

SUSTITUCION de Calderas Industriales de Fuel por Calderas de Madera

La revista francesa «Le bois» publica, dentro de un número dedicado exclusivamente al estudio de la madera como fuente de energía, un examen de las condiciones económicas, en las cuales puede tenerse en consideración la utilización de madera, procedente de repoblados y de claras, como materia prima de las calderas industriales, en sustitución de los combustibles clásicos.

Dos ejemplos tipos se examinan:

- Caso de calderas con potencial útil de 1.750 Kw en la que el combustible clásico es el fuel doméstico.
- Caso de calderas con potencia útil de 5.800 Kw en la que el combustible clásico es el fuel pesado.

Para cada uno de estos casos se ha intentado apreciar la rentabilidad de la inversión de una calde-

ra industrial de aprovechamiento de madera, teniendo en cuenta los costos del Kw. útil cuando se usa el combustible tradicional: C_{Kw_T} ; los sobrecostos de la explotación de la caldera de madera C_E ; y los sobrecostos de amortización por la sustitución de calderas C_A . Cada vez que los costos del Kw. útil cuando se usa madera C_{Kw_M} presenta la siguiente desigualdad

$$C_{Kw_M} \leq C_{Kw_T} - C_E - C_A$$

será interesante la instalación de una caldera industrial de aprovechamiento de madera.

Aunque los ejemplos son aplicados a las circunstancias francesas, creemos que pueden ser bastante indicativos para el caso de España o por lo menos ser ejemplo de cálculo para el caso concreto en que se estudie su posible aplicación.

Caso de una caldera de 1.750 Kw.

1.º Cálculo del costo del Kwh útil usando fuel doméstico C_{Kw_T}

El costo del fuel doméstico es de 17,50 pesetas/litro (*) como su densidad es de 0,84 Kg/litro, resulta un valor de 14.700 ptas./Tn.

El poder calorífico inferior de fuel doméstico es de

$$10.100 \frac{\text{cal.}}{\text{gr.}} = 11.716 \frac{\text{Kwh}}{\text{Tn}}$$

El rendimiento de una caldera de fuel es del 82%

luego

$$C_{Kw_T} = \frac{14.700 \text{ ptas./Tn}}{0,82 \times 11.716 \frac{\text{Kwh}}{\text{Tn}}} = 1,5301 \text{ pts./Kwh útil}$$

2.º Cálculo del sobrecosto de explotación C_E

Se examinaron dos casos, según el número de horas al año que funcione la caldera

a) Caso en que la caldera funcione 3.000 h/año (corresponde al suministro de calefacción única-mente)

Los costos se descomponen de la forma siguiente:

— Personal:

Trabajando 8 h/día durante 250 días/año resultan 2.000 h/año por lo que se necesita 1,5 hombres que cobrarán 650.000 ptas./año por lo que los costos de personal suponen

975.000 ptas./año

— Mantenimiento complementario (ventilación, alimentación, parrilla)

480.000 ptas./año

— Sobrecosto de electricidad para la alimentación automática y el ventilador de extracción 25 Kwh × 3.000 horas × 2,8 ptas./Kwh . . .

210.000 ptas./año

Total 1.665.000 ptas./año

(*) Precios de combustible y electricidad actualizados a 8 y 19 de enero de 1980.

Luego $C_E = \frac{1.665.000}{1.750 \text{ Kw} \times 3.000 \text{ h/año}} = 0,3171 \text{ pts./Kwh}$

b) Caso en que la caldera funcione 6.000 h/año (calefacción y producción de vapor de uso industrial)

Los costos serán:

| | |
|-------------------------------------|--------------------|
| — Personal | 1.950.000 pts./año |
| — Mantenimiento | 400.000 pts./año |
| — Sobrecosto electricidad | 420.000 pts./año |
| Total | 2.770.000 pts./año |

luego $C_E = \frac{2.770.000}{1.750 \text{ Kw} \times 6.000 \text{ h/año}} = 0,2638 \text{ pts./Kw/h}$

3.º Sobrecostos de amortización C_A

Los costos de inversión de las calderas para madera y fuel son los siguientes:

Caldera de madera

| | |
|---|----------------|
| Hogar | 3.500.000 pts. |
| Alimentación automática, eliminador de cenizas y tiro | 3.500.000 pts. |
| Ingeniería civil y electricidad | 2.650.000 pts. |
| Total | 9.650.000 pts. |

Caldera de fuel doméstico

| | |
|---|----------------|
| Caldera y quemador | 2.000.000 pts. |
| Ingeniería civil y equipamientos anexos | 1.400.000 pts. |
| Total | 3.400.000 pts. |

El sobrecosto de la inversión será por tanto de 6.250.000 pts.

Los sobrecostos de amortización serán:

$$C_A = K \frac{A}{Q} \text{ siendo,}$$

K: coeficiente de actualización que es $\sum_{i=1}^n \frac{1}{(1+i)^n}$

siendo

i = tasa de actualización (interés)
n = número de años sobre los que se efectúa la amortización
A: montante de la inversión a amortizar
Q: cantidad anual de energía útil producida

— Para el cálculo del coeficiente K se ha tenido en cuenta las siguientes variaciones:

Tasa de actualización del 9% (la aconsejada en Francia por la Comisaría General del Plan) y del 15% (tasa media utilizada en cálculos de rentabilidad de empresas).

Años de amortización de 5 y 10.

Según todas estas variaciones el valor de K será el siguiente:

| | | |
|-------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| $\frac{i/n}{9\%}$ | $\frac{5 \text{ años}}{0,257}$ | $\frac{10 \text{ años}}{0,156}$ |
| 15% | 0,3 | 0,2 |

— Para el cálculo del valor A se pueden dar los siguientes casos:

Que sea sólo el sobrecoste de la caldera de madera por no existir la caldera de fuel o por tener que sustituir ésta por necesidad.

Que sea el valor total de la caldera de madera para el caso en que el industrial ya dispusiera de la caldera de fuel y no necesitase sustituirla.

Los casos anteriores pero acogiendo a ayudas Estatales (en Francia la Agencia para la Economía de la Energía ayuda con un 20%)

Por tanto, los valores de A pueden ser los siguientes:

| | a sobrecosto | a costo total |
|------------------------|--------------|-----------------|
| Sin ayuda | 6.250.000 | 9.650.000 ptas. |
| Con ayuda del 20%..... | 5.000.000 | 7.720.000 Ptas. |

— El valor de Q depende del número de horas de funcionamiento de la caldera:

| | |
|------------------------------------|--|
| Para 3.000 h/año de funcionamiento | $Q = 1.750 \text{ Kw} \times 3.000 \text{ h/año} = 5,25 \times 10^6 \text{ Kwh/año}$ |
| Para 6.000 h/año de funcionamiento | $Q = 1.750 \text{ Kw} \times 6.000 \text{ h/año} = 10,5 \times 10^6 \text{ Kwh/año}$ |

De acuerdo con las hipótesis hechas, los sobrecostos relativos a la amortización podrán tomar un total de 32 valores diferentes, que no exponemos por razón de espacio, pero que estarán comprendidos entre los siguientes valores extremos:

Valor más favorable:

Caso de $i = 9\%$ $n = 10$ años con sobrecosto primado y funcionamiento 6.000 h/año

$$C_A = 0,156 \times \frac{5 \times 10^6}{10,5 \times 10^6} = 0,0743 \text{ pts/Kwh útil}$$

Valor más desfavorable:

Caso de $i = 15\%$ $N = 5$ años a coste total sin ayudas y funcionando 3.000 h/año

$$C_A = 0,3 \times \frac{9,65 \times 10^6}{5,25 \times 10^6} = 0,5514 \text{ pts/Kwh útil}$$

A la vista de los resultados obtenidos con C_{KW_T} , C_E y C_A se obtendrán los valores máximos del costo de Kw/h útil utilizando calderas de aprovechamiento de madera.

Los valores extremos de C_{KW_M} serán los siguientes:

Valor más favorable:

$$C_{KW_M} \leq 1,5301 - 0,2638 - 0,0743 = 1,192 \text{ pts/Kwh útil}$$

Valor más desfavorable:

$$C_{KW_M} \leq 1,5301 - 0,3171 - 0,5514 = 0,6616 \text{ pts/Kwh útil}$$

Estos valores del Kwh corresponden a los siguientes valores de la tonelada de madera:

El poder calorífico medio de la madera anhidra es de 4.500 cal/gr. variando muy poco de una madera a otra, pero variando mucho con el contenido de humedad de la madera, ya que una parte del valor calorífico de la madera se invierte en evaporar ese agua. Esta variación del poder calorífico se aproxima bastante a la siguiente función matemática:

$$P = \frac{4.500 - 600 h}{1 + h}$$

Si suponemos que la madera que entra en la caldera tiene una humedad media del 25% el poder calorífico de esa madera será de sólo 3.480 cal/gr., pero estas calorías no se aprovechan totalmente en la caldera sino que existen unas pérdidas que dependen también de la humedad de la madera. Este rendimiento de las calderas en función de la humedad se expuso en el Boletín de A.I.T.I.M. número 96, página 28. Para una humedad de la madera del 25% el rendimiento aproximado será del 77%.

Por tanto, el poder calorífico útil de esa madera será de $3,480 \text{ cal/gr.} \times 0,77 = 2.680 \text{ cal/gr.} = 2.680 \times 10^6 \text{ cal/Tn} = 3.110 \text{ Kwh útiles/Tn.}$

Caso más favorable:

Como las necesidades de energía anual son de $10,5 \times 10^6 \text{ Kwh}$ se necesitarían 3.376 Tn anuales de madera con un valor máximo de

$$1,192 \times 3.110 = 3.707 \text{ pts/Tn de madera}$$

Caso más desfavorable:

Como las necesidades de energía anual son de $5,25 \times 10^6 \text{ Kwh}$ se necesitarán

$$\frac{5,25 \times 10^6}{3.110} = 1.688 \text{ Tn anuales de madera}$$

con un valor máximo de

$$0,6616 \times 3.110 = 2.057,6 \text{ pts/Tn de madera}$$

Por tanto, siempre que el valor de la madera, a pie de caldera, sea inferior a 2.057,6 pts/Tn de madera será rentable la sustitución de la caldera de fuel por otra de madera.

Cuando el valor de la madera esté comprendido entre 2.057,6 y 3.707 pts/Tn dependerá de las circunstancias el que sea rentable la sustitución de la caldera.

Y cuando el valor de la madera sea superior a 3.707 pts/Tn no será rentable tal sustitución.

— Caso de una caldera de 5.800 Kw.

1.º Cálculo del costo del Kwh útil usando fuel pesado: C_{KW_T}

El costo medio de la tonelada de fuel pesado es de 11.000 pts/Tn.

El poder calórico inferior del fuel pesado es de 9.750 cal/gr = 11.310 Kwh/Tn.

El rendimiento de la caldera de fuel es del 82%

luego

$$C_{KW_T} = \frac{11.000 \text{ pts/Tn}}{0,82 \times 11.310 \text{ Kwh/Tn}} = 1,1861 \text{ pts/Kwh útil}$$

2.º Cálculo del sobrecosto de explotación C_E

a) Caso en que la caldera funcione 3.000 h/año
Los costos serán:

| | |
|--|--------------------------|
| — Personal 2,5 personas × × 650.000 pts. pers./año . . . | 1.625.000 pts/año |
| — Mantenimiento | 880.000 pts/año |
| — Electricidad 50 Kwh × 3.000 h/año × 2,8 pts/kwh | 420.000 pts/año |
| Total | <u>2.925.000 pts/año</u> |

luego

$$C_E = \frac{4.970.000}{5.800 \text{ Kw} \times 6.000 \text{ h/año}} = 0,1428 \text{ pts/Kwh}$$

3.º Cálculo del sobrecosto de amortización

Los costos de inversión de las calderas para madera y fuel son los siguientes:

Caldera de madera

| | |
|---|------------------------|
| Hogar | 5.200.000 pts. |
| Alimentación automática, eliminador de cenizas y tiro | 4.200.000 pts. |
| Ingeniería civil y electricidad | <u>5.280.000 pts.</u> |
| Total | <u>15.480.000 pts.</u> |

Caldera de fuel

| | |
|---|-----------------------|
| Quemador | 3.875.000 pts. |
| Ingeniería civil y equipamientos anexos | <u>2.125.000 pts.</u> |
| Total | <u>6.000.000 pts.</u> |

Sobrecosto de la inversión: 9.480.000 pts.

