 7.99 \cdot 10^6 \text{ um}$$

Coste energético total anual

$$CT_{sc} = 13.99 \cdot 10^6 \text{ um}$$

b) Coste del sistema con cogeneración

$$CE_{scg} = 2 \cdot 10^3 \cdot 0.15 \cdot 4000 = 1.2 \cdot 10^6 \text{ um}$$

Coste anual del combustible

$$CC_{scg} = (23.5 + 18.9) \cdot 10^3 \cdot 0.06 \cdot 4000 = 10.18 \cdot 10^6 \text{ um}$$

Coste energético total anual

$$CT_{sg} = 11.38 \cdot 10^6 \text{ um}$$

7.2 Interés económico de la cogeneración (III/III)

- Se supondrá que 1 kWh de energía eléctrica cuesta 0.15 unidades monetarias, que la energía equivalente a 1 kWh en forma de combustible cuesta 0.06 unidades monetarias y que el sistema funciona 4000 horas/año a carga nominal.

Ahorro anual

$$A = 13.99 - 11.38 = 2.61 \cdot 10^6 \text{ um}$$

a) Coste anual de la electricidad

$$CE_{sc} = 10 \cdot 10^3 \cdot 0.15 \cdot 4000 = 6.00 \cdot 10^6 \text{ um}$$

Coste anual del combustible

$$CC_{sc} = 33.3 \cdot 10^3 \cdot 0.06 \cdot 4000 = 7.99 \cdot 10^6 \text{ um}$$

Coste energético total anual

$$CT_{sc} = 13.99 \cdot 10^6 \text{ um}$$

b) Coste del sistema con cogeneración

$$CE_{scg} = 2 \cdot 10^3 \cdot 0.15 \cdot 4000 = 1.2 \cdot 10^6 \text{ um}$$

Coste anual del combustible

$$CC_{scg} = (23.5 + 18.9) \cdot 10^3 \cdot 0.06 \cdot 4000 = 10.18 \cdot 10^6 \text{ um}$$

Coste energético total anual

$$CT_{sg} = 11.38 \cdot 10^6 \text{ um}$$

7.3 Sistemas de cogeneración (I/IV)

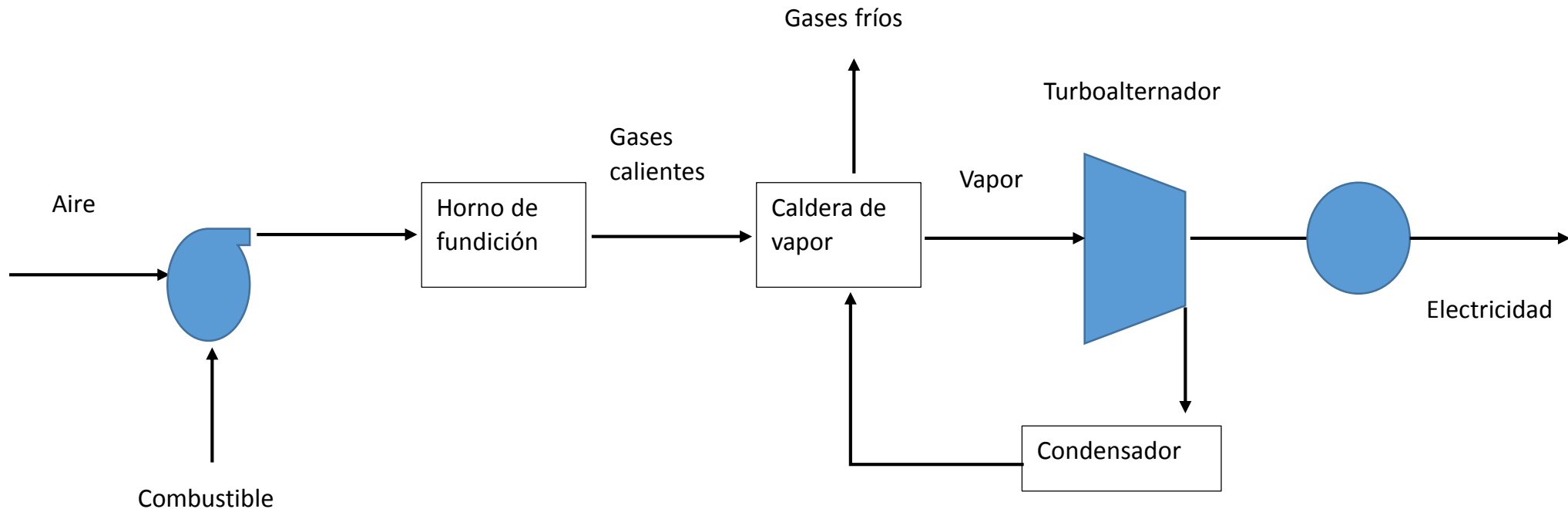
- Los sistemas de cogeneración se clasifican en sistemas de cola y sistemas de cabeza
- Evolución del fluido calor portante desde la entrada de combustible hasta la descarga de fluidos al ambiente (cascada térmica)

7.3 Sistemas de cogeneración (II/IV)

- Los sistemas de cogeneración se clasifican en sistemas de cola y sistemas de cabeza
- Evolución del fluido calor portante desde la entrada de combustible hasta la descarga de fluidos al ambiente (cascada térmica)
- La energía contenida del fluido se va degradando paulatinamente

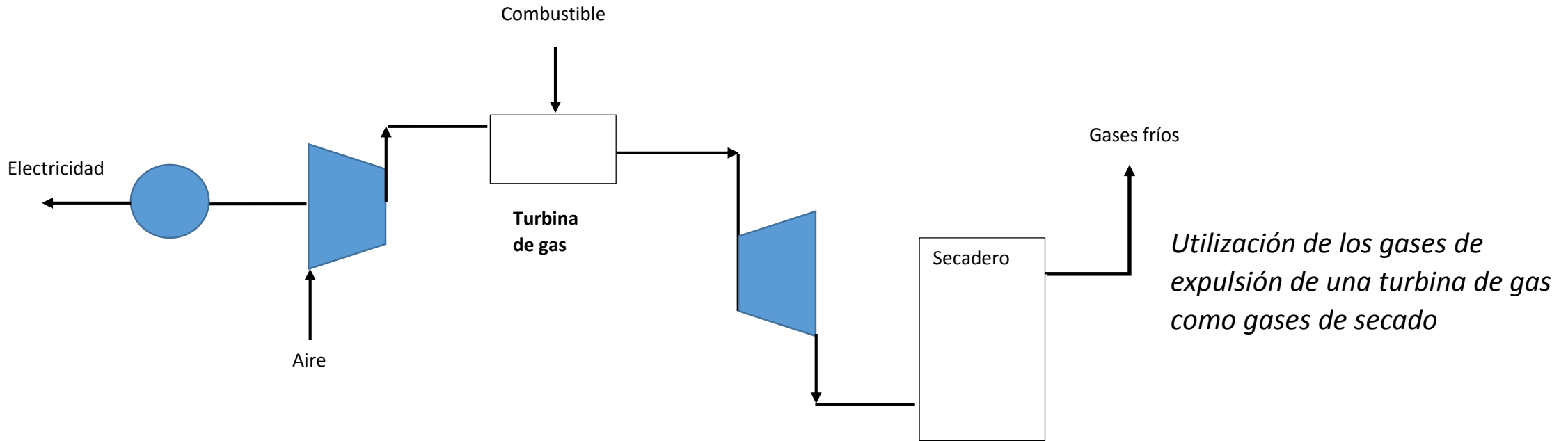
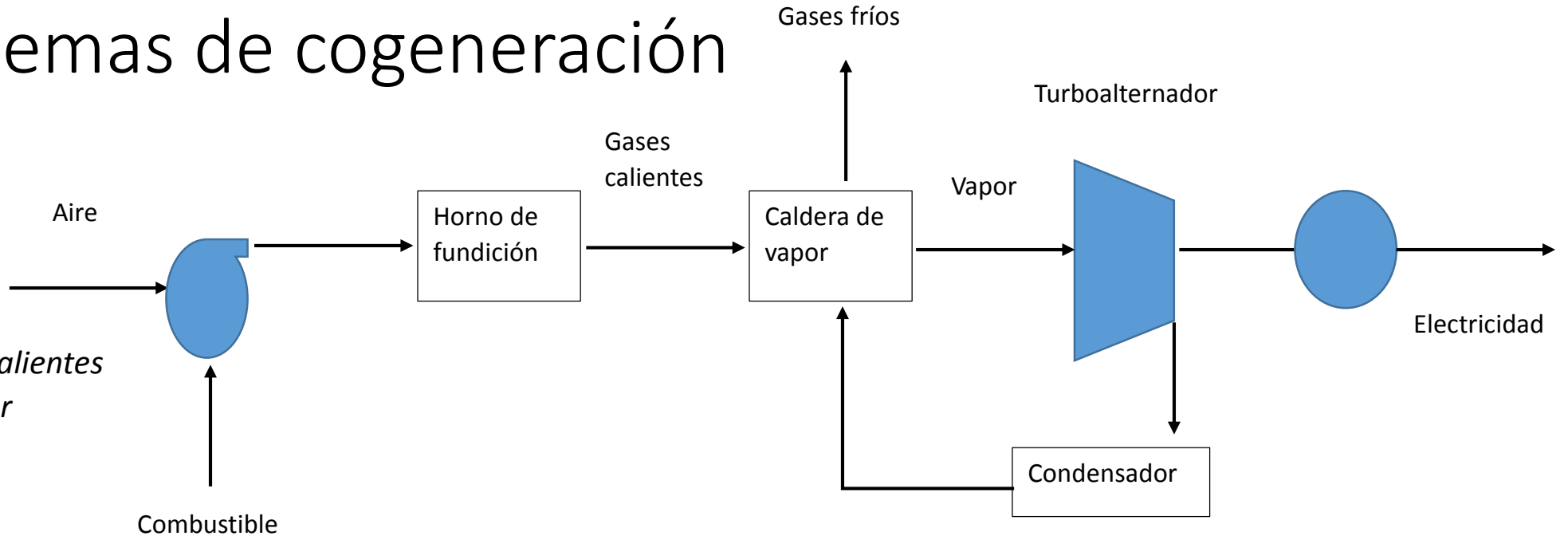
7.3 Sistemas de cogeneración (III/IV)

- Los sistemas de cogeneración se clasifican en sistemas de cola y sistemas de cabeza
- Evolución del fluido calor portante desde la entrada de combustible hasta la descarga de fluidos al ambiente (cascada térmica)
- La energía contenida del fluido se va degradando paulatinamente



Utilización de los gases calientes de un horno para generar electricidad

7.3 Sistemas de cogeneración (IV/IV)



7.4 Equipos de cogeneración

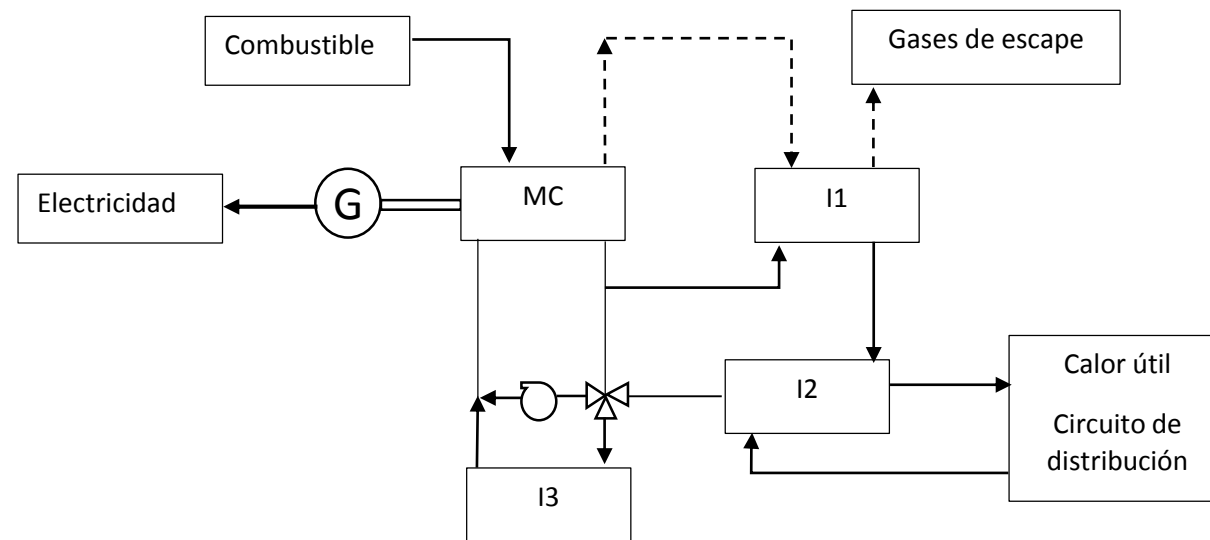
- Motor de combustión
- Turbina de gas
- Turbina de vapor
- Ciclo combinado

7.4.1 Motor de combustión (MC) (I/III)

- Grupo electrógeno en el que se recupera el calor de refrigeración del motor
- Calor residual contenido en los gases de escape

7.4.1 Motor de combustión (MC) (II/III)

- Grupo electrógeno en el que se recupera el calor de refrigeración del motor
- Calor residual contenido en los gases de escape



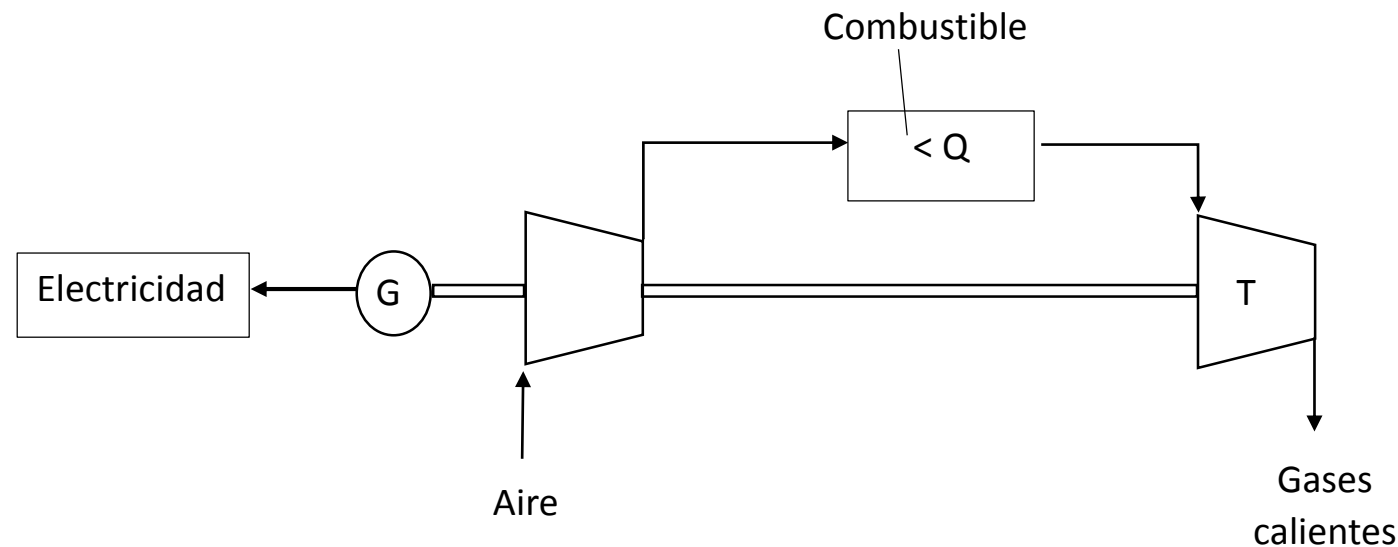
Esquema de cogeneración con motor de combustión

7.4.1 Motor de combustión (MC) (III/III)

- Grupo electrógeno en el que se recupera el calor de refrigeración del motor
- Calor residual contenido en los gases de escape
- Siempre se utiliza para producir agua caliente a una temperatura inferior a los 100 °C.

7.4.2 Turbina de gas (TG) (I/II)

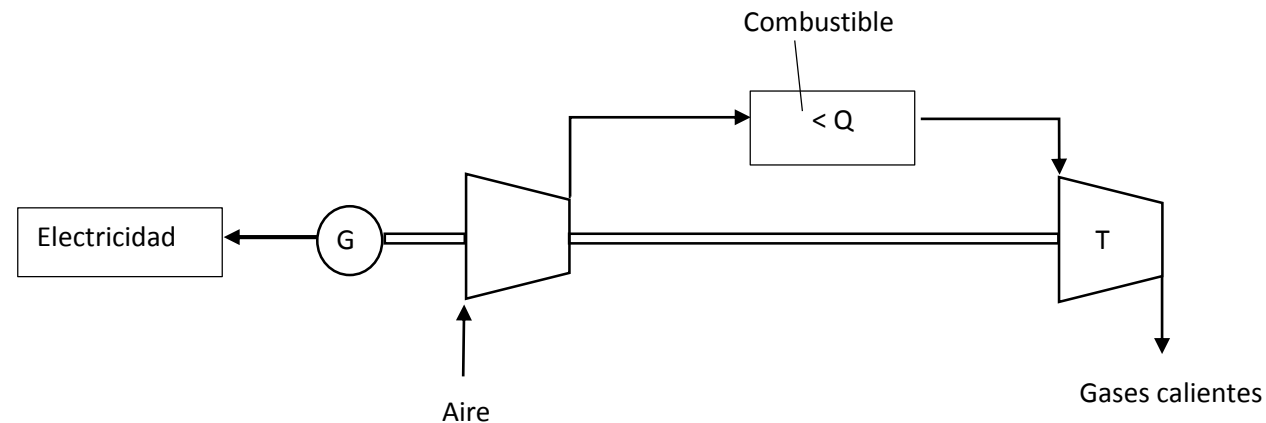
- Grupo electrógeno en el que se recupera el calor de refrigeración del motor
- Calor residual contenido en los gases de escape



Esquema de cogeneración con turbina de gas

7.4.2 Turbina de gas (TG) (II/II)

- Grupo electrógeno en el que se recupera el calor de refrigeración del motor
- Calor residual contenido en los gases de escape

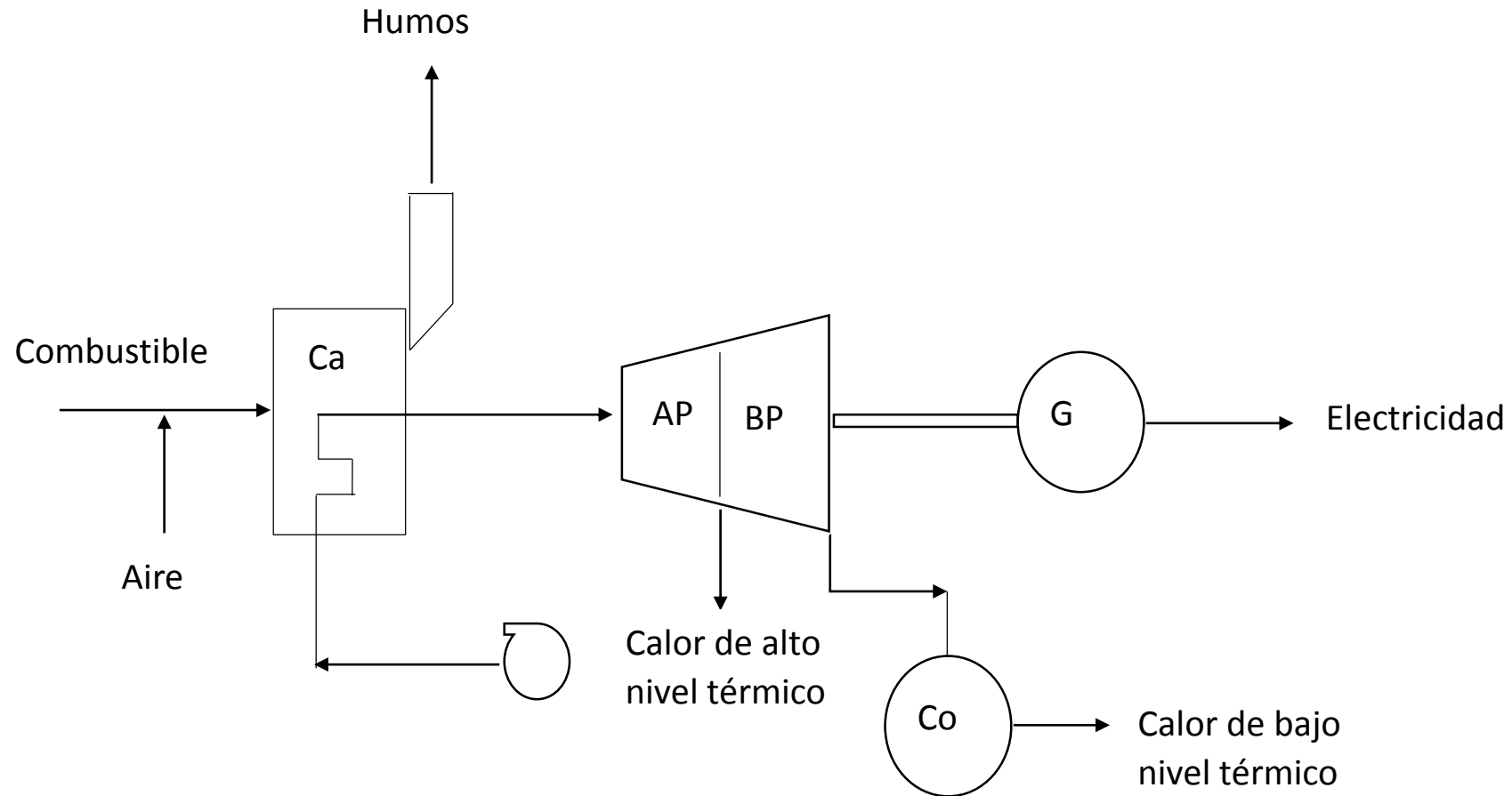


Esquema de cogeneración con turbina de gas

7.4.3 Turbina de vapor (TV) (I/IV)

- En las turbinas a contrapresión el vapor sobrecalentado entra a la zona de alta presión de la turbina. A medida que el vapor pasa a través de las aspas de la turbina, el vapor va perdiendo calor, energía y presión.
- En las turbinas de condensación el vapor de escape es condensado con agua de refrigeración. Son turbinas de gran rendimiento y se emplean en máquinas de gran potencia.

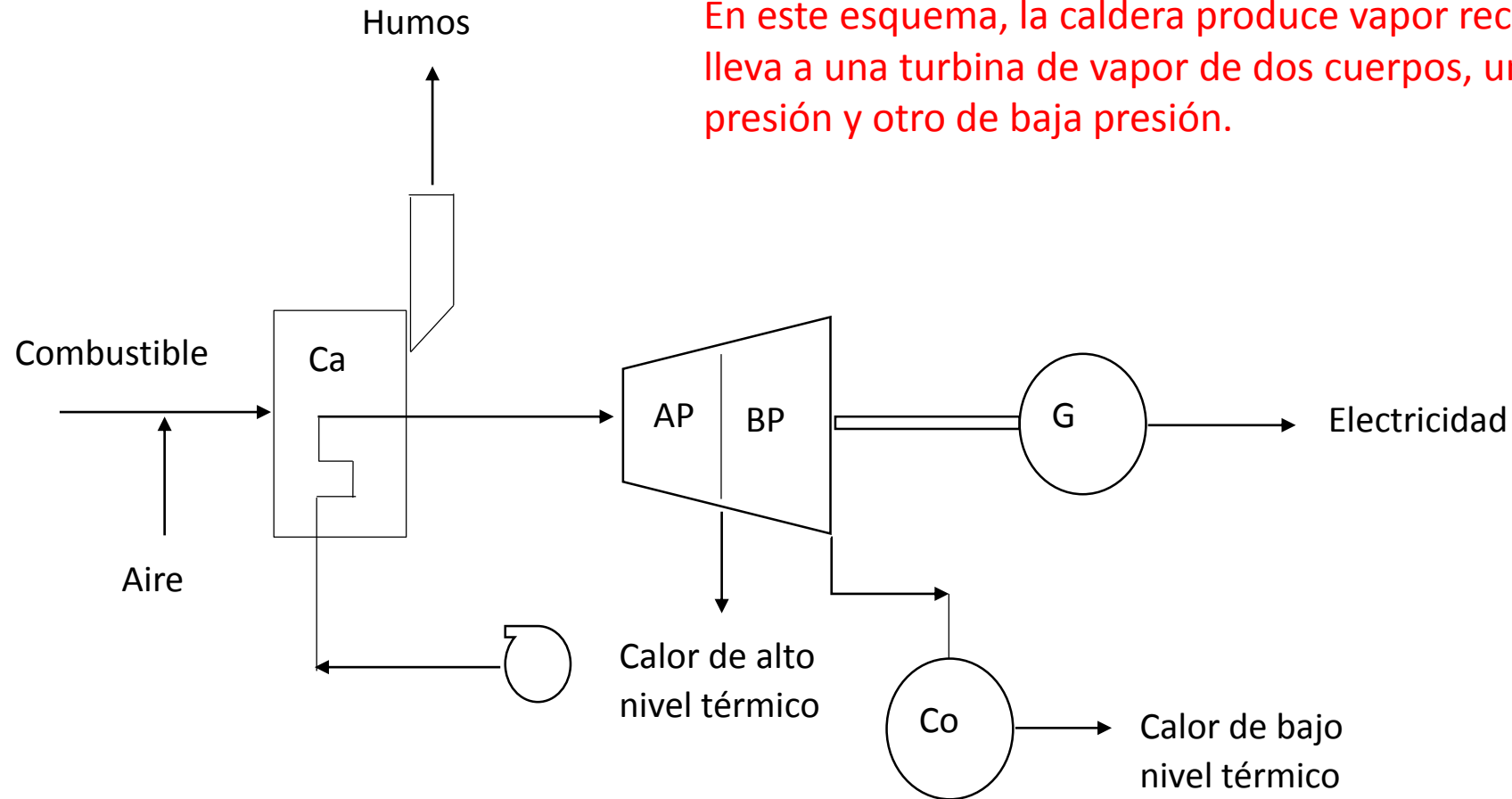
7.4.3 Turbina de vapor (TV) (II/IV)



Esquema de cogeneración con turbina de vapor

7.4.3 Turbina de vapor (TV) (III/IV)

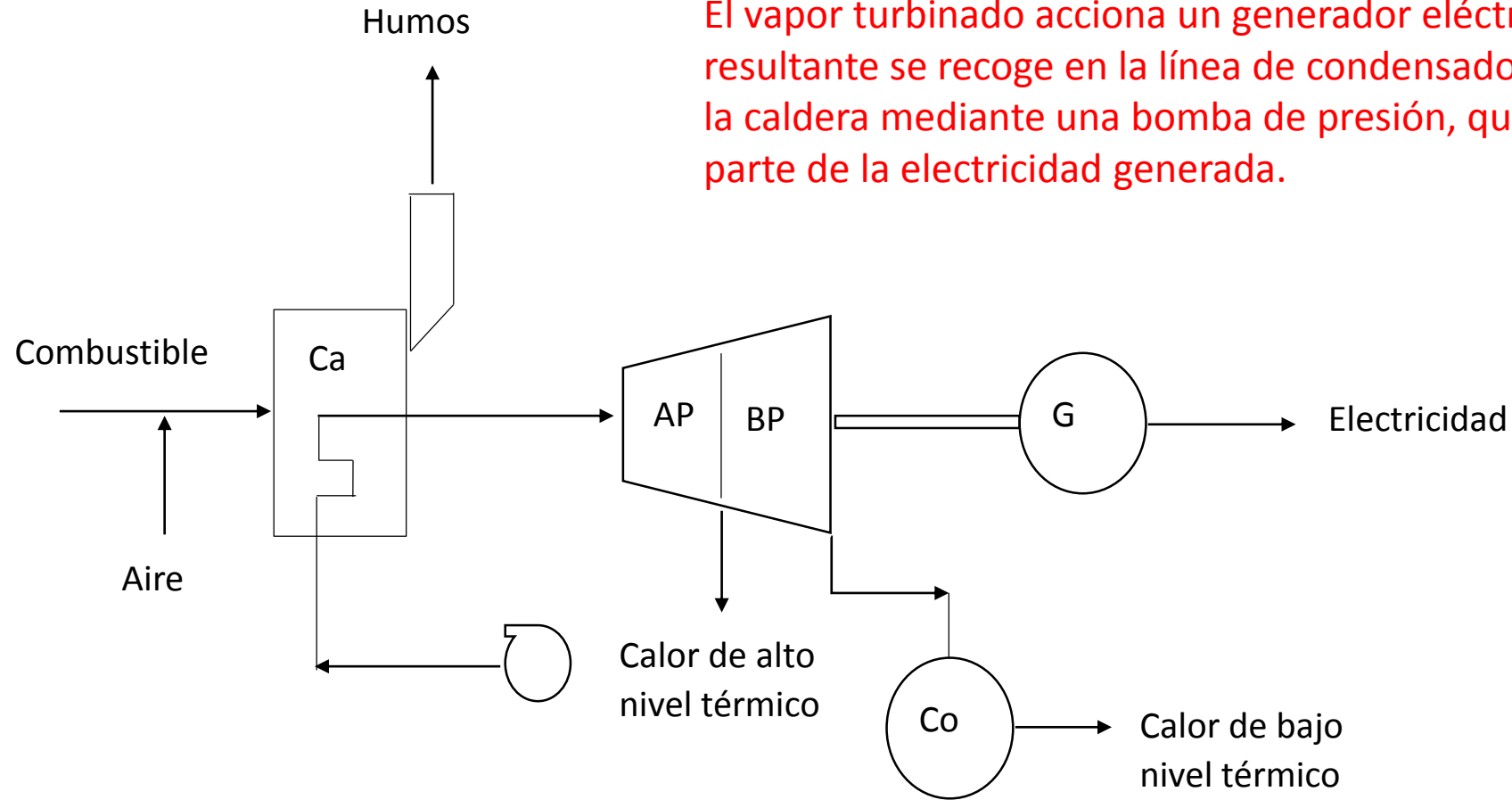
En este esquema, la caldera produce vapor recalentado que se lleva a una turbina de vapor de dos cuerpos, uno de alta presión y otro de baja presión.



Esquema de cogeneración con turbina de vapor

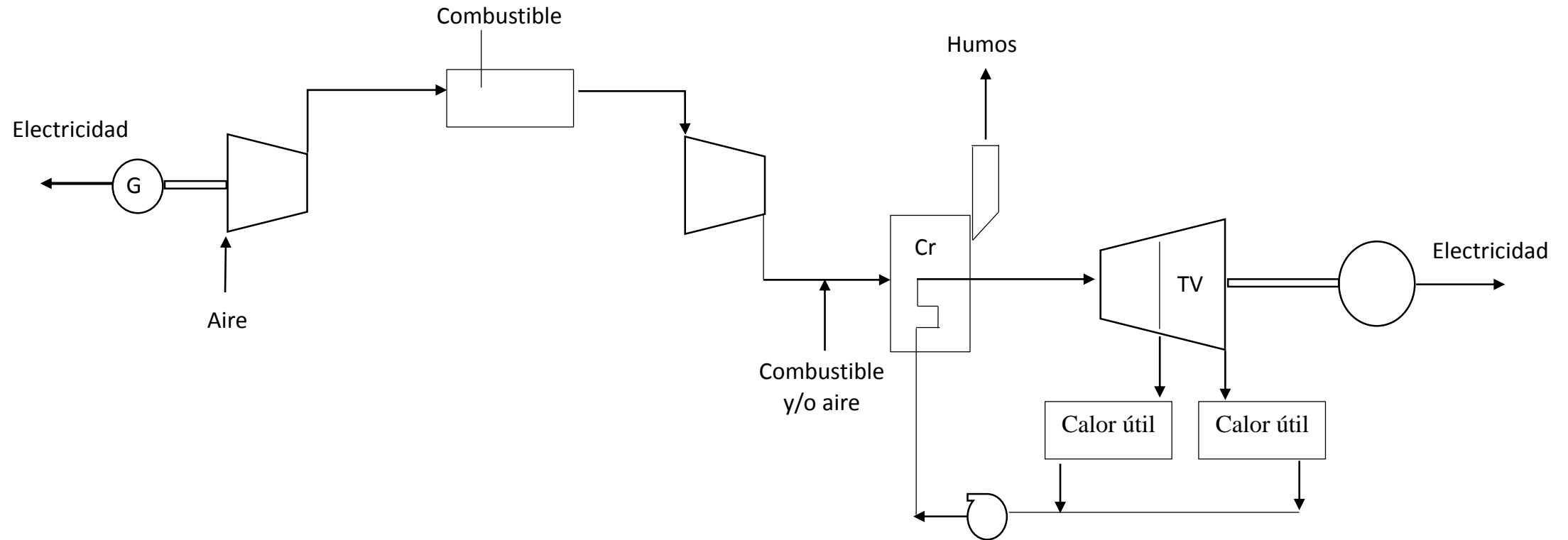
7.4.3 Turbina de vapor (TV) (IV/IV)

El vapor turbinado acciona un generador eléctrico y el agua resultante se recoge en la línea de condensador y se devuelve a la caldera mediante una bomba de presión, que consumirá parte de la electricidad generada.



Esquema de cogeneración con turbina de vapor

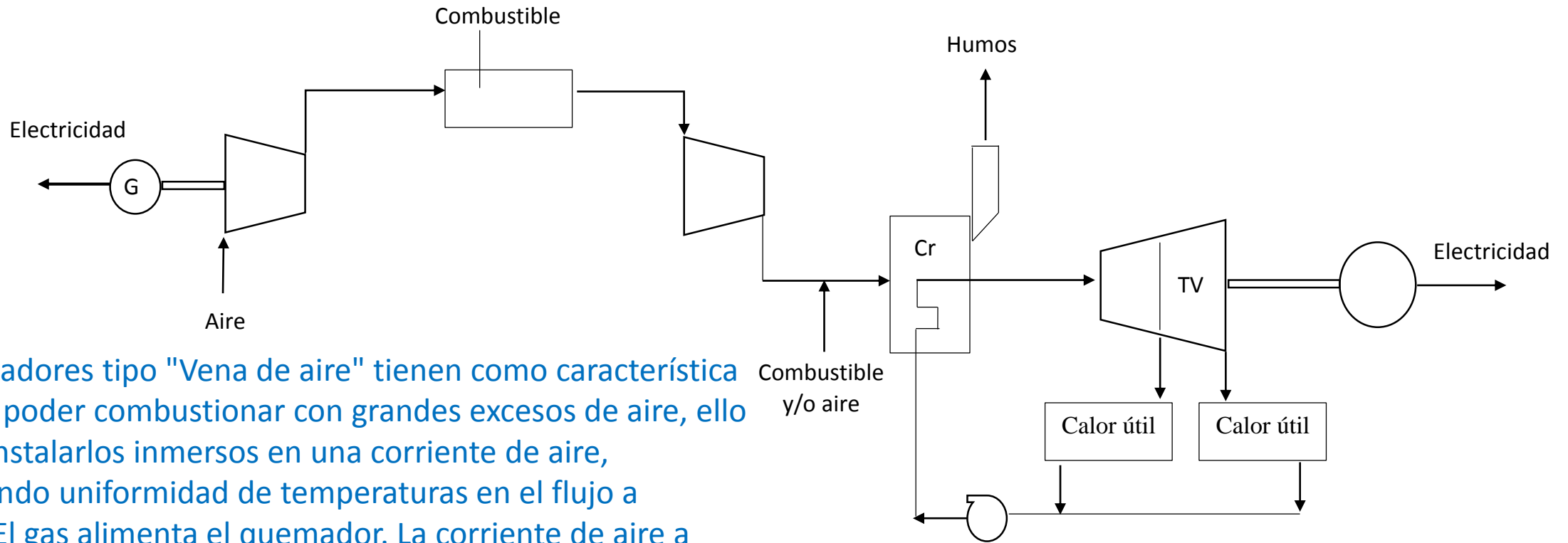
7.4.4 Ciclo combinado (CC) (I/II)



Esquema de cogeneración de ciclo combinado

7.4.4 Ciclo combinado (CC) (II/II)

El sistema de cogeneración de ciclo combinado suele estar equipado con quemadores auxiliares, suelen ser quemadores de postcombustión en vena de aire, situados a la entrada de la caldera y que permiten elevar la temperatura de los gases de entrada a la caldera y aumentar el caudal de gases, si además se añade aire.



Los quemadores tipo "Vena de aire" tienen como característica principal, poder combustionar con grandes excesos de aire, ello permite instalarlos inmersos en una corriente de aire, consiguiendo uniformidad de temperaturas en el flujo a calentar. El gas alimenta el quemador. La corriente de aire a calentar circula en dirección paralela a la llama, asegurando una perfecta combustión, por la disposición adecuada de los deflectores.

Esquema de cogeneración de ciclo combinado

Ejemplo de cálculo 1.

Un digestor anaeróbico genera 12.6 Nm^3 de CH_4 por tonelada de un purín que contiene un 5% de sólidos totales.

El biogás resultante se utiliza como carburante de equipo de cogeneración, con motor alternativo, y los gases de escape se utilizan para concentrar el efluente líquido del digestor.

Calcular la energía total aprovechada, eléctrica más térmica, así como el calor útil cogenerado.

Otros datos: rendimiento global del equipo 80%, rendimiento eléctrico 30% y calor de combustión inferior del metano 191.76 kcal/mol .

