

Tema 3: Rendimiento Energético de una caldera

FÓRMULAS ESTEQUIOMÉTRICAS

Gasto de Nitrógeno:

$$W_{N_2} = \left[\left(\frac{28,02 \times N_2}{12,01 \times (CO_2 + CO)} \right) \times \left(C + \frac{12,01 \times S}{32,07} \right) \right] / 100$$

donde:

W_{N_2} : Gasto de nitrógeno, kgN₂/kg cq

N_2 : Nitrógeno en los gases de escape, %

CO_2 : Bióxido de carbono en los gases de escape, %

CO : Monóxido de carbono en los gases de escape, %

C : Carbono en el combustible, %

S : Azufre en el combustible, %

Gasto de Aire:

$$W_a = \left(\frac{W_{N_2} - N_2}{100} \right) / 0,7685$$

Donde:

W_a : Gasto de aire seco, [kg as/ kg comb]

W_{N_2} : Gasto de nitrógeno, [kgN₂/ kg comb]

N_2 : Nitrógeno en el combustible, %

Gasto de Gases de Combustión:

$$W_g = \frac{\left[(44,01 \times CO_2 + 32 \times O_2 + 28,02 \times N_2 + 28,01 \times CO) \times \left(C + \frac{12,01 \times S}{32,07} \right) \right]}{12,01 \times (CO + CO_2) / 100}$$

donde:

W_g : Gasto de gases secos, kg gas/ kg cq

CO_2 : Bióxido de carbono en los gases de escape, %

O_2 : Oxígeno en los gases de escape, %

N_2 : Nitrógeno en los gases de escape, %

C : Carbono en el combustible, %

S : Azufre en el combustible, %

CO : