



# GUÍA TÉCNICA PARA LA MEDIDA Y DETERMINACIÓN DEL CALOR ÚTIL, DE LA ELECTRICIDAD Y DEL AHORRO DE ENERGÍA PRIMARIA DE COGENERACIÓN DE ALTA EFICIENCIA

Casos prácticos

Junio 2008



## CONTENIDOS

1. OBJETO.....	5
2. ESTRUCTURA DE LOS EJEMPLOS .....	5
3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO .....	5
4. ÍNDICE DE EJEMPLOS .....	6
5. COLECCIÓN DE EJEMPLOS .....	9
<i>CASO 1. CICLO SIMPLE CON TURBINA DE GAS.....</i>	11
<i>CASO 2. CICLO SIMPLE CON TURBINA DE GAS.....</i>	15
<i>CASO 3. CICLO COMBINADO CON VAPOR A CONTRAPRESIÓN.....</i>	19
<i>CASO 4. CICLO COMBINADO CON VAPOR A CONTRAPRESIÓN Y CONDENSACIÓN .....</i>	25
<i>CASO 5. MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA.....</i>	31
<i>CASO 6. CICLO DE SECADO CON TURBINA DE GAS .....</i>	39



## 1. Objeto

Este documento contiene la colección de casos prácticos a los cuales se hace referencia en la GUÍA TÉCNICA PARA LA MEDIDA Y DETERMINACIÓN DEL CALOR ÚTIL, DE LA ELECTRICIDAD Y DEL AHORRO DE ENERGÍA PRIMARIA DE COGENERACIÓN DE ALTA EFICIENCIA. Estos ejemplos pretenden ser una exposición práctica de lo expuesto en dicha Guía, ilustrando las formas y métodos de obtención de las magnitudes a calcular.

## 2. Estructura de los ejemplos

Este documento contiene seis ejemplos, los cuales se presentan exponiendo las siguientes partes diferenciadas de forma estructurada:

- A. Características de la planta. En esta parte se presenta el caso indicando las magnitudes de relevancia
- B. Mediciones y cálculo calor útil. En este apartado se indican los valores de combustible, electricidad y calor medidos, así como el cálculo del calor útil de cogeneración
- C. Obtención de rendimientos mínimos, umbrales y de referencia. Consiste en la identificación de los valores Ref  $E_{\eta}$ , Ref  $H_{\eta}$ ,  $\eta_0$  y  $REE_{\text{mínimo}}$
- D. Cálculo del REE, como valor que el RD 661/2007 exige que supere el valor mínimo  $REE_{\text{mínimo}}$
- E. Cálculo de la electricidad de cogeneración
- F. Cálculo del ahorro de energía primaria, de cara a comprobar si la cogeneración es de alta eficiencia

En todos los casos se han contemplado dos periodos de operaciones a lo largo del año, mostrando de esta manera diferentes situaciones de funcionamiento que puedan tener lugar en las cuales posiblemente no siempre se cumplan los mínimos exigidos por la legislación vigente, y comprobando asimismo que son los resultados anuales los que definen el comportamiento de la planta.

## 3. Metodología de estudio

A continuación se expone brevemente la metodología empleada para el estudio de los diferentes casos planteados.

- a. Como información de partida, se dispone de los datos de consumo anuales de combustible para la planta de cogeneración así como la electricidad generada y el calor suministrado durante el periodo de un año por la planta. Estos datos son mediciones directas tomadas en la instalación de cogeneración
- b. Se realiza el cálculo del calor útil de cogeneración detrayendo al calor cedido a proceso todo aquel que no corresponda a dispositivos de cogeneración, y siguiendo la metodología expuesta en esta Guía
- c. Se conoce la tecnología empleada en la instalación y la tensión de interconexión con la red eléctrica. Con esta información, se determinan los valores de referencia para la

producción separada de calor y electricidad,  $Ref H_{\eta}$  y  $Ref E_{\eta}$  respectivamente, el rendimiento global umbral ( $\eta_0$ ) establecido en el Anexo II de la Directiva 2004/8/CE y el rendimiento eléctrico equivalente mínimo ( $REE_{\text{mínimo}}$ ) fijado en el Anexo I del Real Decreto 661/2007.

- d. Se procede entonces a calcular el rendimiento eléctrico equivalente ( $REE$ ), y de este modo a comprobar si la planta puede facturar energía eléctrica conforme al régimen especial y percibir complemento por eficiencia. El REE se calcula considerando equipos de cogeneración y postcombustión, no incluyendo calderas convencionales
- e. Se realiza el cálculo de la electricidad de cogeneración ( $E_{\text{CHP}}$ ), ya que esta magnitud es la base cuantitativa de las garantías de origen. La metodología seguida es la indicada en el Anexo II de la Directiva 2004/8/CE:
- En primer lugar se obtiene el rendimiento global de la planta ( $\eta$ ), comparando dicho rendimiento con el umbral ( $\eta_0$ ) establecido en la Directiva
  - Si el rendimiento global es superior o igual a  $\eta_0$  la electricidad generada por la cogeneración se considera como la electricidad de cogeneración
  - En el caso que no se cumpla lo indicado en el párrafo anterior, es necesario considerar el factor 'C' según lo indicado en la Guía
- f. Por último se calcula el ahorro de energía primaria porcentual ( $PES$ ), y se comprueba si la cogeneración es de alta eficiencia (para plantas de potencia inferior a 1 MW tener un  $PES > 0 \%$ , y para plantas de potencia superior a 1 MW tener un  $PES > 10 \%$ ), caso en el cual tendrá derecho a percibir garantías de origen en base a la electricidad de cogeneración calculada

Cabe comentar que para la determinación de la tensión de interconexión se ha estimado la siguiente relación entre dicha tensión y la potencia de la planta:

Tensión:	Potencia de la planta
50-100 kV	25 - 50 MW <sub>e</sub>
0,4-50 kV	1 - 25 MW <sub>e</sub>
< 0,4 kV	hasta 1MW <sub>e</sub>

Los valores de  $Ref E_{\eta}$  han sido calculados y corregidos según la Decisión de la Comisión de 21 de diciembre de 2006 por la que se establecen valores de referencia de la eficiencia armonizados para la producción por separado de electricidad y calor.

#### 4. Índice de ejemplos

Los casos incluidos en esta Guía se relacionan a continuación:

**Caso 1.** *Ciclo simple con turbina de gas*, con los resultados:

- Cumple con el  $REE_{\text{mínimo}}$  exigido por el Real Decreto 661/2007
- El rendimiento global supera el valor umbral  $\eta_0$ , por lo que toda la electricidad generada es de cogeneración
- Cumple también con el PES exigido en función de la potencia nominal de la planta, por lo que se considera cogeneración de alta eficiencia

- Caso 2.** *Ciclo simple con turbina de gas*, con los resultados:
- No cumple con el  $REE_{\text{mínimo}}$  exigido
  - El rendimiento global no supera el valor umbral  $\eta_0$ , por lo que no toda la electricidad generada es de cogeneración
  - No satisface la condición de presentar un PES superior al 10%, por lo que no se considera como cogeneración de alta eficiencia
- Caso 3.** *Ciclo combinado con turbina de vapor de contrapresión*, con los resultados:
- Cumple con el  $REE_{\text{mínimo}}$  exigido por el Real Decreto 661/2007
  - El rendimiento global no supera el valor umbral  $\eta_0$ , por lo que no toda la electricidad generada es de cogeneración
  - Cumple también con el PES exigido en función de la potencia nominal de la planta, por lo que se considera cogeneración de alta eficiencia
- Caso 4.** *Ciclo combinado con turbina de vapor de contrapresión y condensación*, con los resultados:
- Cumple con el  $REE_{\text{mínimo}}$  exigido por el Real Decreto 661/2007
  - El rendimiento global no supera el valor umbral  $\eta_0$ , por lo que no toda la electricidad generada es de cogeneración
  - Cumple también con el PES exigido en función de la potencia nominal de la planta, por lo que se considera cogeneración de alta eficiencia
- Caso 5.** *Ciclo simple con motor de gas*, con los resultados:
- Cumple con el  $REE_{\text{mínimo}}$  exigido por el Real Decreto 661/2007
  - El rendimiento global no supera el valor umbral  $\eta_0$ , por lo que no toda la electricidad generada es de cogeneración
  - Cumple también con el PES exigido en función de la potencia nominal de la planta, por lo que se considera cogeneración de alta eficiencia
- Caso 6.** *Ciclo simple de secado con turbina de gas*, con los resultados:
- Cumple con el  $REE_{\text{mínimo}}$  exigido por el Real Decreto 661/2007
  - El rendimiento global supera el valor umbral  $\eta_0$ , por lo que toda la electricidad generada es de cogeneración
  - Cumple también con el PES exigido en función de la potencia nominal de la planta, por lo que se considera cogeneración de alta eficiencia



## 5. Colección de ejemplos



## Caso 1. Ciclo simple con turbina de gas

### A. Características de la planta

#### A.1. Datos técnicos

- Potencia eléctrica nominal 7.260 kW<sub>e</sub>
- Tipo de combustible gas natural
- Tensión de interconexión 0,4 - 50 kV
- Temperatura anual media 15 °C
- Disponibilidad de la cogeneración 95%
- La planta dispone de dispositivos de postcombustión y calderas de apoyo

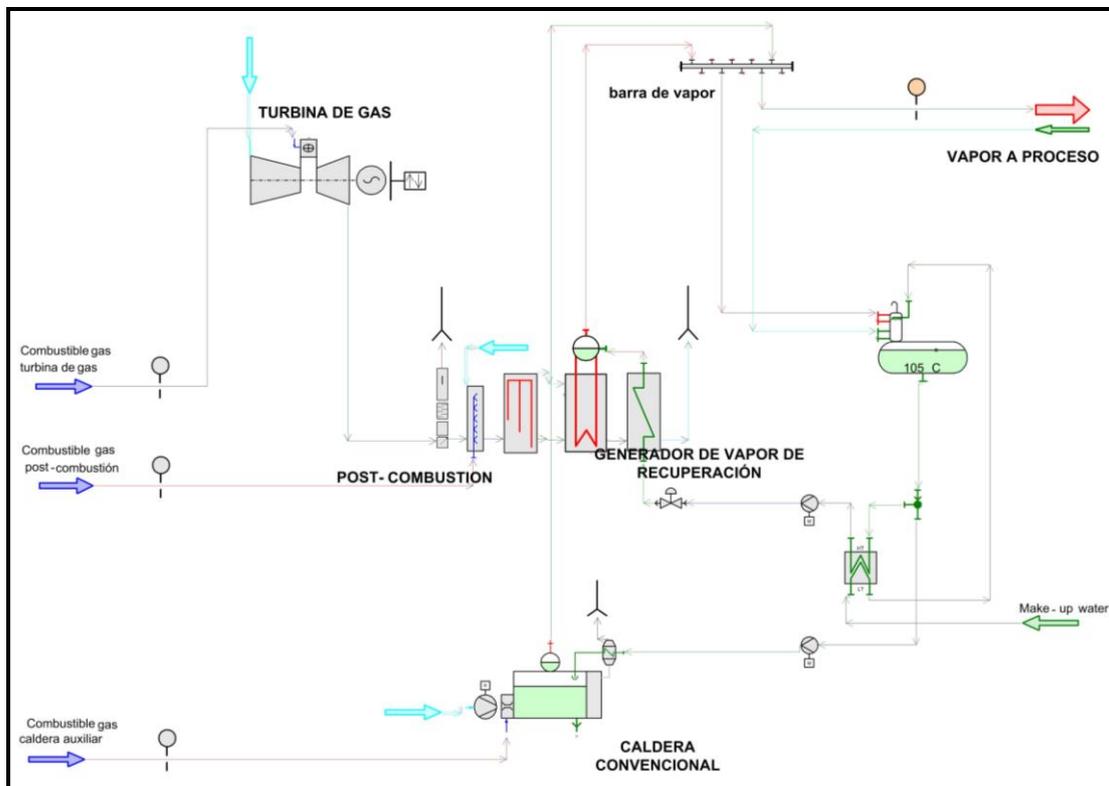
#### A.2. Datos operacionales

- Horas de funcionamiento de la fábrica: 8.000 h/año
- Horas de funcionamiento de la cogeneración: 7.600 h/año
- Periodos de operación:
  - Periodo 1. 16,81 t/h de demanda de vapor durante el 80% del tiempo de operación con aporte de calor suplementario por postcombustión y caldera convencional
  - Periodo 2. 5,0 t/h de demanda de vapor durante el 20% del tiempo de operación, en el que se abre la válvula de gases de la chimenea de by-pass