Ejemplo de cálculo 1. Solución

1 caloría = 4.1868 julio

$$E_{bio} = \frac{12.6 \text{ Nm}^3}{1 \text{ t}} \cdot \frac{1 \text{ kmol}}{22.4 \text{ Nm}^3} \cdot \frac{191.76 \text{ Mcal}}{1 \text{ kmol}} \cdot 0.30 = 32.36 \text{ Mcal/t} \text{ (135.3 MJ/t)}$$

Ejemplo de cálculo 1. Solución

1 caloría = 4.1868 julio

$$E_{bio} = \frac{12.6 \text{ Nm}^3}{1 \text{ t}} \cdot \frac{1 \text{ kmol}}{22.4 \text{ Nm}^3} \cdot \frac{191.76 \text{ Mcal}}{1 \text{ kmol}} \cdot 0.30 = 32.36 \text{ Mcal/t} \quad (135.3 \text{ MJ/t})$$

$$E + Q = 135.3 \cdot \frac{80}{30} = 360.8 \text{ MJ/t}$$

Ejemplo de cálculo 1. Solución

1 caloría = 4.1868 julio

$$E_{bio} = \frac{12.6 \text{ Nm}^3}{1 \text{ t}} \cdot \frac{1 \text{ kmol}}{22.4 \text{ Nm}^3} \cdot \frac{191.76 \text{ Mcal}}{1 \text{ kmol}} \cdot 0.30 = 32.36 \text{ Mcal/t} \quad (135.3 \text{ MJ/t})$$

$$E + Q = 135.3 \cdot \frac{80}{30} = 360.8 \text{ MJ/t}$$

$$Q = 360.8 - 135.3 = 225.5 \text{ MJ/t}$$

7.6 Estudio de viabilidad energética y económica (I/VII)

- “Obligación” de comprobar la viabilidad energética y económica de un sistema de cogeneración

7.6 Estudio de viabilidad energética y económica (II/VII)

- “Obligación” de comprobar la viabilidad energética y económica de un sistema de cogeneración
- Determinación de la potencia instalada en función de la curva de frecuencias acumuladas

7.6 Estudio de viabilidad energética y económica (III/VII)

- “Obligación” de comprobar la viabilidad energética y económica de un sistema de cogeneración
- Determinación de la potencia instalada en función de la curva de frecuencias acumuladas
- Estimación de las energías

7.6 Estudio de viabilidad energética y económica (IV/VII)

- “Obligación” de comprobar la viabilidad energética y económica de un sistema de cogeneración
- Determinación de la potencia instalada en función de la curva de frecuencias acumuladas
- Estimación de las energías
- Cálculo del ahorro energético y económico

7.6 Estudio de viabilidad energética y económica (V/VII)

- “Obligación” de comprobar la viabilidad energética y económica de un sistema de cogeneración
- Determinación de la potencia instalada en función de la curva de frecuencias acumuladas
- Estimación de las energías
- Cálculo del ahorro energético y económico
- Comprobación de las exigencias legales para poder acogerse a la calificación de cogenerador

7.6 Estudio de viabilidad energética y económica (VI/VII)

- “Obligación” de comprobar la viabilidad energética y económica de un sistema de cogeneración
- Determinación de la potencia instalada en función de la curva de frecuencias acumuladas
- Estimación de las energías
- Cálculo del ahorro energético y económico
- Comprobación de las exigencias legales para poder acogerse a la calificación de cogenerador
- Cálculo de los parámetros económicos que pueden aconsejar su implantación

7.6 Estudio de viabilidad energética y económica (VII/VII)

Consideraciones

- “Obligación” de comprobar la viabilidad energética y económica de un sistema de cogeneración
- Determinación de la potencia instalada en función de la curva de frecuencias acumuladas
- Estimación de las energías
- Cálculo del ahorro energético y económico
- Comprobación de las exigencias legales para poder acogerse a la calificación de cogenerador
- Cálculo de los parámetros económicos que pueden aconsejar su implantación

7.6.1 Determinación de la potencia instalada (I/VIII)

- Deberá escogerse la potencia del equipo de cogeneración de forma tal que se optimice su aprovechamiento

7.6.1 Determinación de la potencia instalada (II/VIII)

- Deberá escogerse la potencia del equipo de cogeneración de forma tal que se optimice su aprovechamiento
- La curva de demanda de calor no siempre tiene la misma forma que la de demanda de electricidad, pero la relación calor/electricidad del equipo es prácticamente constante

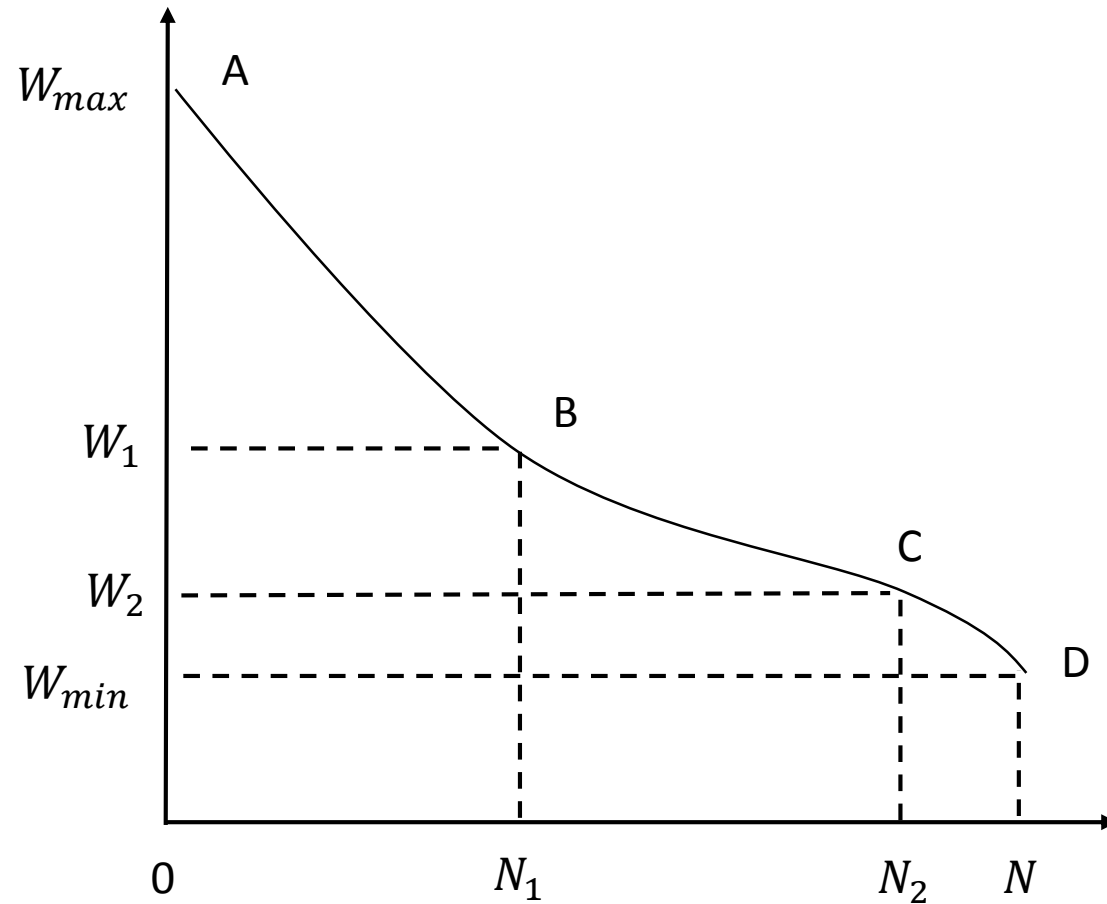
7.6.1 Determinación de la potencia instalada (III/VIII)

- Deberá escogerse la potencia del equipo de cogeneración de forma tal que se optimice su aprovechamiento
- La curva de demanda de calor no siempre tiene la misma forma que la de demanda de electricidad, pero la relación calor/electricidad del equipo es prácticamente constante
- Si se instala un equipo con una potencia muy grande, próxima a la máxima demandada, el equipo funcionará un gran número de horas/año a carga parcial con un rendimiento estacional muy bajo

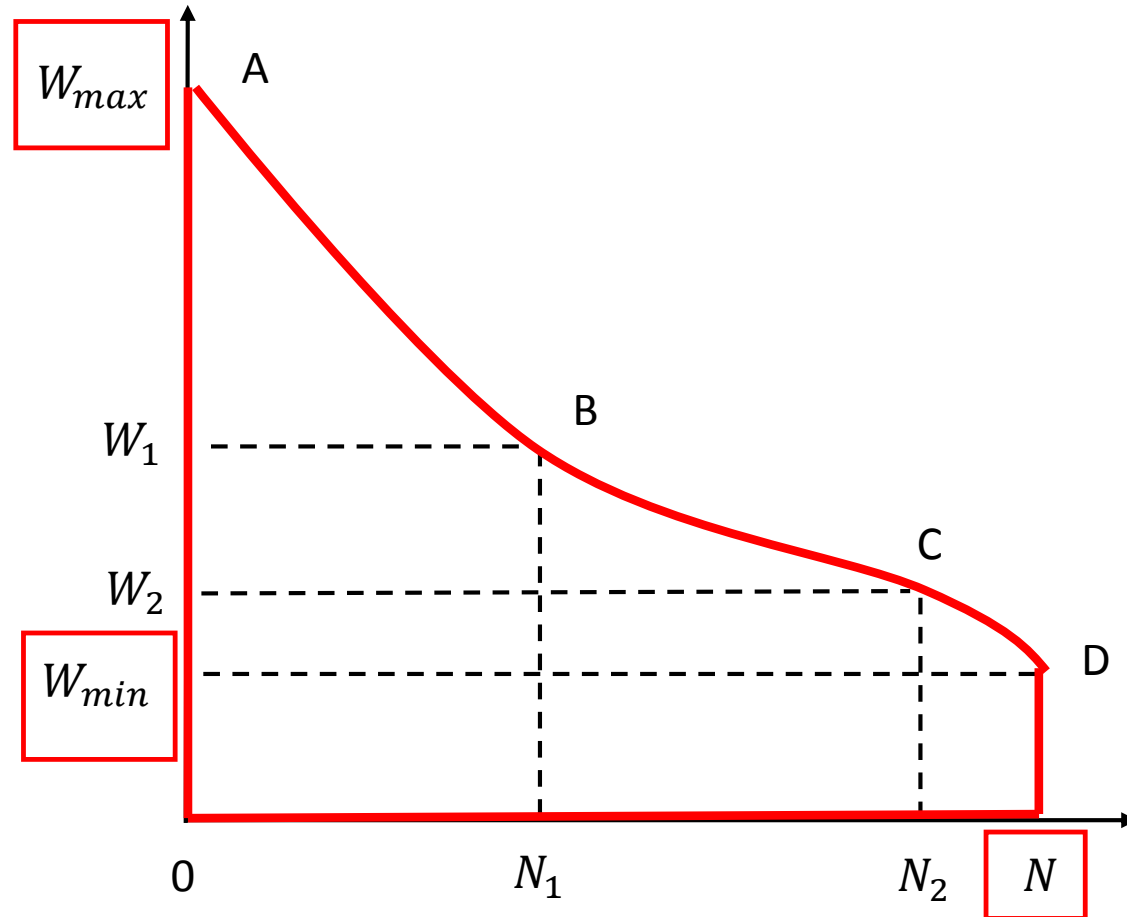
7.6.1 Determinación de la potencia instalada (IV/VIII)

- Deberá escogerse la potencia del equipo de cogeneración de forma tal que se optimice su aprovechamiento
- La curva de demanda de calor no siempre tiene la misma forma que la de demanda de electricidad, pero la relación calor/electricidad del equipo es prácticamente constante
- Si se instala un equipo con una potencia muy grande, próxima a la máxima demandada, el equipo funcionará un gran número de horas/año a carga parcial con un rendimiento estacional muy bajo
- Si la potencia instalada es demasiado baja, la energía de apoyo deberá ser muy grande y los beneficios de la cogeneración serán nulos o casi nulos.