Los sobrecosto de amortización serán al igual que en el ejemplo anterior:

$$C_A = K \frac{A}{Q}$$

Los valores de K son los mismos que en el ejemplo anterior

Los valores de A pueden ser los siguientes:

| | a sobrecosto | a costo total |
|-----------------------------|--------------|------------------|
| Sin ayuda | 9.480.000 | 15.480.000 Ptas. |
| Con ayuda del 20% | 7.584.000 | 12.884.000 Ptas. |

Y los valores de Q:

Para 3.000 h/año de funcionamiento

$$Q = 5.800 \text{ Kw} \times 3.000 \text{ h/año} = 17,4 \times 10^6 \text{ Kwh/año}$$

Para 6.000 h/año de funcionamiento

$$Q = 5.800 \text{ Kw} \times 6.000 \text{ h/año} = 34,8 \times 10^6 \text{ Kwh/año}$$

De todas las hipótesis hechas resultan 32 valores diferentes de sobrecostos de amortización comprendidos entre los siguientes valores extremos:

Valor más favorable

Caso de $i = 9\%$ $n = 10$ años con sobrecosto primado y funcionamiento 6.000 h/año

$$C_A = 0,156 \times \frac{7,584 \times 10^6}{34,8 \times 10^6} = 0,0340 \text{ pts/Kwh útil}$$

Valor más favorable

Caso de $i = 15\%$ $n = 5$ años a costo total sin ayudas y funcionando 3.000 h/año

$$C_A = 0,3 \times \frac{15,48 \times 10^6}{17,4 \times 10^6} = 0,2669 \text{ pts/Kwh útil}$$

A la vista de los resultados obtenidos con C_{KW_T} , C_E y C_A los valores extremos de C_{KW_M} (Costo de Kwh útil utilizando como combustible madera) serán

Valor más favorable

$$C_{KW_M} \leq 1,1861 - 0,1428 - 0,0340 = 1,0093 \text{ pts/Kwh}$$

Valor más desfavorable

$$C_{KW_M} \leq 1,1861 - 0,1681 - 0,2669 = 0,7511 \text{ pts./Kwh}$$

Estos valores de C_{KW_M} supone los siguientes valores de la tonelada de madera, para los mismos supuestos anteriores:

Valor más favorable

$$\text{Costo de la Tn de madera } 1,0093 \times 3.110 = 3.139 \text{ pts/Tn de madera.}$$

Valor más desfavorable

$$\text{Costo de la Tn de madera } 0,7511 \times 3.110 = 2.336 \text{ pts/Tn de madera.}$$

Por tanto, si el valor de la madera a pie de la caldera es inferior a 2.336 pts/Tn será siempre conveniente la sustitución de la caldera de fuel por la de madera.

Para un valor de la madera comprendido entre 2.336 pts/Tn y 3.139 pts/Tn dependerá de las circunstancias la sustitución de la caldera, y para un valor de la madera superior a 3.139 pts/Tn no será nunca rentable la sustitución de la caldera de fuel,

Como se ha visto, los valores necesarios de la madera, para que la sustitución de la caldera de fuel sea posible, no son valores muy difíciles de obtener en España, sobre todo si esta madera es obtenida de repoblados o de claras, cuyo valor es bastante pequeño, o bien se aprovechan aquellas especies que por su tamaño o características no tienen aplicación industrial (rebollo, quejigo...). Por tanto, en España, es bastante posible, la sustitución de calderas de fuel por calderas de madera.