#### A.3. Datos de proceso demandante de calor

- Demanda en forma de vapor saturado a 19 bar, con una entalpía de 2.799,5 kJ/kg. El vapor no se incorpora a productos elaborados en el proceso
- La fábrica retorna condensados con un caudal del 80% del entregado a 100 °C

#### A.4. Esquema



## B. Mediciones y cálculo del calor útil

### B.1. Mediciones de combustible y electricidad

Los valores medidos de combustible y electricidad son los siguientes:

Parámetro	Unidades	Periodo 1	Periodo 2	Valor periodo anual
F (combustible total)	MWh <sub>PCI</sub>	138.475,6	33.794,2	172.539,8
F <sub>CC</sub> (combustible consumido por la cogeneración)	MWh <sub>PCI</sub>	134.945,6	33.736,4	168.682,0
F <sub>no-CHP,H postcombustión</sub>	MWh <sub>PCI</sub>	3.800,0	0,0	3.800,0
F <sub>no-CHP,H caldera</sub>	MWh <sub>PCI</sub>	0,0	57,8	57,8
E (electricidad generada)	MWh <sub>e</sub>	44.140,8	11.035,2	55.176,0

### B.2. Cálculo del calor útil ( $H_{CHP}$ )

Dado que el vapor no se incorpora a productos elaborados en el proceso y que el retorno de condensados supera el 70% respecto al entregado a proceso, el calor anual demandado por el proceso se calcula mediante la expresión siguiente:

$$H = \dot{m}_v \cdot h_v - \dot{m}_c \cdot h_c - \dot{m}_A \cdot h_A$$

donde:

$\dot{m}_v$  Caudal del vapor entregado a proceso. Este valor procede directamente de medición, con los siguientes valores en cada periodo:

- *Periodo 1:* 102.204,8 t
- *Periodo 2:* 7.600,0 t
- *Total año:* 109.804,8 t

$\dot{m}_c$  Caudal del retorno de condensados. Este valor procede directamente de medición, con los siguientes valores en cada periodo:

- *Periodo 1:* 81.763,8 t
- *Periodo 2:* 6.080,0 t
- *Total año:* 87.843,8 t

$\dot{m}_A$  Caudal de la corriente de aguade aporte a la cogeneración. Este valor se calcula mediante la diferencia entre los valores  $\dot{m}_v$  y  $\dot{m}_c$ , con los siguientes valores en cada periodo:

- *Periodo 1:* 20.441,0 t
- *Periodo 2:* 1.520,0 t
- *Total año:* 21.961,0 t

$h_v$  Entalpía del vapor entregado a proceso. De las mediciones de presión y temperatura se comprueba que este valor es de 2.799,5 kJ/kg.

$h_c$  Entalpía del retorno de condensados. A partir del valor de temperatura de condensados (100 °C), se obtiene el valor de 420 kJ/kg

$h_A$  Entalpía del agua en estado líquido a 15 °C y presión atmosférica (63 kJ/kg)

De este modo en cada uno de los dos periodos resulta el siguiente valor de H:

- *Periodo 1:* 69.581,6 MWh<sub>t</sub>
- *Periodo 2:* 5.247,4 MWh<sub>t</sub>
- *Total año:* 74.829,0 MWh<sub>t</sub>

Por otra parte, y según lo indicado en la Guía, se calculan los valores de calor aportado por dispositivos diferentes a la cogeneración:

Parámetro	Unidades	Valor periodo 1	Valor periodo 2	Valor periodo anual	Cálculo
$H_{no-CHP \text{ postcombustión}}$	MWh <sub>t</sub>	3.420,0	0,0	3.420,0	$F_{no-CHP,H \text{ postcombustión}} \cdot 90\%$
$H_{no-CHP \text{ caldera}}$	MWh <sub>t</sub>	0,0	52,0	52,0	$F_{no-CHP,H \text{ caldera convencional}} \cdot 90\%$

De este modo el calor útil aportado por la cogeneración se calcula mediante la expresión:

$$H_{CHP} = H - H_{no-CHP}$$

Resultando los siguientes valores:

- Calor útil periodo 1: 66.161,6 MWh<sub>t</sub>
- Calor útil periodo 2: 5.195,4 MWh<sub>t</sub>
- Calor útil total año: 71.357,0 MWh<sub>t</sub>

### C. Obtención de rendimientos mínimos, umbrales y de referencia

El valor de Ref  $E_{\eta}$  se obtiene a partir del Anexo I de la DECISIÓN DE LA COMISIÓN de 21 de diciembre de 2006 (52,2% para gas natural), y corregido por el nivel de tensión de interconexión. En este caso el factor de corrección a aplicar es de 0,945 por lo que el valor final es de 49,6%. No es necesario realizar corrección por temperatura al poseer la ubicación de la planta un valor medio anual de 15 °C.

Por otra parte el valor de Ref  $H_{\eta}$  se obtiene del Anexo II de la citada Decisión, resultando un valor para el gas natural del 90%.

El REE requerido por el RD 661/2007 es del 59%, mientras que el rendimiento global umbral propuesto por el Anexo II del RD 616/2007 es del 75%.

En la tabla siguiente se resumen los valores obtenidos en este punto:

Rendimiento	Valor
Ref $E_{\eta}$	49,6%
Ref $H_{\eta}$	90%
REE <sub>mínimo</sub>	59%
$\eta_0$	75%

### D. Cálculo de REE

De acuerdo a lo indicado en esta Guía el valor de REE se calcula mediante la siguiente expresión:

$$REE = \frac{E}{F_{CC} + F_{no-CHP,H \text{ postcombustión}} - \frac{H_{CHP} + H_{no-CHP \text{ postcombustión}}}{Ref H_{\eta}}} = 61,7\%$$

La planta posee un REE superior al REE<sub>min</sub>, de forma que facturará la energía eléctrica conforme al régimen especial y tendrá complemento por eficiencia.

### E. Cálculo de la electricidad de cogeneración ( $E_{CHP}$ )

El rendimiento global de la planta es el siguiente:

$$\eta = \frac{E + H_{CHP}}{F_{CC}} = \frac{55.176 + 71.357}{168.682} = 75,01\%$$

La planta posee un rendimiento global ( $\eta$ ) superior al rendimiento umbral  $\eta_0$  establecido por el Anexo II del RD 616/2007, por lo que toda la electricidad generada ( $E$ ) es de cogeneración. De este modo:

$$E_{CHP} = E = 55.176,0 MWh_e$$

## F. Cálculo del ahorro de energía primaria

En este caso, al ser  $E_{CHP}$  igual a  $E$ , el valor de  $E_{no-CHP}$  es nulo. De este modo:

$$F_{CHP} = F_{CC} = 168.682,0 MWh$$

Los valores de rendimientos asociados al calor útil y la electricidad de cogeneración son los siguientes:

$$CHP H_{\eta} = \frac{H_{CHP}}{F_{CHP}} = \frac{71.357,0}{168.682,0} = 42,3\%$$

$$CHP E_{\eta} = \frac{E_{CHP}}{F_{CHP}} = \frac{55.176,0}{168.682,0} = 32,7\%$$

De este modo utilizando la fórmula del ahorro porcentual de energía primaria (PES):

$$PES = \left[ 1 - \frac{1}{\frac{CHP H_{\eta}}{Ref H_{\eta}} + \frac{CHP E_{\eta}}{Ref E_{\eta}}} \right] \cdot 100 = \left[ 1 - \frac{1}{\frac{42,3\%}{90\%} + \frac{32,7\%}{49,6\%}} \right] \cdot 100 = 11,4\%$$

La planta logra el PES requerido por la Directiva 2004/8/CE para ser considerada de alta eficiencia, por lo que tiene derecho a percibir garantías de origen por una cuantía de  $E_{CHP}$ .

## Caso 2. Ciclo simple con turbina de gas

### A. Características de la planta

#### A.1. Datos técnicos

- Potencia eléctrica nominal 7.260 kW<sub>e</sub>
- Tipo de combustible gas natural
- Tensión de interconexión 0,4 - 50 kV
- Temperatura anual media 15 °C
- Disponibilidad de la cogeneración 95%
- La planta dispone de dispositivos de postcombustión y calderas de apoyo
- Fecha de inscripción en el Registro administrativo de instalaciones de producción en el régimen especial: 15-noviembre-2004

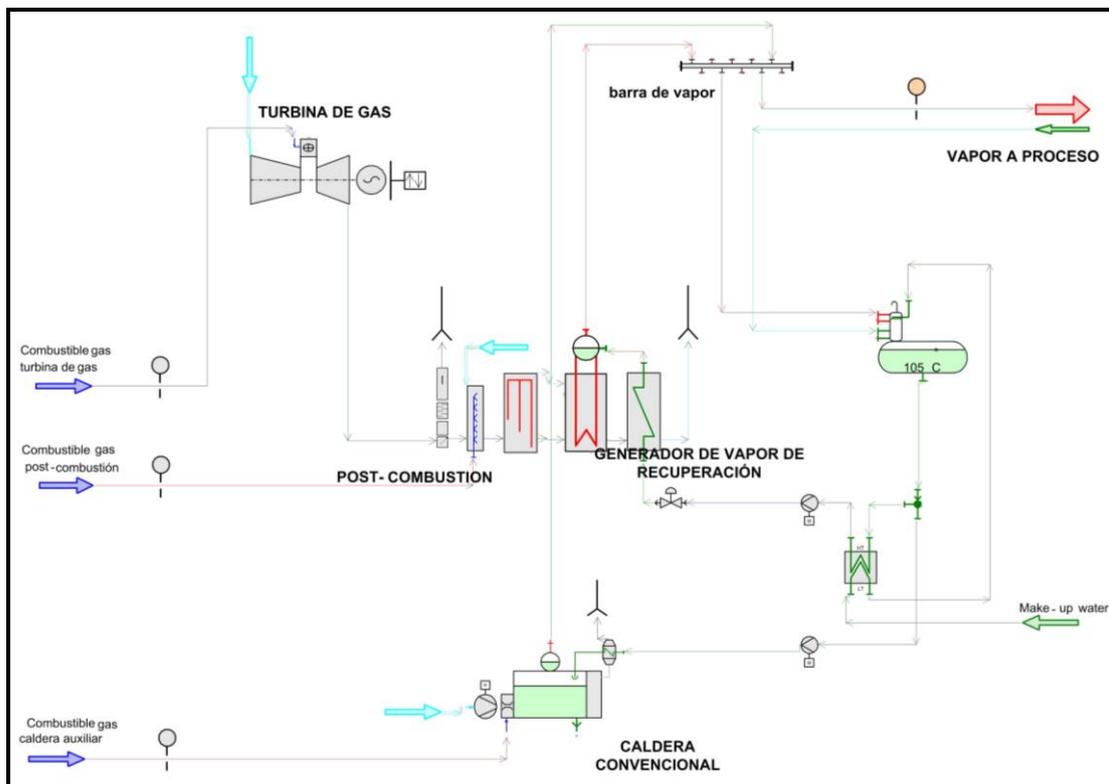
#### A.2. Datos operacionales

- Horas de funcionamiento de la fábrica: 8.000 h/año
- Horas de funcionamiento de la cogeneración: 7.600 h/año
- Periodos de operación:
  - Periodo 1. 16,81 t/h de demanda de vapor durante el 80% del tiempo de operación con aporte de calor suplementario por postcombustión y caldera convencional
  - Periodo 2. 5,0 t/h de demanda de vapor durante el 20% del tiempo de operación, en el que se abre la válvula de gases de la chimenea de by-pass
- El valor del parámetro 'C' al que se refiere el punto '4.4.' de la Guía ha sido certificado mediante prueba de prestaciones realizada, obteniendo el valor de 0,818

#### A.3. Datos de proceso demandante de calor

- Demanda en forma de vapor saturado a 19 bar, con una entalpía de 2.799,5 kJ/kg. El vapor no se incorpora en productos elaborados en el proceso
- La fábrica no retorna condensados

#### A.4. Esquema de la cogeneración



## B. Mediciones y cálculo del calor útil

### B.1. Mediciones de combustible y electricidad

Los valores medidos de combustible y electricidad son los siguientes:

Parámetro	Unidades	Periodo 1	Periodo 2	Valor periodo anual
F (combustible total)	MWh <sub>PCI</sub>	146.607,0	33.794,2	180.401,2
F <sub>CC</sub> (combustible consumido por la cogeneración)	MWh <sub>PCI</sub>	134.945,6	33.736,4	168.682,0
F <sub>no-CHP,H postcombustión</sub>	MWh <sub>PCI</sub>	7.904,0	0,0	7.904,0
F <sub>no-CHP,H caldera</sub>	MWh <sub>PCI</sub>	3.757,4	57,8	3.815,2
E (electricidad generada)	MWh <sub>e</sub>	44.140,8	11.035,2	55.176,0

### B.2. Cálculo del calor útil (H<sub>CHP</sub>)

Dado que el vapor no se incorpora a productos elaborados en el proceso y que no se verifica corriente de retorno de condensados, el calor anual demandado por el proceso se calcula mediante la expresión siguiente:

$$H = \dot{m}_v \cdot (h_v - h_0)$$

donde:

$\dot{m}_v$  Caudal del vapor entregado a proceso. Este valor procede directamente de medición, con los siguientes valores en cada periodo:

- Periodo 1: 102.204,8 t
- Periodo 2: 7.600,0 t
- Total año: 109.804,8 t

$h_v$  Entalpía del vapor entregado a proceso. De las mediciones de presión y temperatura se comprueba que este valor es de 2.799,5 kJ/kg.

$h_0$  Entalpía del agua en estado líquido a 80 °C y presión atmosférica (334,9 kJ/kg)

De este modo en cada uno de los dos periodos resulta el siguiente valor de H:

- Periodo 1: 69.970,5 MWh<sub>t</sub>
- Periodo 2: 5.203,0 MWh<sub>t</sub>
- Total año: 75.173,6 MWh<sub>t</sub>

Por otra parte, y según lo indicado en la Guía, se calculan los valores de calor aportado por dispositivos diferentes a la cogeneración:

Parámetro	Unidades	Valor periodo 1	Valor periodo 2	Valor periodo anual	Cálculo
H <sub>no-CHP postcombustión</sub>	MWh <sub>t</sub>	7.113,6	0	7.113,6	F <sub>no-CHP,H postcombustión</sub> · 90%
H <sub>no-CHP caldera</sub>	MWh <sub>t</sub>	3.381,7	52,0	3.433,7	F <sub>no-CHP,H caldera convencional</sub> · 90%

De este modo el calor útil aportado por la cogeneración se calcula mediante la expresión:

$$H_{CHP} = H - H_{no-CHP}$$

Resultando los siguientes valores:

- Calor útil periodo 1: 59.475,3 MWh<sub>t</sub>
- Calor útil periodo 2: 5.151,0 MWh<sub>t</sub>

• Calor útil total año: 64.626,3 MWh<sub>t</sub>

### C. Obtención de rendimientos mínimos, umbrales y de referencia

El valor de Ref E<sub>η</sub> se obtiene a partir del Anexo I de la DECISIÓN DE LA COMISIÓN de 21 de diciembre de 2006 (52,2% para gas natural), y corregido por el nivel de tensión de interconexión. En este caso el factor de corrección a aplicar es de 0,945 por lo que el valor final es de 49,6%. No es necesario realizar corrección por temperatura al poseer la ubicación de la planta un valor medio anual de 15 °C.

Por otra parte el valor de Ref H<sub>η</sub> se obtiene del Anexo II de la citada Decisión, resultando un valor para el gas natural del 90%.

El REE requerido por el RD 661/2007 es del 59%, mientras que el rendimiento global umbral propuesto por el Anexo II del RD 616/2007 es del 75%.

En la tabla siguiente se resumen los valores obtenidos en este punto:

Rendimiento	Valor
Ref E <sub>η</sub>	49,6%
Ref H <sub>η</sub>	90%
REE <sub>mínimo</sub>	59%
η <sub>0</sub>	75%

### D. Cálculo de REE

De acuerdo a lo indicado en esta Guía el valor de REE se calcula mediante la siguiente expresión:

$$REE = \frac{E}{F_{CC} + F_{no-CHP, H \text{ postcombustión}} - \frac{H_{CHP} + H_{no-CHP \text{ postcombustión}}}{Ref H_{\eta}}} = 57,0\%$$

La planta posee un REE inferior al REE<sub>mín</sub>, de forma que no podrá facturar complemento por eficiencia.

No obstante lo anterior, como esta planta de cogeneración se inscribió en el Registro administrativo de instalaciones de producción en régimen especial antes de la entrada en vigor del RD 661/2007, es posible realizar el cálculo del REE únicamente a efectos de la comprobación del REE mínimo para su permanencia en el Régimen Especial calculando el calor demandado por el proceso de acuerdo a la siguiente expresión:

$$H = \dot{m}_V \cdot h_V - \dot{m}_C \cdot h_C - \dot{m}_A \cdot h_A$$

donde:

$\dot{m}_V$  Caudal del vapor entregado a proceso.

$\dot{m}_C$  Caudal del retorno de condensados.

$\dot{m}_A$  Caudal de la corriente de agua de aporte a la cogeneración.

$h_V$  Entalpía del vapor entregado a proceso.

$h_C$  Entalpía del retorno de condensados.

$h_A$  Entalpía del agua en estado líquido a 15 °C y presión atmosférica (63 kJ/kg)

Realizando el cálculo del calor útil (H<sub>CHP</sub>) considerando la fórmula anterior se obtiene un valor de 72.919,6 MWh<sub>t</sub>. A partir de este valor, el nuevo cálculo del REE resulta en un

**62,9%**. Este valor es superior al  $REE_{\min}$  establecido por el RD 661/2007, por lo que podrá facturar energía eléctrica en el régimen especial.

En caso de que esta cogeneración se hubiera inscrito en el Registro administrativo de instalaciones de producción en régimen especial posteriormente a la entrada en vigor del RD 661/2007, esta planta tendría que solicitar una suspensión temporal del cumplimiento del REE, y por lo tanto de facturación de energía eléctrica en régimen especial, hasta que realice las modificaciones oportunas para poder cumplir el REE requerido.

## E. Cálculo de la electricidad de cogeneración ( $E_{CHP}$ )

### E.1. Cálculo del rendimiento global ( $\eta$ )

$$\eta = \frac{E + H_{CHP}}{F_{CC}} = \frac{55.176 + 64.626,3}{168.682} = 71,0\%$$

La planta posee un rendimiento global ( $\eta$ ) inferior al rendimiento umbral  $\eta_0$  establecido por el Anexo II del RD 616/2007, por lo que no toda la electricidad generada ( $E$ ) es de cogeneración. De este modo, la electricidad de cogeneración tendrá la siguiente expresión:

$$E_{CHP} = C \cdot H_{CHP}$$

El valor del parámetro 'C' se haya certificado con el valor de 0,818 según prueba de prestaciones realizada a la planta de cogeneración en modo cogeneración total de acuerdo a lo indicado en el punto '4.4.' de la Guía.

### E.2. Cálculo de la electricidad de cogeneración ( $E_{CHP}$ )

El valor de la electricidad de cogeneración se calcula por la expresión conocida:

$$E_{CHP} = C \cdot H_{CHP} = 0,818 \cdot 64.626,3 = 52.832,0 \text{ MWh}_e$$

## F. Cálculo del ahorro de energía primaria

El valor del combustible de la cogeneración asociado al calor útil y a la electricidad de cogeneración es el siguiente:

$$F_{CHP} = F_{CC} - \frac{E_{no-CHP}}{\eta_E} = F_{CC} - \frac{E - E_{CHP}}{\frac{E}{F_{CC}}} = 168.682 - \frac{55.176 - 52.832,0}{\frac{55.176}{168.682}} = 161.516,0 \text{ MWh}$$

Los valores de rendimientos asociados al calor útil y la electricidad de cogeneración son los siguientes:

$$CHP H_{\eta} = \frac{H_{CHP}}{F_{CHP}} = \frac{64.626,3}{161.516,0} = 40,0\%$$

$$CHP E_{\eta} = \frac{E_{CHP}}{F_{CHP}} = \frac{52.832,0}{161.516,0} = 32,7\%$$

De este modo utilizando la fórmula del ahorro porcentual de energía primaria (PES):

$$PES = \left[ 1 - \frac{1}{\frac{CHP H_{\eta}}{Ref H_{\eta}} + \frac{CHP E_{\eta}}{Ref E_{\eta}}} \right] \cdot 100 = \left[ 1 - \frac{1}{\frac{40,0\%}{90\%} + \frac{32,7\%}{49,6\%}} \right] \cdot 100 = 9,4\%$$

La planta no logra el PES requerido por la Directiva 2004/8/CE para ser considerada de alta eficiencia, por lo que no tiene derecho a percibir garantías de origen.