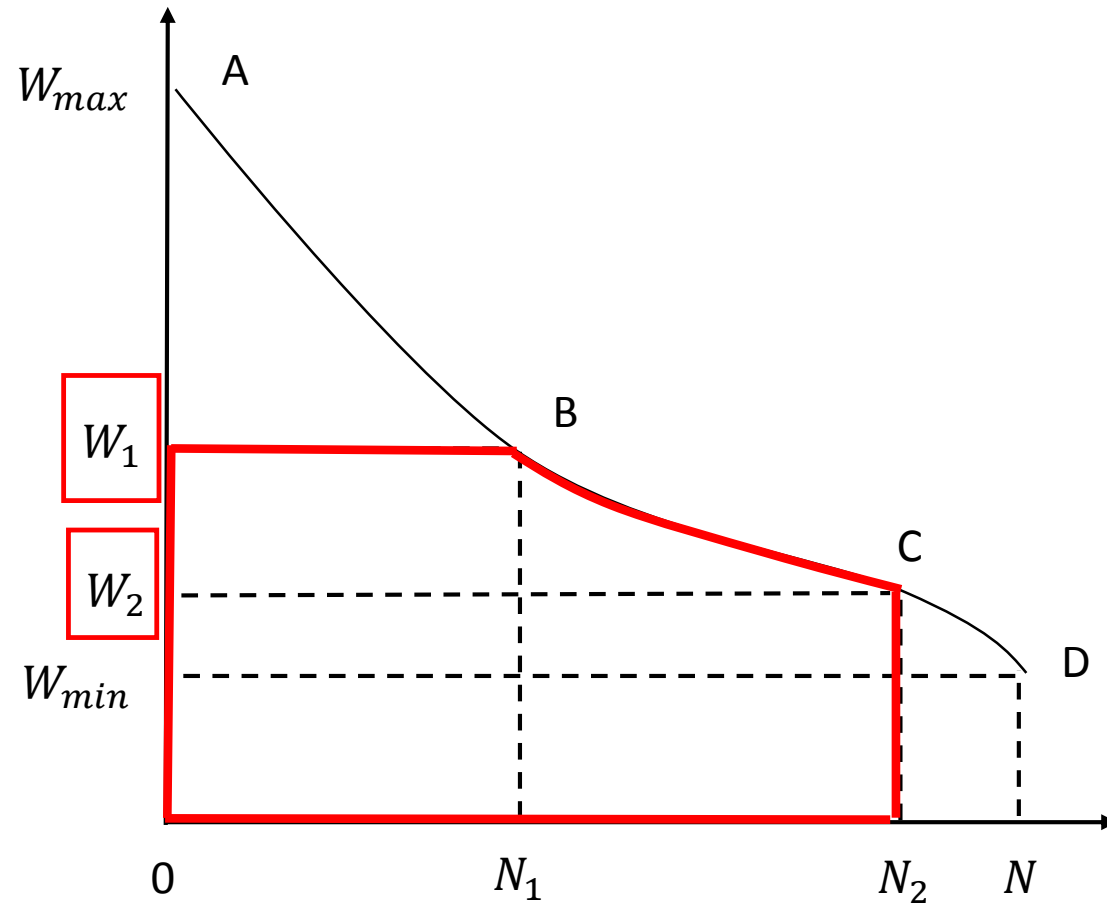
7.6.1 Determinación de la potencia instalada (V/VIII)



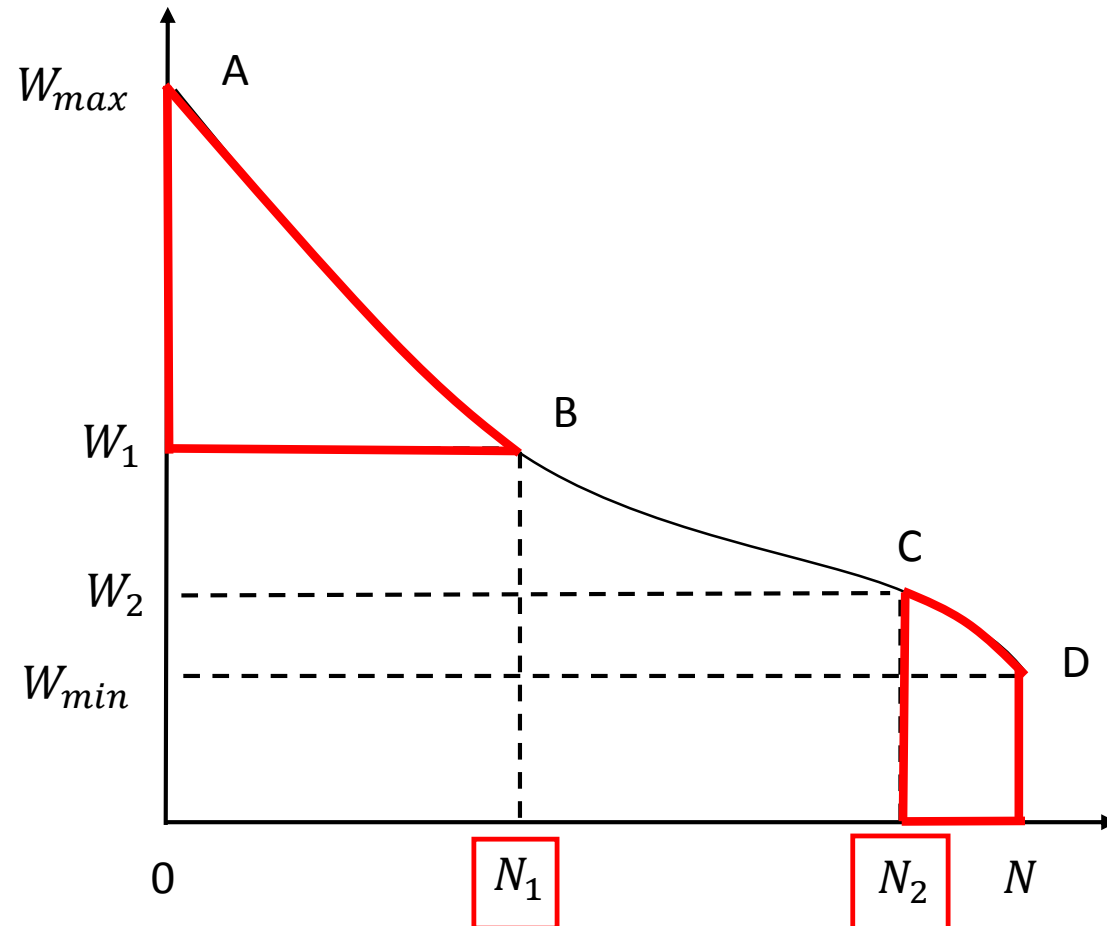
7.6.1 Determinación de la potencia instalada (VI/VIII)



7.6.1 Determinación de la potencia instalada (VII/VIII)



7.6.1 Determinación de la potencia instalada (VIII/VIII)



7.6.4 Cálculo del ahorro energético y económico (I/VI)

$$A_{ep} = EP_{sc} - (EP_{cg} - EP_{ae})$$

donde

A_{ep} ahorro energía primaria

EP_{sc} energía primaria consumida sin cogeneración

EP_{ae} energía primaria ahorrada por venta de excedentes eléctricos

7.6.4 Cálculo del ahorro energético y económico (II/VI)

$$EP_{sc} = \frac{E_d}{\eta_e} + \frac{Q_d}{\eta_q}$$

donde

EP_{sc} energía primaria consumida sin cogeneración

E_d energía eléctrica anual demandada

η_e rendimiento del parque eléctrico nacional

Q_d energía térmica anual demandada

η_q rendimiento del generador de calor

7.6.4 Cálculo del ahorro energético y económico (III/VI)

$$EP_{cg} = \frac{E_x}{\eta_e} + \frac{E_{cg}}{\eta_{e,cg}} + \frac{Q_a}{\eta_q}$$

donde

EP_{cg} energía primaria consumida con cogeneración

E_x energía eléctrica anual no cogenerada que se compra a la red

η_e rendimiento del parque eléctrico nacional

E_{cg} energía eléctrica anual cogenerada

$\eta_{e,cg}$ rendimiento de la energía eléctrica cogenerada

Q_a energía térmica anual de apoyo

η_q rendimiento del generador de calor

7.6.4 Cálculo del ahorro energético y económico (IV/VI)

$$EP_{ae} = \frac{E_{ex}}{\eta_e}$$

donde

EP_{ae} energía primaria ahorrada por venta de los excedentes eléctricos

E_{ex} energía eléctrica anual excedente

η_e rendimiento del parque eléctrico nacional

7.6.4 Cálculo del ahorro energético y económico (V/VI)

$$C_{sc} = E_d \cdot V_{e,sc} + Q_d \cdot V_{q,sc}$$

donde

C_{sc} coste anual sin cogeneración

E_d energía eléctrica anual demandada

$V_{e,sc}$ precio medio de la electricidad sin cogeneración

Q_d energía térmica anual demandada

$V_{q,sc}$ coste unitario del combustible sin cogeneración

7.6.4 Cálculo del ahorro energético y económico (VI/VI)

$$C_{sg} = E_x \cdot V_{e,cg} + Q_a \cdot V_{q,sc} + E_{cg} \cdot (V_{c,cg} + V_m) - E_x \cdot V_{e,v}$$

donde

C_{sg} coste anual con cogeneración

E_x energía eléctrica anual no cogenerada que se compra a la red

$V_{e,cg}$ precio medio de compra de la electricidad sin cogeneración

Q_a energía térmica anual de apoyo

$V_{q,sc}$ coste unitario del combustible sin cogeneración

E_{cg} energía eléctrica anual cogenerada

$V_{c,cg}$ coste unitario del carburante consumido por el equipo de cogeneración

V_m coste de mantenimiento referido a la unidad electricidad cogenerada y

$V_{e,v}$ precio medio de venta de la electricidad excedente

7.6.6 Viabilidad (I/VII)

- 1) Tiempo de retorno de la inversión
- 2) Valor actual neto de la instalación
- 3) Rendimiento interno de la inversión