### Caso 3. Ciclo combinado con vapor a contrapresión

#### A. Características de la planta

##### A.1. Datos técnicos

- Potencia eléctrica nominal 23.913 kW<sub>e</sub>
- Tipo de combustible gas natural
- Tensión de interconexión 0,4 - 50 kV
- Temperatura anual media 15 °C
- Disponibilidad de la cogeneración 95%
- La planta dispone de dispositivos de postcombustión y calderas de apoyo

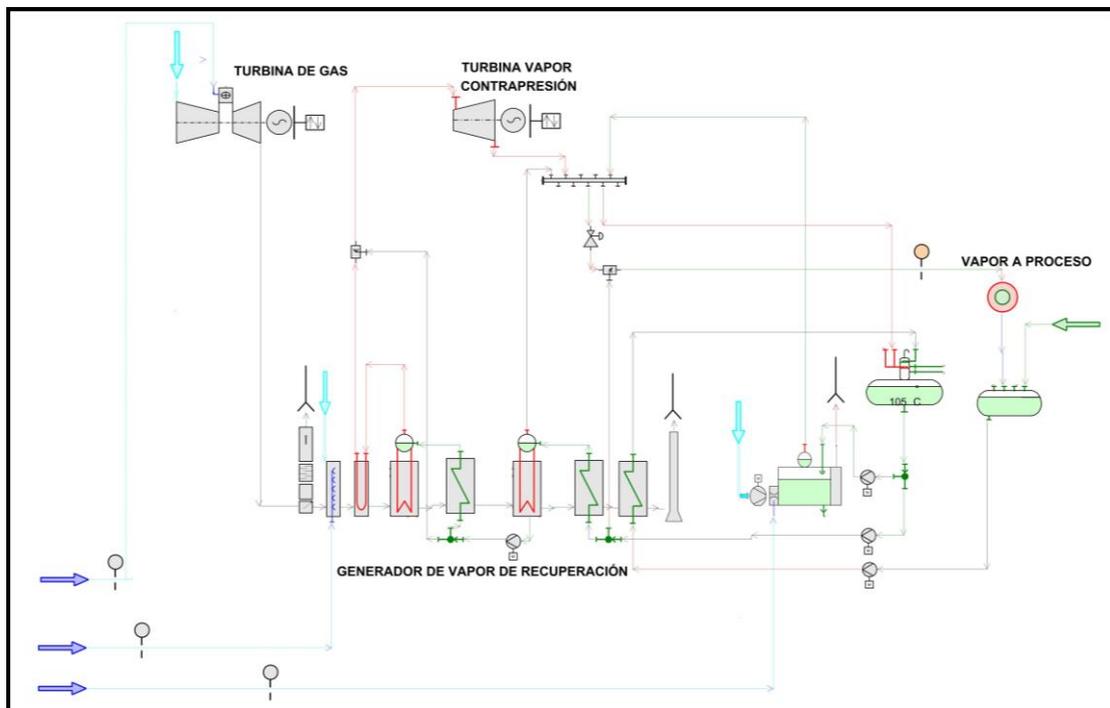
##### A.2. Datos operacionales

- Horas de funcionamiento de la fábrica: 8.000 h/año
- Horas de funcionamiento de la cogeneración: 7.600 h/año
- Periodos de operación:
  - Periodo 1. 45,0 t/h de demanda de vapor durante el 60% del tiempo de operación
  - Periodo 2. 25,0 t/h de demanda de vapor durante el 40% del tiempo de operación

##### A.3. Datos de proceso demandante de calor

- Demanda en forma de vapor saturado a 10 bar, con una entalpía de 2.777,5 kJ/kg. El vapor no se incorpora en productos elaborados en el proceso
- La fábrica retorna condensados con un caudal del 80% del entregado a 90 °C

##### A.4. Esquema de la cogeneración



## B. Mediciones y cálculo del calor útil

### B.1. Mediciones de combustible y electricidad

Los valores medidos de combustible y electricidad son los siguientes:

Parámetro	Unidades	Periodo 1	Periodo 2	Valor periodo anual
F (combustible total)	MWh <sub>PCI</sub>	297.321,3	181.934,9	479.256,2
F <sub>CC</sub> (combustible consumido por la cogeneración)	MWh <sub>PCI</sub>	272.902,3	181.934,9	454.837,2
F <sub>no-CHP,H postcombustión</sub>	MWh <sub>PCI</sub>	13.680,0	0,0	13.680,0
F <sub>no-CHP,H caldera</sub>	MWh <sub>PCI</sub>	10.739,0	0,0	10.739,0
E (electricidad generada)	MWh <sub>e</sub>	109.044,6	71.787,2	180.831,8

### B.2. Cálculo del calor útil ( $H_{CHP}$ )

Dado que el vapor no se incorpora a productos elaborados en el proceso y que el retorno de condensados supera el 70% respecto al entregado a proceso, el calor anual demandado por el proceso se calcula mediante la expresión siguiente:

$$H = \dot{m}_v \cdot h_v - \dot{m}_c \cdot h_c - \dot{m}_A \cdot h_A$$

donde:

$\dot{m}_v$  Caudal del vapor entregado a proceso. Este valor procede directamente de medición, con los siguientes valores en cada periodo:

- *Periodo 1:* 205.200,0 t
- *Periodo 2:* 76.000,0 t
- *Total año:* 281.200,0 t

$\dot{m}_c$  Caudal del retorno de condensados. Este valor procede directamente de medición, con los siguientes valores en cada periodo:

- *Periodo 1:* 164.160,0 t
- *Periodo 2:* 60.800,0 t
- *Total año:* 224.960,0 t

$\dot{m}_A$  Caudal de la corriente de aguade aporte a la cogeneración. Este valor se calcula mediante la diferencia entre los valores  $\dot{m}_v$  y  $\dot{m}_c$ , con los siguientes valores en cada periodo:

- *Periodo 1:* 41.040,0 t
- *Periodo 2:* 15.200,0 t
- *Total año:* 56.240,0 t

$h_v$  Entalpía del vapor entregado a proceso. De las mediciones de presión y temperatura se comprueba que este valor es de 2.777,5 kJ/kg.

$h_c$  Entalpía del retorno de condensados. A partir del valor de temperatura de condensados (90 °C), se obtiene el valor de 376,9 kJ/kg

$h_A$  Entalpía del agua en estado líquido a 15°C y presión atmosférica (63 kJ/kg)

De este modo en cada uno de los dos periodos resulta el siguiente valor de H:

- *Periodo 1:* 140.412,7 MWh<sub>t</sub>
- *Periodo 2:* 52.004,7 MWh<sub>t</sub>
- *Total año:* 192.417,3 MWh<sub>t</sub>

Por otra parte, y según lo indicado en esta Guía, se calculan los valores de calor aportado por dispositivos diferentes a la cogeneración:

Parámetro	Unidades	Valor periodo 1	Valor periodo 2	Valor periodo anual	Cálculo
$H_{no-CHP \text{ postcombustión}}$	MWh <sub>t</sub>	12.312,0	0,0	12.312,0	$F_{no-CHP,H \text{ postcombustión}} \cdot 90\%$
$H_{no-CHP \text{ caldera}}$	MWh <sub>t</sub>	9.665,1	0,0	9.665,1	$F_{no-CHP,H \text{ caldera convencional}} \cdot 90\%$

De este modo el calor útil aportado por la cogeneración se calcula mediante la expresión:

$$H_{CHP} = H - H_{no-CHP}$$

Resultando los siguientes valores:

- Calor útil periodo 1: 118.435,6 MWh<sub>t</sub>
- Calor útil periodo 2: 52.004,7 MWh<sub>t</sub>
- Calor útil total año: 170.440,2 MWh<sub>t</sub>

### C. Obtención de rendimientos mínimos, umbrales y de referencia

El valor de Ref  $E_{\eta}$  se obtiene a partir del Anexo I de la DECISIÓN DE LA COMISIÓN de 21 de diciembre de 2006 (52,2% para gas natural), y corregido por el nivel de tensión de interconexión. En este caso el factor de corrección a aplicar es de 0,945 por lo que el valor final es de 49,6%. No es necesario realizar corrección por temperatura al poseer la ubicación de la planta un valor medio anual de 15 °C.

Por otra parte el valor de Ref  $H_{\eta}$  se obtiene del Anexo II de la citada Decisión, resultando un valor para el gas natural del 90%.

El REE requerido por el RD 661/2007 es del 59%, mientras que el rendimiento global umbral propuesto por el Anexo II del RD 616/2007 es del 80%.

En la tabla siguiente se resumen los valores obtenidos en este punto:

Rendimiento	Valor
Ref $E_{\eta}$	49,6%
Ref $H_{\eta}$	90%
REE <sub>mínimo</sub>	59%
$\eta_0$	80%

### D. Cálculo de REE

De acuerdo a lo indicado en esta Guía el valor de REE se calcula mediante la siguiente expresión:

$$REE = \frac{E}{F_{CC} + F_{no-CHP,H \text{ postcombustión}} - \frac{H_{CHP} + H_{no-CHP \text{ postcombustión}}}{Ref H_{\eta}}} = 68,1\%$$

La planta posee un REE superior al REE<sub>mín</sub>, de forma que facturará la energía eléctrica conforme al régimen especial y tendrá complemento por eficiencia.

### E. Cálculo de la electricidad de cogeneración ( $E_{CHP}$ )

#### E.1. Cálculo del rendimiento global ( $\eta$ )

$$\eta = \frac{E + H_{CHP}}{F_{CC}} = \frac{180.831,8 + 170.440,2}{454.837,2} = 77,2\%$$

La planta posee un rendimiento global ( $\eta$ ) inferior al rendimiento umbral  $\eta_0$  establecido por el Anexo II del RD 616/2007, por lo que no toda la electricidad generada ( $E$ ) es de cogeneración. De este modo, la electricidad de cogeneración tendrá la siguiente expresión:

$$E_{CHP} = C \cdot H_{CHP}$$

### E.2. Cálculo del factor 'C'

El titular de la planta de cogeneración ha decidido acogerse al régimen transitorio para la determinación del parámetro 'C' al que se hace referencia en el punto '4.5.' de la Guía, por lo que su valor se obtendrá mediante la siguiente expresión:

$$C = \frac{\eta_E}{\eta_0 - \eta_E}$$

donde:

$\eta_E$  rendimiento eléctrico de la cogeneración, obtenido como la división entre la energía eléctrica generada (180.831,8 MWh) y el combustible consumido por la cogeneración (454.837,2 MWh), resultando un valor de 39,8%

$\eta_0$  rendimiento global umbral establecido por el Anexo II de la Directiva 2004/8/CE cuyo valor para esta planta es del 80%

El valor resultante del parámetro 'C' es de 0,988. Este valor únicamente puede utilizarse durante los primeros 12 meses a partir de la publicación de la Guía, y en todo caso durante su periodo de vigencia de acuerdo al ámbito temporal indicado en el punto '1.2.' de la misma.

### E.3. Cálculo de la electricidad de cogeneración ( $E_{CHP}$ )

El valor de la electricidad de cogeneración se calcula por la expresión conocida:

$$E_{CHP} = C \cdot H_{CHP} = 0,988 \cdot 170.440,2 = 168.385,9 \text{ MWh}_e$$

## F. Cálculo del ahorro de energía primaria

El valor del combustible de la cogeneración asociado al calor útil y a la electricidad de cogeneración es el siguiente:

$$F_{CHP} = F_{CC} - \frac{E_{no-CHP}}{\eta_E} = F_{CC} - \frac{E - E_{CHP}}{\frac{E}{F_{CC}}} = 454.837,2 - \frac{180.831,8 - 168.385,9}{\frac{180.831,8}{454.837,2}} = 423.532,7 \text{ MWh}$$

Los valores de rendimientos asociados al calor útil y la electricidad de cogeneración son los siguientes:

$$CHP H_\eta = \frac{H_{CHP}}{F_{CHP}} = \frac{170.457,4}{423.532,7} = 40,2\%$$

$$CHP E_\eta = \frac{E_{CHP}}{F_{CHP}} = \frac{168.385,9}{423.532,7} = 39,8\%$$

De este modo utilizando la fórmula del ahorro porcentual de energía primaria (PES):

$$PES = \left[ 1 - \frac{1}{\frac{CHP H_\eta}{Ref H_\eta} + \frac{CHP E_\eta}{Ref E_\eta}} \right] \cdot 100 = \left[ 1 - \frac{1}{\frac{43,2\%}{90\%} + \frac{39,8\%}{49,6\%}} \right] \cdot 100 = 19,9\%$$

---

La planta logra el PES requerido por la Directiva 2004/8/CE para ser considerada de alta eficiencia, por lo que tiene derecho a percibir garantías de origen por una cuantía de  $E_{CHP}$ .



## Caso 4. Ciclo combinado con vapor a contrapresión y condensación

### A. Características de la planta

#### A.1. Datos técnicos

- Potencia eléctrica nominal 32.175 kW<sub>e</sub>
  - Turbina de gas 28.138 kW<sub>e</sub>
  - TV a contrapresión 1.668 kW<sub>e</sub>
  - TV a condensación 2.368 kW<sub>e</sub>
- Tipo de combustible gas natural
- Tensión de interconexión 50 - 100kV
- Temperatura anual media 15 °C
- Disponibilidad de la cogeneración 95%
- La planta dispone de dispositivos de postcombustión y calderas de apoyo

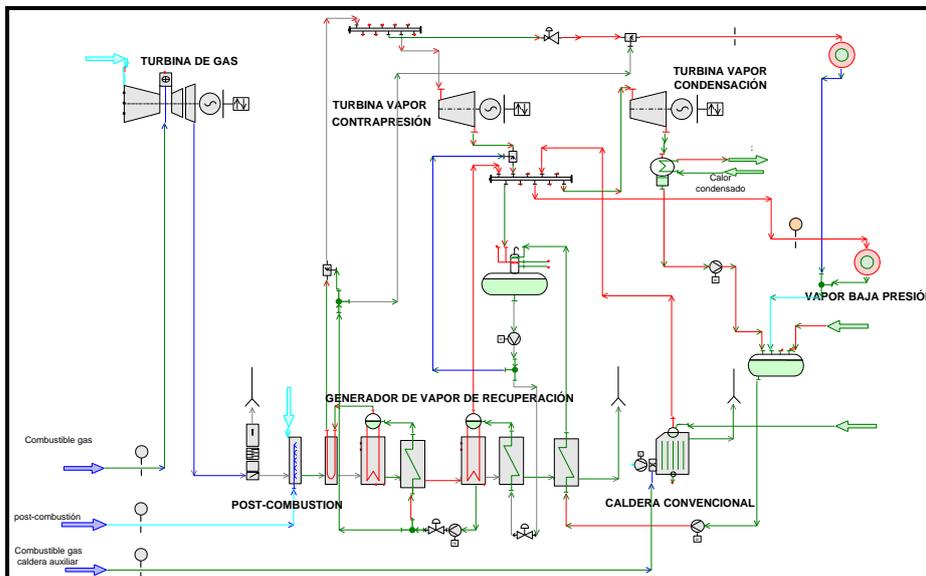
#### A.2. Datos operacionales

- Horas de funcionamiento de la fábrica: 8.600 h/año
- Horas de funcionamiento de la cogeneración: 8.170 h/año
- La energía eléctrica producida se exporta en un 70% y se autoconsume en un 30%
- Periodos de operación:
  - Periodo 1. 15,0 t/h de demanda de vapor AP y 31,74 t/h de demanda de vapor a BP durante el 30% del tiempo de operación. No se utilizan equipos auxiliares de generación de vapor. No se verifica vapor a condensación
  - Periodo 2. 15,0 t/h de demanda de vapor AP y 15,0 t/h de demanda de vapor a BP durante el 70% del tiempo de operación. Presencia de vapor a condensación a 0,1 bar
- El valor del parámetro 'C' al que se refiere el punto '4.4.' de la Guía ha sido certificado mediante prueba de prestaciones realizada, obteniendo el valor de 0,927

#### A.3. Datos de proceso demandante de calor

- Demanda en forma de vapor saturado con las características:
  - AP: 36,5 bar, con una entalpía de 2.809,4 kJ/kg
  - BP: 12,0 bar, con una entalpía de 2.784,3 kJ/kgEl vapor no se incorpora a productos elaborados en el proceso
- La fábrica retorna condensados con un caudal del 75% a AP y del 70% a BP a 105 °C

#### A.4. Esquema de la cogeneración



## B. Mediciones y cálculo del calor útil

### B.1. Mediciones de combustible y electricidad

Los valores medidos de combustible y electricidad son los siguientes:

Parámetro	Unidades	Periodo 1	Periodo 2	Valor periodo anual
F (combustible total)	MWh <sub>PCI</sub>	184.176,0	429.744,0	613.920,0
F <sub>CC</sub> (combustible consumido por la cogeneración)	MWh <sub>PCI</sub>	184.176,0	429.744,0	613.920,0
F <sub>no-CHP,H postcombustión</sub>	MWh <sub>PCI</sub>	0,0	0,0	0,0
F <sub>no-CHP,H caldera</sub>	MWh <sub>PCI</sub>	0,0	0,0	0,0
E (electricidad generada)	MWh <sub>e</sub>	73.055,5	184.007,1	257.062,6

### B.2. Cálculo del calor útil ( $H_{CHP}$ )

Dado que el vapor no se incorpora a productos elaborados en el proceso y que el retorno de condensados es mayor ó igual al 70% respecto al entregado a proceso, el calor anual demandado por el proceso se calcula mediante la expresión siguiente:

$$H = \dot{m}_v \cdot h_v - \dot{m}_c \cdot h_c - \dot{m}_A \cdot h_A$$

donde:

$\dot{m}_v$  Caudal del vapor entregado a proceso. Este valor procede directamente de medición, con los siguientes valores en cada periodo y para cada nivel de presión:

Nivel de presión	Periodo 1	Periodo 2	Valor periodo anual
AP	36.765,0 t	85.785,0 t	122.550,0 t
BP	77.794,7 t	85.785,0 t	163.579,7 t

$\dot{m}_c$  Caudal del retorno de condensados. Este valor procede directamente de medición, con los siguientes valores en cada periodo:

Nivel de presión	Periodo 1	Periodo 2	Valor periodo anual
AP	27.573,8	64.338,8	91.912,5
BP	54.456,3	60.049,5	114.505,8

$\dot{m}_A$  Caudal de la corriente de aguade aporte a la cogeneración. Este valor se calcula mediante la diferencia entre los valores  $\dot{m}_v$  y  $\dot{m}_c$ , con los siguientes valores en cada periodo:

Nivel de presión	Periodo 1	Periodo 2	Valor periodo anual
AP	9.191,3	21.446,3	30.637,5
BP	23.338,4	25.735,5	49.073,9

$h_v$  Entalpía del vapor entregado a proceso. De las mediciones de presión y temperatura se comprueba que este valor es de 2.809,4 kJ/kg para AP y 2.784,3 kJ/kg para BP

$h_c$  Entalpía del retorno de condensados. La temperatura de retorno de condensados es de 105 °C, con un valor de entalpía asociado de 440,1 kJ/kg

$h_A$  Entalpía del agua en estado líquido a 15 °C y presión atmosférica (63 kJ/kg)

De este modo en cada uno de los dos periodos resulta el siguiente valor de H:

- *Periodo 1:* 78.803,7 MWh<sub>t</sub>
- *Periodo 2:* 117.859,2 MWh<sub>t</sub>
- *Total año:* 196.622,9 MWh<sub>t</sub>

Debido a que los dispositivos auxiliares de producción de calor no se emplean, los valores anteriores son entendidos como calor útil:

- **Calor útil periodo 1: 78.803,7 MWh<sub>t</sub>**
- **Calor útil periodo 2: 117.859,2 MWh<sub>t</sub>**
- **Calor útil total año: 196.622,9 MWh<sub>t</sub>**

### C. Obtención de rendimientos mínimos, umbrales y de referencia

El valor de Ref E<sub>η</sub> se obtiene a partir del Anexo I de la DECISIÓN DE LA COMISIÓN de 21 de diciembre de 2006 (52,2% para gas natural), y corregido por el nivel de tensión de interconexión. En este caso el factor de corrección a aplicar es de 0,965 para la electricidad exportada a la red y de 0,945 para la electricidad consumida in situ. Considerando las participaciones de la electricidad exportada y autoconsumida el valor se calcula del siguiente modo:

$$\text{Ref } E_{\eta} = 52,5\% \cdot (70\% \cdot 0,965 + 30\% \cdot 0,945) = 50,3\%$$

No es necesario realizar corrección por temperatura al poseer la ubicación de la planta un valor medio anual de 15 °C.

Por otra parte el valor de Ref H<sub>η</sub> se obtiene del Anexo II de la citada Decisión, resultando un valor para el gas natural del 90%.

El REE requerido por el RD 661/2007 es del 59%, mientras que el rendimiento global umbral propuesto por el Anexo II del RD 616/2007 es del 80%.

En la tabla siguiente se resumen los valores obtenidos en este punto:

<b>Rendimiento</b>	<b>Valor</b>
<i>Ref E<sub>η</sub></i>	50,3%
<i>Ref H<sub>η</sub></i>	90%
<i>REE<sub>mínimo</sub></i>	59%
<i>η<sub>0</sub></i>	80%

### D. Cálculo de REE

De acuerdo a lo indicado en esta Guía el valor de REE se calcula mediante la siguiente expresión:

$$REE = \frac{E}{F_{CC} + F_{no-CHP, H \text{ postcombustión}} - \frac{H_{CHP} + H_{no-CHP \text{ postcombustión}}}{\text{Ref } H_{\eta}}} = 65,0\%$$

La planta posee un REE superior al REE<sub>mín</sub>, de forma que facturará la energía eléctrica conforme al régimen especial y tendrá complemento por eficiencia.

### E. Cálculo de la electricidad de cogeneración (E<sub>CHP</sub>)

#### E.1. Cálculo del rendimiento global (η)

$$\eta = \frac{E + H_{CHP}}{F_{CC}} = \frac{257.062,6 + 196.622,9}{613.920} = 73,9\%$$

La planta posee un rendimiento global ( $\eta$ ) inferior al rendimiento umbral  $\eta_0$  establecido por el Anexo II del RD 616/2007, por lo que no toda la electricidad generada ( $E$ ) es de cogeneración. De este modo, la electricidad de cogeneración tendrá la siguiente expresión:

$$E_{CHP} = C \cdot H_{CHP}$$

El valor del parámetro 'C' se haya certificado con el valor de 0,927 según prueba de prestaciones realizada a la planta de cogeneración en modo cogeneración total de acuerdo a lo indicado en el punto '4.4.' de la Guía.

### E.2. Cálculo de la electricidad de cogeneración ( $E_{CHP}$ )

El valor de la electricidad de cogeneración se calcula por la expresión conocida:

$$E_{CHP} = C \cdot H_{CHP} = 0,927 \cdot 196.622,9 = 182.317,7 \text{ MWh}_e$$

### F. Cálculo del ahorro de energía primaria

El valor del combustible de la cogeneración asociado al calor útil y a la electricidad de cogeneración es el siguiente:

$$F_{CHP} = F_{CC} - \frac{E_{no-CHP}}{\eta_{E_{no-CHP}}}$$

$\eta_{E_{no-CHP}}$  es el rendimiento eléctrico en el punto de condensación total, y para su cálculo se empleará la siguiente expresión:

$$\eta_{E_{no-CHP}} = \frac{E_C}{F_{CC}} = \frac{E + \beta \cdot H_{CHP}}{F_{CC}}$$

De este modo es necesario calcular el factor B. Para su cálculo se considerará la siguiente fórmula:

$$\beta = \beta_0 \cdot \eta_i$$

donde:

- $\eta_i$ : rendimiento obtenido por correlación a partir de la fórmula  $0,561+0,156 \cdot \log P$ , donde P es el valor de la potencia de las turbinas de vapor a contrapresión y condensación, esto es, 2,368 MWe
- $\beta_0$ : salto isoentrópico, calculado por la fórmula  $\log(A \cdot p^n)$ , considerando a 'p' como la presión de extracción (12 bar), y 'A' y 'n' los valores de la tabla incluida en el Anexo 3 para el valor de presión de condensación de 0,1 bar (1,33 y 0,123 respectivamente).