7.6.6 Viabilidad (II/VII)

Coste de la instalación llave en mano

- Máquina térmica: motor alternativo, turbina de gas o turbina de vapor
- Máquina eléctrica: alternador síncrono o asíncrono
- Anclaje y cimentación de la maquinaria
- Caldera y/o intercambiadores de calor
- Máquina frigorífica (si hay generación de frío)
- Circuitos de los distintos fluidos: agua, combustible, aire, vapor, humos, etc.
- Circuito eléctrico
- Sistema de control y armarios de maniobra
- Obra civil
- Ingeniería y proyecto
- Costes varios

7.6.6 Viabilidad (III/VII)

Tiempo de retorno simple (PBs)

$$I = \sum_{i=1}^{PBs} A_i$$

donde

I inversión realizada

A_i ahorro neto del año i

7.6.6 Viabilidad (IV/VII)

Tiempo de retorno simple (PBs)

$$PBs = I/A$$

donde

I inversión realizada

A_i ahorro neto del año i

7.6.6 Viabilidad (V/VII)

Tiempo de retorno actualizado (PBa)

$$I = \sum_{i=1}^{PBa} Aa_i$$

donde

I inversión realizada

$Aa_i = A_i \cdot f_i$ ahorro actualizado neto

$f_i = \frac{1}{(1+k)^i + (1+g)^i}$ factor de actualización

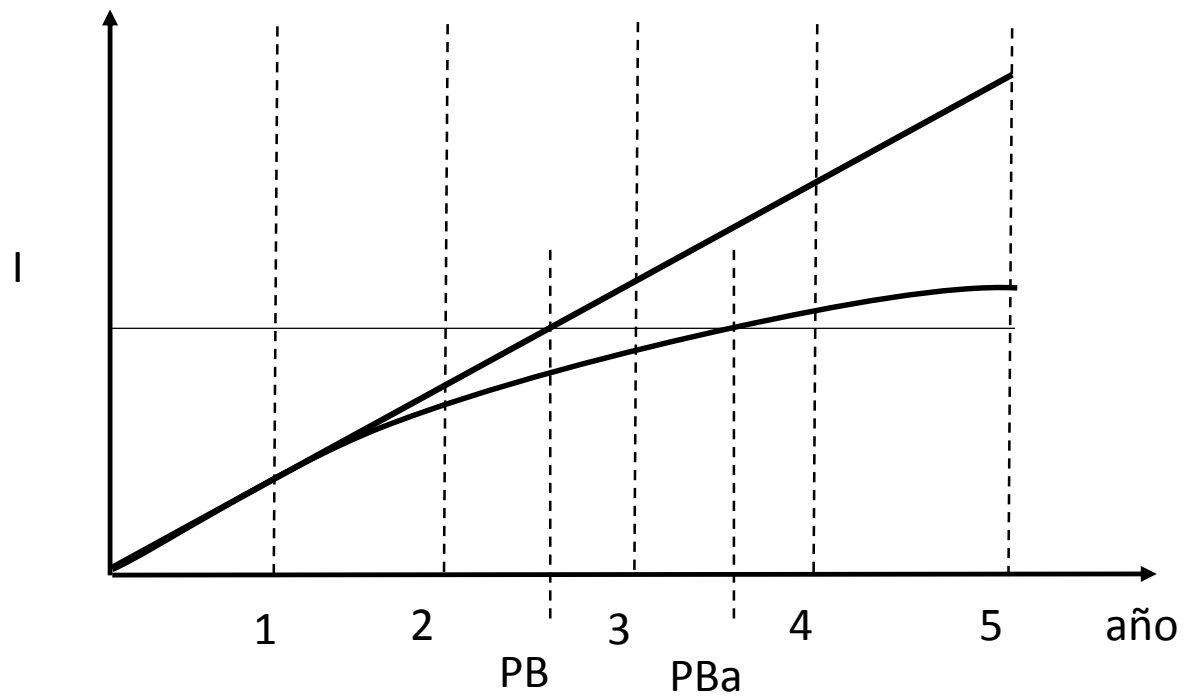
k tasa de descuento monetaria, en tanto por uno

g tasa de inflación, en tanto por uno

i número de años transcurridos desde el de la inversión

7.6.6 Viabilidad (VI/VII)

Tiempo de retorno actualizado (PBa)



7.6.6 Viabilidad (VII/VII)

Valor actual neto (VAN)

$$VAN = -I + VR + \sum_{i=1}^n Aa_i$$

donde

VAN valor actual neto

I inversión realizada

VR valor residual de la inversión al final de los n años del estudio de la inversión

$Aa_i = A_i \cdot f_i$ ahorro actualizado neto

$f_i = \frac{1}{(1+k)^i + (1+g)^i}$ factor de actualización

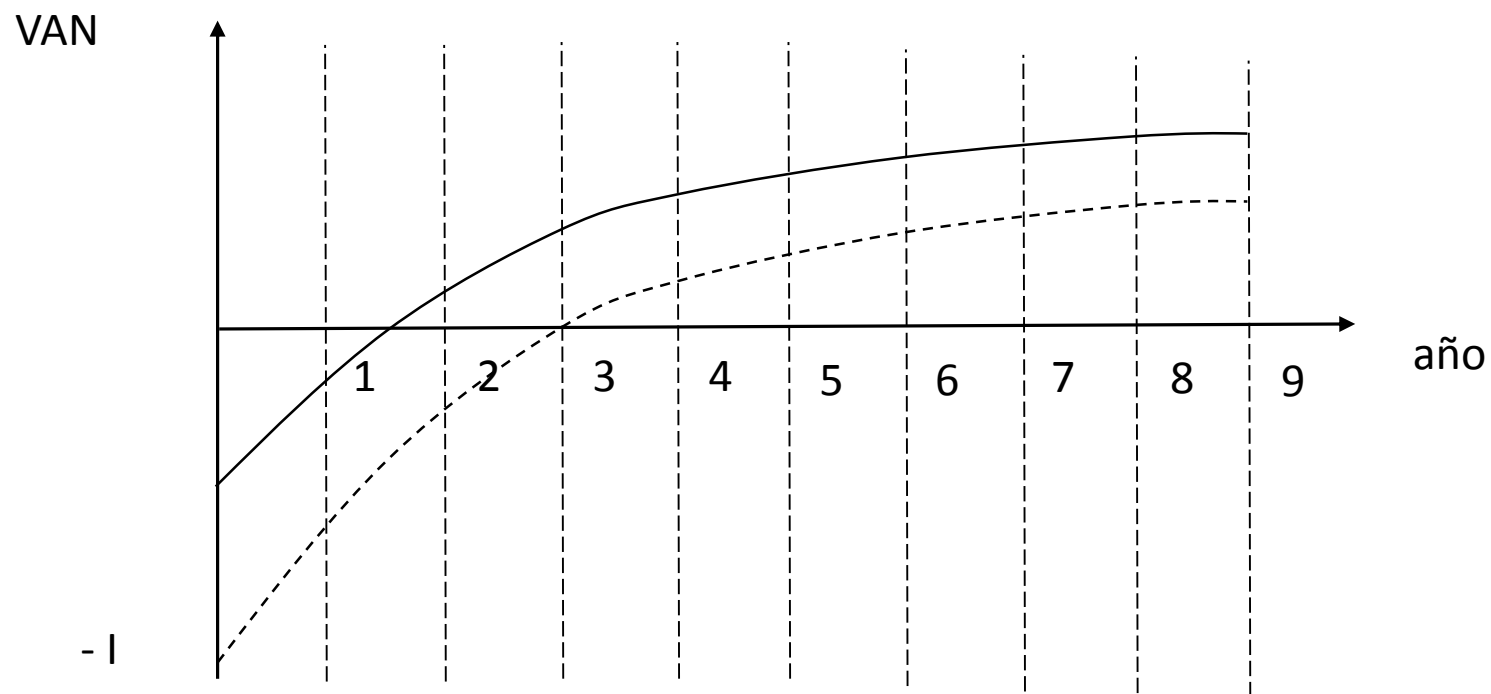
k tasa de descuento monetaria, en tanto por uno

g tasa de inflación, en tanto por uno

i número de años transcurridos desde el de la inversión

7.6.6 Viabilidad (VII/VII)

Valor actual neto (VAN)



Cálculo del VAN a $n = 9$ años

Ejemplo de cálculo 2

Una industria presenta una demanda de calor y electricidad, muy uniforme, que puede tipificarse en dos días tipo: verano e invierno. La fábrica trabaja 24 horas al día y cinco días a la semana y, durante todo el año, se contabilizan 22 semanas en temporada de verano y 24 en temporada de invierno. En la tabla de la siguiente diapositiva se muestran las curvas de demanda diaria, en intervalos de dos horas.