De este modo el valor de B resultante es de 0,159. Con este dato se obtiene:

$$\eta_{E_{no-CHP}} = \frac{257.062,6 + 0,159 \cdot 196.622,9}{613.920} = 46,9\%$$

a continuación se obtiene el valor del combustible asociado al calor útil y la electricidad de cogeneración:

$$F_{CHP} = F_{CC} - \frac{E_{no-CHP}}{\eta_{E_{no-CHP}}} = F_{CC} - \frac{E - E_{CHP}}{\eta_{E_{no-CHP}}} = 613.920 - \frac{257.062,6 - 182.317,7}{46,9\%} = 454.772,2 \text{ MWh}$$

Los valores de rendimientos asociados al calor útil y la electricidad de cogeneración son los siguientes:

$$CHP H_{\eta} = \frac{H_{CHP}}{F_{CHP}} = \frac{196.622,9}{454.772,2} = 43,2\%$$

$$CHP E_{\eta} = \frac{E_{CHP}}{F_{CHP}} = \frac{182.317,7}{454.772,2} = 40,1\%$$

De este modo utilizando la fórmula del ahorro porcentual de energía primaria (PES):

$$PES = \left[ 1 - \frac{1}{\frac{CHP H_{\eta}}{Ref H_{\eta}} + \frac{CHP E_{\eta}}{Ref E_{\eta}}} \right] \cdot 100 = \left[ 1 - \frac{1}{\frac{43,2\%}{90\%} + \frac{40,1\%}{50,3\%}} \right] \cdot 100 = 21,7\%$$

La planta logra el PES requerido por la Directiva 2004/8/CE para ser considerada de alta eficiencia, por lo que tiene derecho a percibir garantías de origen por una cuantía de  $E_{CHP}$ .



## Caso 5. Motor de combustión interna

### A. Características de la planta

#### A.1. Datos técnicos

- Potencia eléctrica nominal 6.060 kW<sub>e</sub>
- Tipo de combustible gas natural
- Tensión de interconexión 0,4 - 50 kV
- Temperatura anual media 15 °C
- Disponibilidad de la cogeneración 92%
- La planta dispone de caldera de apoyo

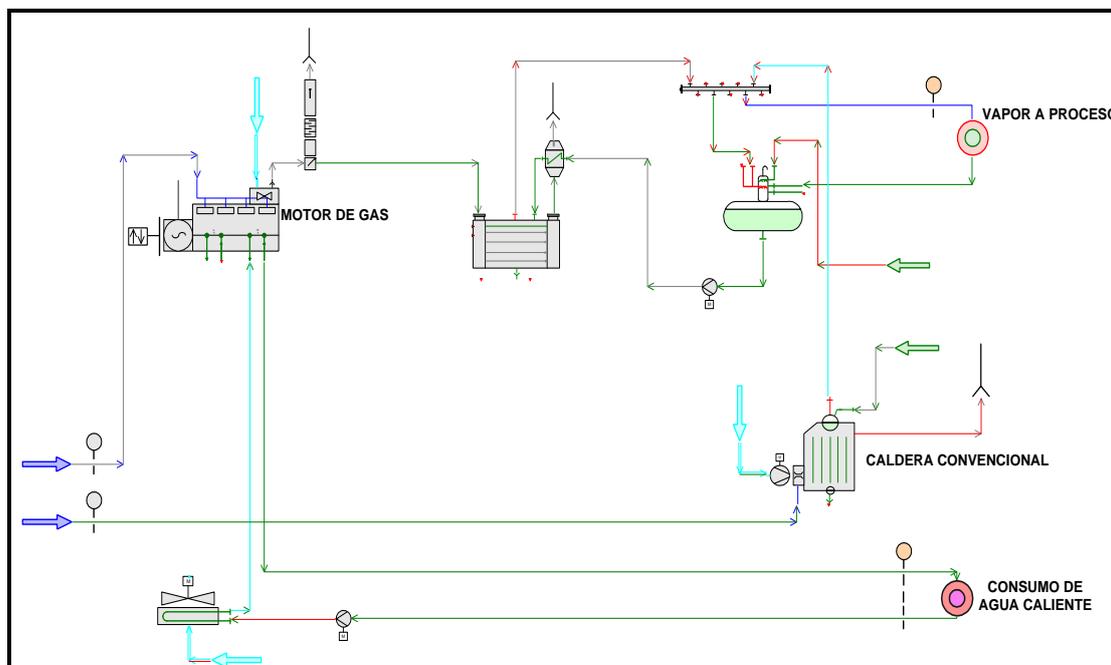
#### A.2. Datos operacionales

- Horas de funcionamiento de la fábrica: 8.000 h/año
- Horas de funcionamiento de la cogeneración: 7.360 h/año
- Periodos de operación:
  - Periodo 1 (invierno). 6,0 t/h de demanda de vapor y 1.600 kW de calefacción. Supone el 45% del tiempo de operación
  - Periodo 2 (resto del año). 2,5 t/h de demanda de vapor y 50 kW de calefacción. Supone el 55% del tiempo de operación
- El valor del parámetro 'C' al que se refiere el punto '4.4.' de la Guía ha sido certificado mediante prueba de prestaciones realizada, obteniendo el valor de 1,513

#### A.3. Datos de proceso demandante de calor

- Parte de vapor
  - Demanda en forma de vapor saturado a 14 bar, con una entalpía de 2.789,9 kJ/kg. El vapor no se incorpora a productos elaborados en el proceso
  - La fábrica retorna condensados con un caudal del 50% del entregado a 105 °C
- Parte de calefacción: agua caliente a 91 °C, con un retorno de agua a 83,7 °C en invierno y 90,8 °C el resto del año

#### A.4. Esquema de la cogeneración



## B. Mediciones y cálculo del calor útil

### B.1. Mediciones de combustible y electricidad

Los valores medidos de combustible y electricidad son los siguientes:

Parámetro	Unidades	Periodo 1	Periodo 2	Valor periodo anual
F (combustible total)	MWh <sub>PCI</sub>	50.717,1	54.401,1	105.118,2
F <sub>CC</sub> (combustible consumido por la cogeneración)	MWh <sub>PCI</sub>	44.510,0	54.401,1	98.911,1
F <sub>no-CHP,H caldera</sub>	MWh <sub>PCI</sub>	6.207,1	0,0	6.207,1
E (electricidad generada)	MWh <sub>e</sub>	20.070,7	24.530,9	44.601,6

### B.2. Cálculo del calor útil ( $H_{CHP}$ )

El calor entregado a proceso en este caso de compone de una parte de vapor y de otra de agua caliente para calefacción. La cuantía de retorno de condensados es inferior al 70% y la entalpía de retorno de condensado por el porcentaje de dicho retorno es de 220 kJ/kg, inferior al valor propuesto por la Guía de 316 kJ/kg. De acuerdo con esto, la expresión que se utilizará para la obtención del calor transferido a proceso es la siguiente:

$$H = \dot{m}_v \cdot (h_v - h_0) + H_{CALEFACCIÓN}$$

donde:

$\dot{m}_v$  Caudal del vapor entregado a proceso. Este valor procede directamente de medición, con los siguientes valores en cada periodo:

- Periodo 1: 19.872,0 t
- Periodo 2: 10.120,0 t
- Total año: 29.992,0 t

$h_v$  Entalpía del vapor entregado a proceso. De las mediciones de presión y temperatura se comprueba que este valor es de 2.789,9 kJ/kg.

$h_0$  Entalpía del agua en estado líquido a 80 °C y presión atmosférica (334,9 kJ/kg)

$H_{CALEFACCIÓN}$  Calor entregado en forma de calefacción. En el primer periodo supone una potencia de 1.600 kW durante 3.312 horas, mientras que en el segundo periodo supone una potencia de 50 kW durante 4.048 horas.

De este modo en cada uno de los dos periodos resulta el siguiente valor de H:

- Periodo 1: 18.850,8 MWh<sub>t</sub>
- Periodo 2: 7.103,7 MWh<sub>t</sub>
- Total año: 25.954,5 MWh<sub>t</sub>

Por otra parte, y según lo indicado en esta Guía, se calculan los valores de calor aportado por dispositivos diferentes a la cogeneración:

Parámetro	Unidades	Valor periodo 1	Valor periodo 2	Valor periodo anual	Cálculo
H <sub>no-CHP caldera</sub>	MWh <sub>t</sub>	5.586,4	0,0	5.586,4	F <sub>no-CHP,H caldera convencional</sub> · 90%

De este modo el calor útil aportado por la cogeneración se calcula mediante la expresión:

$$H_{CHP} = H - H_{no-CHP}$$

Resultando los siguientes valores:

- Calor útil periodo 1: 13.264,4 MWh<sub>t</sub>
- Calor útil periodo 2: 7.103,7 MWh<sub>t</sub>
- Calor útil total año: 20.368,1 MWh<sub>t</sub>

### C. Obtención de rendimientos mínimos, umbrales y de referencia

El valor de Ref E<sub>η</sub> se obtiene a partir del Anexo I de la DECISIÓN DE LA COMISIÓN de 21 de diciembre de 2006 (52,2% para gas natural), y corregido por el nivel de tensión de interconexión. En este caso el factor de corrección a aplicar es de 0,945 por lo que el valor final es de 49,6%. No es necesario realizar corrección por temperatura al poseer la ubicación de la planta un valor medio anual de 15 °C.

Por otra parte el valor de Ref H<sub>η</sub> se obtiene del Anexo II de la citada Decisión, resultando un valor para el gas natural del 90%.

El REE requerido por el RD 661/2007 es del 55%, mientras que el rendimiento global umbral propuesto por el Anexo II del RD 6167/2007 es del 75%.

En la tabla siguiente se resumen los valores obtenidos en este punto:

Rendimiento	Valor
Ref E <sub>η</sub>	49,6%
Ref H <sub>η</sub>	90%
REE <sub>mínimo</sub>	55%
η <sub>0</sub>	75%

### D. Cálculo de REE

De acuerdo a lo indicado en esta Guía el valor de REE se calcula mediante la siguiente expresión:

$$REE = \frac{E}{F_{CC} + F_{no-CHP, H \text{ postcombustión}} - \frac{H_{CHP} + H_{no-CHP \text{ postcombustión}}}{Ref H_{\eta}}} = 58,5\%$$

La planta posee un REE superior al REE<sub>min</sub>, de forma que facturará la energía eléctrica conforme al régimen especial y tendrá complemento por eficiencia.

### E. Cálculo de la electricidad de cogeneración (E<sub>CHP</sub>)

#### E.1. Cálculo del rendimiento global (η)

$$\eta = \frac{E + H_{CHP}}{F_{CC}} = \frac{44.601,6 + 20.368,1}{98.911,1} = 65,7\%$$

La planta posee un rendimiento global (η) inferior al rendimiento umbral η<sub>0</sub> establecido por el Anexo II del RD 616/2007, por lo que no toda la electricidad generada (E) es de cogeneración. De este modo, la electricidad de cogeneración tendrá la siguiente expresión:

$$E_{CHP} = C \cdot H_{CHP}$$

El valor del parámetro 'C' se haya certificado con el valor de 1,513 según prueba de prestaciones realizada a la planta de cogeneración en modo cogeneración total de acuerdo a lo indicado en el punto '4.4.' de la Guía.

#### E.3. Cálculo de la electricidad de cogeneración (E<sub>CHP</sub>)

El valor de la electricidad de cogeneración se calcula por la expresión conocida:

$$E_{CHP} = C \cdot H_{CHP} = 1,513 \cdot 20.368,1 = 30.819,4 \text{ MWh}_e$$

## F. Cálculo del ahorro de energía primaria

El valor del combustible de la cogeneración asociado al calor útil y a la electricidad de cogeneración es el siguiente:

$$F_{CHP} = F_{CC} - \frac{E_{no-CHP}}{\eta_E} = F_{CC} - \frac{E - E_{CHP}}{\frac{E}{F_{CC}}} = 98.911,1 - \frac{44.601,6 - 30.819,4}{\frac{44.601,6}{98.911,1}} = 68.347,0 \text{ MWh}$$

Los valores de rendimientos asociados al calor útil y la electricidad de cogeneración son los siguientes:

$$CHP H_{\eta} = \frac{H_{CHP}}{F_{CHP}} = \frac{20.368,1}{68.347,0} = 29,8\%$$

$$CHP E_{\eta} = \frac{E_{CHP}}{F_{CHP}} = \frac{30.819,4}{68.347,0} = 45,1\%$$

De este modo utilizando la fórmula del ahorro porcentual de energía primaria (PES):

$$PES = \left[ 1 - \frac{1}{\frac{CHP H_{\eta}}{Ref H_{\eta}} + \frac{CHP E_{\eta}}{Ref E_{\eta}}} \right] \cdot 100 = \left[ 1 - \frac{1}{\frac{29,8\%}{90\%} + \frac{45,1\%}{49,6\%}} \right] \cdot 100 = 19,3\%$$

La planta logra el PES requerido por la Directiva 2004/8/CE para ser considerada de alta eficiencia, por lo que tiene derecho a percibir garantías de origen por una cuantía de  $E_{CHP}$ .

## G. Fichas técnicas resumen

### Ficha técnica resumen de datos para el cálculo del REE

1. Datos generales					
Titular de la cogeneración <sup>1</sup>		Empresa			
Nombre de la cogeneración <sup>2</sup>		Caso ejemplo nº 5			
Provincia <sup>3</sup>	(provincia del caso ejemplo)	Municipio <sup>4</sup>	(municipio del caso ejemplo)		
Número de Registro administrativo régimen especial <sup>5</sup>		XXXXXXXXXX			
2. Datos tecnológicos					
Tecnología y tipo de ciclo <sup>6</sup>		Motor de combustión interna en ciclo simple			
Potencia eléctrica total <sup>7</sup> (kWe)		6.060			
Combustible(s) utilizado(s) en la cogeneración <sup>8</sup>		Gas natural			
Medio(s) transmisor(es) del calor al proceso <sup>9</sup>		Vapor de agua y agua caliente			
Descripción del proceso al cual la cogeneración aporta calor <sup>10</sup>					
Proceso de destilación que demanda vapor de agua, y calefacción de dependencias que demanda agua caliente					
¿Dispone la planta de dispositivos de postcombustión? <sup>11</sup>		No			
¿Dispone la planta energética de dispositivos de suministro de calor diferentes a la cogeneración y postcombustión? En caso afirmativo indíquelos <sup>12</sup>					
Si. Caldera convencional de aporte de vapor de agua					
3. Mediciones					
Periodo de medición <sup>13</sup>		1/enero/2007 - 31/diciembre/2007			
Combustibles consumidos <sup>14</sup>					
Por la cogeneración (MWh <sub>PCI</sub> )		98.911,1			
Por dispositivos de postcombustión (MWh <sub>PCI</sub> )		0,0			
Por otros equipos que aportan calor al proceso (MWh <sub>PCI</sub> )		6.207,1			
Energía eléctrica generada <sup>15</sup> (MWhe)		44.601,6			
Energía mecánica generada valorada como eléctrica <sup>16</sup> (MWh)		0,0			
Condiciones de entrega del calor a proceso <sup>17</sup>					
Vapor de agua <sup>18</sup>	Línea de aporte:		Vapor a proceso de destilación		
	Subperiodo	Vapor entregado		Retorno de condensados	
		Cantidad (t)	Entalpía (kJ/kg)	Cantidad (t)	Entalpía (kJ/kg)
	1	19.872	2.789,9	9.936	440
	2	10.120	2.789,9	5.060	440
TOTAL	29.992		14.996		
Fluido térmico <sup>19</sup>	Línea de aporte:		Agua caliente a calefacción		
	Subperiodo	Fluido entregado		Fluido de retorno	
		Cantidad (t)	Temperatura (°C)	Cantidad (t)	Temperatura (°C)
	1	502	91	502	83,7
	2	613	91	613	90,8
TOTAL	1.115		1.115		
Gas caliente <sup>20</sup>	Línea de aporte:		(no existe)		
	Subperiodo	Gas entrada equipo de secado		Gas salida equipo de secado	
		Cantidad (t)	Entalpía (kJ/kg)	Cantidad (t)	Entalpía (kJ/kg)
	1				
	2				
TOTAL	0		0		
4. Cálculo del calor útil					
Subperiodo	Calor total entregado a proceso <sup>21</sup> (MWh <sub>t</sub> )	Calor aportado por dispositivos de postcombustión <sup>22</sup> (MWh <sub>t</sub> )	Calor aportado por otros equipos <sup>22</sup> (MWh <sub>t</sub> )	Calor entregado a usos no económicamente justificables <sup>24</sup> (MWh <sub>t</sub> )	Calor útil procedente de cogeneración <sup>25</sup> (MWh <sub>t</sub> )
Subperiodo 1	18.850,8	0,0	5.586,4	0,0	13.264,4
Subperiodo 2	7.103,7	0,0	0,0	0,0	7.103,7
TOTAL	25.954,5	0,0	5.586,4	0,0	20.368,1
	Método de cálculo <sup>23</sup>	-	Valoración a partir del combustible utilizado		
5. Rendimiento eléctrico equivalente (REE)					
Calor útil cogeneración y postcombustión (MWh <sub>t</sub> )		20.368,1		Valor REE <sup>27</sup> (%)	
Combustible cogeneración y postcombustión (MWh <sub>PCI</sub> )		98.911,1			
Energía eléctrica y mecánica generada (MWhe)		44.601,6			
Rendimiento térmico referencia para cálculo REE <sup>26</sup> (%)		90,0%			
				58,5%	

**Ficha técnica resumen de datos para el cálculo de la electricidad de cogeneración y el ahorro porcentual de energía primaria**

1. Datos generales					
Titular de la cogeneración <sup>1</sup>			Empresa		
Nombre de la cogeneración <sup>2</sup>			Caso ejemplo nº 5		
Provincia <sup>3</sup>		(provincia caso ejemplo)	Municipio <sup>4</sup>		(municipio caso ejemplo)
Número de Registro administrativo régimen especial <sup>5</sup>					XXXXXXXXXXXX
2. Datos tecnológicos					
Tecnología y tipo de ciclo <sup>6</sup>			Motor de combustión interna en ciclo simple		
Potencia eléctrica total <sup>7</sup> (kWe)			6.060		
Combustible(s) utilizado(s) en la cogeneración <sup>8</sup>					
Gas natural					
Medio(s) transmisor(es) del calor al proceso <sup>9</sup>			Vapor de agua y agua caliente		
Descripción del proceso al cual la cogeneración aporta calor <sup>10</sup>					
Proceso de destilación que demanda vapor de agua, y calefacción de dependencias que demanda agua caliente					
¿Dispone la planta de dispositivos de postcombustión? <sup>11</sup>					No
¿Dispone la planta energética de dispositivos de suministro de calor diferentes a la cogeneración y postcombustión? En caso afirmativo indíquelos <sup>12</sup>					
Si. Caldera convencional de aporte de vapor de agua					
3. Mediciones					
Periodo de medición <sup>13</sup>			1/enero/2007 - 31/diciembre/2007		
Combustibles consumidos <sup>14</sup>					
Por la cogeneración (MWh <sub>PCI</sub> )					98.911,1
Por dispositivos de postcombustión (MWh <sub>PCI</sub> )					0,0
Por otros equipos que aportan calor al proceso (MWh <sub>PCI</sub> )					6.207,1
Energía eléctrica generada <sup>15</sup> (MWhe)					44.601,6
Energía mecánica generada valorada como eléctrica <sup>16</sup> (MWh)					0,0
Condiciones de entrega del calor a proceso <sup>17</sup>					
Vapor de agua <sup>18</sup>	Línea de aporte: Vapor a proceso de destilación				
	Subperiodo	Vapor entregado		Retorno de condensados	
		Cantidad (t)	Entalpía (kJ/kg)	Cantidad (t)	Entalpía (kJ/kg)
	1	19.872	2.789,9	9.936	440
	2	10.120	2.789,9	5.060	440
TOTAL	29.992		14.996		
Fluido térmico <sup>19</sup>	Línea de aporte: Agua caliente a calefacción				
	Subperiodo	Fluido entregado		Fluido de retorno	
		Cantidad (t)	Temperatura (°C)	Cantidad (t)	Temperatura (°C)
	1	502	91	502	83,7
	2	613	91	613	90,8
TOTAL	1.115		1.115		
Gas caliente <sup>20</sup>	Línea de aporte: (no existe)				
	Subperiodo	Gas entrada equipo de secado		Gas salida equipo de secado	
		Cantidad (t)	Entalpía (kJ/kg)	Entalpía (kJ/kg)	
	1				
	2				
TOTAL	0		0		
4. Cálculo del calor útil					
Subperiodo	Calor total entregado a proceso <sup>21</sup> (MWh <sub>t</sub> )	Calor aportado por dispositivos de postcombustión <sup>22</sup> (MWh <sub>t</sub> )	Calor aportado por otros equipos <sup>22</sup> (MWh <sub>t</sub> )	Calor entregado a usos no económicamente justificables <sup>24</sup> (MWh <sub>t</sub> )	Calor útil procedente de cogeneración <sup>25</sup> (MWh <sub>t</sub> )
Subperiodo 1	18.850,8	0,0	5.586,4	0,0	13.264,4
Subperiodo 2	7.103,7	0,0	0,0	0,0	7.103,7
TOTAL	25.954,5	0,0	5.586,4	0,0	20.368,1
	Método de cálculo <sup>23</sup>	-	Valoración a partir del combustible utilizado		

5. Cálculo de la electricidad de cogeneración ( $E_{CHP}$ )			
<b>Rendimiento global</b>			
Calor útil cogeneración $H_{CHP}$ (MWh <sub>t</sub> )	20.368,1	Rendimiento global <sup>26</sup> $\eta$ (%) 65,7%	
Combustible cogeneración $F_{CC}$ (MWh <sub>PCI</sub> )	98.911,1		
Energía eléctrica y mecánica generada $E$ (MWh <sub>e</sub> )	44.601,6		
Rendimiento umbral $\eta_0$ <sup>27</sup> (%)	75%		
<b>Factor C<sup>28</sup></b>			
Método de cálculo <sup>29</sup>	Energía/potencia eléctrica en cogeneración total <sup>30</sup> ( $E_{CT}$ )	Calor/potencia térmica en cogeneración total <sup>31</sup> ( $H_{CT}$ )	Valor factor C <sup>32</sup>
Mediante valores medidos de potencia en una prueba puntual en cogeneración total	6.060,0	4.005,0	1,513
Fecha de la prueba puntual en modo cogeneración total <sup>33</sup>	28-oct-06		
Electricidad de cogeneración $E_{CHP}$ <sup>34</sup> (MWh <sub>e</sub> )		30.819,4	
6. Cálculo ahorro porcentual de energía primaria (PES)			
<b>Combustible asociado al calor útil y electricidad de cogeneración</b>			
Energía eléctrica no de cogeneración $E_{no-CHP}$ <sup>35</sup> (MWh <sub>e</sub> )	13.782,2	Valor $F_{CHP}$ <sup>38</sup> (MWh <sub>PCI</sub> ) 68.347	
Rendimiento eléctrico <sup>36</sup> (%)	45,1%		
Factor de pérdidas $\beta$ <sup>37</sup>	0,00		
<b>Rendimientos</b>			
Rendimiento eléctrico asociado a la electricidad de cogeneración <sup>39</sup> (%)	45,1%		
Rendimiento térmico asociado al calor útil <sup>40</sup> (%)	29,8%		
Rendimiento eléctrico de referencia <sup>41</sup> (%)	49,6%		
Rendimiento térmico de referencia para cálculo de PES <sup>42</sup> (%)	90,0%		
Ahorro de energía primaria <sup>43</sup> (PES)	19,37%		



## Caso 6. Ciclo de secado con turbina de gas

### A. Características de la planta

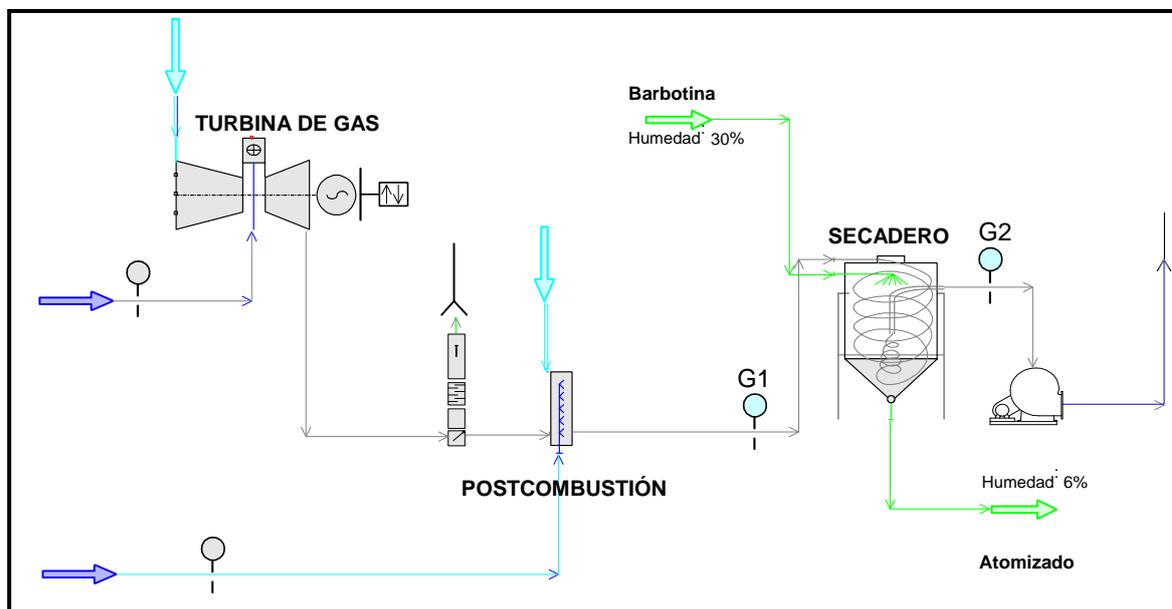
#### A.1. Datos técnicos

- Potencia eléctrica nominal 6.750 kW<sub>e</sub>
- Tipo de combustible gas natural
- Tensión de interconexión 0,4 - 50 kV
- Temperatura anual media 15 °C
- Disponibilidad de la cogeneración 95%
- La planta dispone de caldera de apoyo

#### A.2. Datos operacionales

- Horas de funcionamiento de la fábrica: 8.000 h/año
- Horas de funcionamiento de la cogeneración: 7.600 h/año
- Toda la electricidad es consumida *in situ*
- Periodos de operación:
  - Periodo 1. 25,19 kg/s de gases calientes transferidos a secadero a 495,2 °C. Temperatura de salida de secadero de 105 °C. Se produce el secado de barbotina a un caudal de 51,6 t/h con un 30% de humedad hasta un 6% de humedad. Supone el 80% del tiempo de operación
  - Periodo 2. 25,23 kg/s de gases calientes transferidos a secadero a 561,2 °C. Temperatura de salida de secadero de 104,6 °C. Se produce el secado de barbotina a un caudal de 61,3 t/h con un 30% de humedad hasta un 6% de humedad. Supone el 20% del tiempo de operación

#### A.3. Esquema de la cogeneración



## B. Mediciones y cálculo del calor útil

### B.1. Mediciones de combustible y electricidad

Los valores medidos de combustible y electricidad son los siguientes:

Parámetro	Unidades	Periodo 1	Periodo 2	Valor periodo anual
F (combustible total)	MWh <sub>PCI</sub>	126.246,3	34.601,6	160.847,9
F <sub>CC</sub> (combustible consumido por la cogeneración)	MWh <sub>PCI</sub>	126.246,3	31.561,6	157.807,9
F <sub>no-CHP,H postcombustión</sub>	MWh <sub>PCI</sub>	0,0	3.040,0	3.040,0
E (electricidad generada)	MWh <sub>e</sub>	41.040,0	10.260,0	51.300,0

### B.2. Cálculo del calor útil (H<sub>CHP</sub>)

En este caso se aplicará la siguiente fórmula para el cálculo del calor entregado a proceso:

$$H = \dot{m} \cdot (h_1 - h_2)$$

donde:

$\dot{m}$  Caudal de gas caliente entregado por la turbina de gas al secadero. Este valor procede de los datos medidos en planta, y son los siguientes para cada periodo:

- *Periodo 1:* 551.358,7 t
- *Periodo 2:* 138.058,5 t
- *Total año:* 689.417,3 t

$h_1$  Entalpía del gas caliente de entrada a secadero. Este valor se ha calculado por la siguiente fórmula indicada en esta Guía a partir de la temperatura:

$$h_1 = [C_{pm}]_0^T \cdot T_1 = (0,9952 + 92,1 \cdot 10^{-6} \cdot T_1) \cdot T_1$$

donde  $T_1$  ha de expresarse en °C, y  $h$  resulta en kJ/kg. El valor de la temperatura de entrada es de 495,2°C y 561,2°C para los periodos 1 y 2 respectivamente, resultando un valor de  $h_1$  de 515,4 kJ/kg y 587,5 kJ/kg para los periodos 1 y 2 respectivamente.

$h_2$  Entalpía del gas de salida de secadero. Este valor se ha calculado de la misma forma que la antes indicada. De este modo, teniendo en cuenta que el valor de la temperatura de salida para cada periodo es de 105°C y 104,6°C, resultando valores de  $h_2$  de 105,5 kJ/kg y 105,1 kJ/kg para los periodos 1 y 2 respectivamente.

De este modo en cada uno de los dos periodos resulta el siguiente valor de H:

- *Periodo 1:* 62.777,8 MWh<sub>t</sub>
- *Periodo 2:* 18.500,1 MWh<sub>t</sub>
- *Total año:* 81.277,9 MWh<sub>t</sub>

Por otra parte, y según lo indicado en esta Guía, se calculan los valores de calor aportado por dispositivos diferentes a la cogeneración:

Parámetro	Unidades	Valor periodo 1	Valor periodo 2	Valor periodo anual	Cálculo
H <sub>no-CHP postcombustión</sub>	MWh <sub>t</sub>	0,0	2.492,8	2.492,8	F <sub>no-CHP,H caldera convencional</sub> · 90%

De este modo el calor útil aportado por la cogeneración se calcula mediante la expresión:

$$H_{CHP} = H - H_{no-CHP}$$

Resultando los siguientes valores:

- Calor útil periodo 1: 62.777,8 MWh<sub>t</sub>
- Calor útil periodo 2: 16.007,3 MWh<sub>t</sub>
- Calor útil total año: 78.785,1 MWh<sub>t</sub>

### C. Obtención de rendimientos mínimos, umbrales y de referencia

El valor de Ref E<sub>η</sub> se obtiene a partir del Anexo I de la DECISIÓN DE LA COMISIÓN de 21 de diciembre de 2006 (52,2% para gas natural), y corregido por el nivel de tensión de interconexión. En este caso el factor de corrección a aplicar es de 0,925 por lo que el valor final es de 48,6%. No es necesario realizar corrección por temperatura al poseer la ubicación de la planta un valor medio anual de 15 °C.

Por otra parte el valor de Ref H<sub>η</sub> se obtiene del Anexo II de la citada Decisión. El valor de temperatura de gases de entrada al secadero en todo caso es superior a 250°C, por lo que según la Decisión han de emplearse los valores de calor directo. De este modo resulta un valor para el gas natural del 82%.

El REE requerido por el RD 661/2007 es del 59%, mientras que el rendimiento global umbral propuesto por el Anexo II del RD 6167/2007 es del 75%.

En la tabla siguiente se resumen los valores obtenidos en este punto:

Rendimiento	Valor
Ref E <sub>η</sub>	48,6%
Ref H <sub>η</sub>	82%
REE <sub>mínimo</sub>	59%
η <sub>0</sub>	75%

### D. Cálculo de REE

De acuerdo a lo indicado en esta Guía el valor de REE se calcula mediante la siguiente expresión:

$$REE = \frac{E}{F_{CC} + F_{no-CHP, H \text{ postcombustión}} - \frac{H_{CHP} + H_{no-CHP \text{ postcombustión}}}{Ref H_{\eta}}} = 83,1\%$$

La planta posee un REE superior al REE<sub>min</sub>, de forma que facturará la energía eléctrica conforme al régimen especial y tendrá complemento por eficiencia.

### E. Cálculo de la electricidad de cogeneración (E<sub>CHP</sub>)

El rendimiento global de la planta es el siguiente:

$$\eta = \frac{E + H_{CHP}}{F_{CC}} = \frac{51.300 + 78.785,1}{157.807,9} = 82,4\%$$

La planta posee un rendimiento global (η) superior al rendimiento umbral η<sub>0</sub> establecido por el Anexo II del RD 616/2007, por lo que toda la electricidad generada (E) es de cogeneración. De este modo:

$$E_{CHP} = E = 51.300,0 MWh_e$$

### F. Cálculo del ahorro de energía primaria

En este caso, al ser E<sub>CHP</sub> igual a E, el valor de E<sub>no-CHP</sub> es nulo. De este modo:

$$F_{CHP} = F_{CC} = 157.807,9 MWh$$

Los valores de rendimientos asociados al calor útil y la electricidad de cogeneración son los siguientes:

$$CHP H_{\eta} = \frac{H_{CHP}}{F_{CHP}} = \frac{78.785,1}{157.807,9} = 49,9\%$$

$$CHP E_{\eta} = \frac{E_{CHP}}{F_{CHP}} = \frac{51.300}{157.807,9} = 32,5\%$$

De este modo utilizando la fórmula del ahorro porcentual de energía primaria (PES):

$$PES = \left[ 1 - \frac{1}{\frac{CHP H_{\eta}}{Ref H_{\eta}} + \frac{CHP E_{\eta}}{Ref E_{\eta}}} \right] \cdot 100 = \left[ 1 - \frac{1}{\frac{49,9\%}{82\%} + \frac{32,5\%}{48,6\%}} \right] \cdot 100 = 21,7\%$$

La planta logra el PES requerido por la Directiva 2004/8/CE para ser considerada de alta eficiencia, por lo que tiene derecho a percibir garantías de origen por una cuantía de  $E_{CHP}$ .