A fin de ahorrar energía se piensa instalar un equipo de cogeneración de turbina de gas que tiene las características siguientes: potencia eléctrica 1500 kW, potencia térmica 2250 kW y resultado de multiplicar el caudal del combustible utilizado (*en m^3/h*) por su poder calorífico inferior (*en kWh/Nm^3*) 4420 kW. Se acepta un rendimiento térmico del 0.90 y uno eléctrico del 0.33.

Calcular la energía primaria ahorrada con cogeneración, comparada con la instalación convencional sin cogeneración, si el equipo funciona continuamente a carga nominal durante las 24 horas del día. Para el cálculo del consumo de energía primaria con cogeneración se asumirá que tanto la energía térmica en exceso como la energía eléctrica en defecto son nulas.

Ejemplo de cálculo 2

Hora	Verano		Invierno	
	Calor	Electricidad	Calor	Electricidad
0-2	5970	947	6570	1090
2-4	5980	935	6580	1075
4-6	5985	922	6585	1094
6-8	5990	935	6590	1081
8-10	5980	945	6580	1095
10-12	5965	940	6560	1098
12-14	5960	910	6555	1047
14-16	5960	926	6560	1079
16-18	5950	945	6545	1097
18-20	5955	942	6550	1083
20-22	5960	920	6555	1058
22-24	5970	926	6565	1065

Potencia media demandada de calor y electricidad, en kW

Ejemplo de cálculo 2. Conceptos necesarios

- a) La energía térmica generada es igual al producto potencia por el número de horas de funcionamiento durante la temporada.
- b) La energía eléctrica generada es igual al producto potencia por el número de horas de funcionamiento durante la temporada.
- c) La energía térmica en defecto es igual a la demandada menos la generada menos la energía en exceso. $Def = (Dem - Gen - Exc)$
- d) La energía eléctrica en defecto es igual a la generada menos la demandada menos la energía en exceso. $Def = (Gen - Dem - Exc)$
- e) La energía térmica en exceso es igual a la demandada menos la energía generada menos la energía en defecto $Exc = (Dem - Gen - Def)$
- f) La energía eléctrica en exceso es igual a la energía generada menos la energía demandada menos la energía en defecto $Exc = (Gen - Dem - Def)$

Ejemplo de cálculo 2. Conceptos necesarios (II/II)

Consumo de energía primaria

- Caldera de apoyo

$$= \text{Energía térmica en defecto anual} / \text{rendimiento de la caldera}$$

- Equipo de cogeneración = $\frac{\text{Energía eléctrica generada anual} \cdot \text{caudal del combustible utilizado} \cdot \text{poder calorífico inferior del combustible}}{\text{potencia eléctrica de la turbina de gas}}$

- Electricidad excedente = $\frac{\text{Energía eléctrica en exceso}}{\text{rendimiento eléctrico}}$

Energía primaria total consumida

$$EP_b$$

$$= \text{Consumo de la caldera de apoyo} + \text{Consumo del equipo de cogeneración} \\ - \text{Electricidad excedente}$$

Ahorro anual

$$A = \text{Consumo total de energía primaria} - \text{Energía primaria total consumida}$$

Ejemplo de cálculo 2. Solución (I/VIII)

a) Cálculo del consumo de energía primaria sin cogeneración (I/IV)

$$\text{Energía demandada} = (\text{suma de potencias medias}) \cdot 2$$

Ejemplo de cálculo 2. Solución (II/VIII)

a) Cálculo del consumo de energía primaria sin cogeneración (II/IV)

$$\text{Energía demandada} = (\text{suma de potencias medias}) \cdot 2$$

$$\text{Día de verano} \quad \text{energía térmica} = 71\,625 \cdot \frac{2}{1000} = 143.25 \text{ MWh}$$

$$\text{energía eléctrica} = 11\,193 \cdot \frac{2}{1000} = 22.39 \text{ MWh}$$

$$\text{Día de invierno} \quad \text{energía térmica} = 78\,795 \cdot \frac{2}{1000} = 157.59 \text{ MWh}$$

$$\text{energía eléctrica} = 12\,922 \cdot \frac{2}{1000} = 25.84 \text{ MWh}$$

Ejemplo de cálculo 2. Solución (III/VIII)

a) Cálculo del consumo de energía primaria sin cogeneración (III/IV)

Demanda anual verano

$$\text{energía térmica} = 143.25 \cdot 22 \cdot 5 = 15\,758 \text{ MWh}$$

$$\text{energía eléctrica} = 22.39 \cdot 22 \cdot 5 = 2462 \text{ MWh}$$

Demanda anual invierno

$$\text{energía térmica} = 143.25 \cdot 24 \cdot 5 = 17\,190 \text{ MWh}$$

$$\text{energía eléctrica} = 25.84 \cdot 24 \cdot 5 = 3101 \text{ MWh}$$

Ejemplo de cálculo 2. Solución (IV/VIII)

a) Cálculo del consumo de energía primaria sin cogeneración (IV/IV)

$$\text{Energía térmica} = \frac{15\,758 + 17\,190}{0.9} = 36.61 \text{ GWh}$$

$$\text{Energía eléctrica} = \frac{2462 + 3101}{0.33} = 16.86 \text{ GWh}$$

$$\text{Energía total} = 36.61 + 16.86 = 53.47 \text{ GWh}$$

Ejemplo de cálculo 2. Solución (V/VIII)

b) Cálculo del consumo de energía primaria con cogeneración (I/IV)

Energía térmica generada

= potencia térmica · número de horas en funcionamiento durante la temporada

Energía eléctrica generada

= potencia eléctrica · número de horas en funcionamiento durante la temporada

Ejemplo de cálculo

2. Solución (VI/VIII)

b) Cálculo del consumo de energía primaria con cogeneración (II/IV)

	Energía térmica (GWh)				Energía eléctrica (GWh)			
	Dem	Gen	Def	Exc	Dem	Gen	Def	Exc
Verano	15.758	5.940	9.818	0	2.462	3.960	0	1.498
Invierno	17.190	6.480	10.710	0	3.101	4.320	0	1.219
Anual	32.948	12.420	20.528	0	5.563	8.280	0	2.717

Notas:

a) La energía térmica generada es igual al producto potencia por el número de horas de funcionamiento durante la temporada.

$$\text{Ejemplo: } 5.94 \frac{\text{GWh}}{\text{temporada}} = 2.25 \text{ MW} \cdot 24 \frac{\text{horas}}{\text{día}} \cdot 5 \frac{\text{días}}{\text{semana}} \cdot 22 \frac{\text{semanas}}{\text{temporada}}$$

a) La energía eléctrica generada es igual al producto potencia por el número de horas de funcionamiento durante la temporada.

$$\text{Ejemplo: } 3.96 \frac{\text{GWh}}{\text{temporada}} = 1.50 \text{ MW} \cdot 24 \frac{\text{horas}}{\text{día}} \cdot 5 \frac{\text{días}}{\text{semana}} \cdot 22 \frac{\text{semanas}}{\text{temporada}}$$

a) La energía térmica en defecto es igual a la demandada menos la generada menos la energía en exceso. $Def = (Dem - Gen - Exc)$

b) La energía eléctrica en defecto es igual a la generada menos la demandada menos la energía en exceso. $Def = (Gen - Dem - Exc)$

c) La energía térmica en exceso es igual a la demandada menos la energía generada menos la energía en defecto $Exc = (Dem - Gen - Def)$

d) La energía eléctrica en exceso es igual a la energía generada menos la energía demandada menos la energía en defecto $Exc = (Gen - Dem - Def)$

Balance energético anual en GWh

Ejemplo de cálculo 2. Solución (VII/VIII)

b) Cálculo del consumo de energía primaria con cogeneración (III/IV)

	Energía térmica (GWh)				Energía eléctrica (GWh)			
	Dem	Gen	Def	Exc	Dem	Gen	Def	Exc
Verano	15.758	5.940	9.818	0	2.462	3.960	0	1.498
Invierno	17.190	6.480	10.710	0	3.101	4.320	0	1.219
Anual	32.948	12.420	20.528	0	5.563	8.280	0	2.717

Balance energético anual en GWh

Consumo de energía primaria

$$\begin{aligned} \text{Caldera de apoyo} &= \text{Energía térmica en defecto anual} / \text{rendimiento de la caldera} \\ &= \frac{20.528}{0.9} = 22.8 \text{ GWh} \end{aligned}$$

$$\text{Equipo de cogeneración} =$$

$$\begin{aligned} &\text{Energía eléctrica generada anual} \cdot \frac{\text{caudal del combustible utilizado} \cdot \text{poder calorífico inferior del combustible}}{\text{potencia eléctrica de la turbina de gas}} \\ &= 8.280 \cdot (4420/1500) = 24.40 \text{ GWh} \end{aligned}$$

$$\text{Electricidad excedente} = \frac{\text{Energía eléctrica en exceso}}{\text{rendimiento eléctrico}} = \frac{2.717}{0.33} = 8.23 \text{ GWh}$$

Ejemplo de cálculo 2. Solución (VIII/VIII)

b) Cálculo del consumo de energía primaria con cogeneración (IV/IV)

Energía primaria total consumida

- $EP_b = \text{Consumo de la caldera de apoyo} + \text{Consumo del equipo de cogeneración} - \text{Electricidad excedente} = 22.8 + 24.4 - 8.23 = 38.97 \text{ GWh}$

Ahorro anual

- $A = \text{Consumo total de energía primaria} - \text{Energía primaria total consumida} = 53.47 - 38.97 = 14.5 \text{ GWh (27.1\%)}$

FOTOVOLTAICA, BIOMASA Y COGENERACIÓN

FIN

¿¿¿¿PREGUNTAS????

GRACIAS POR SU ATENCIÓN

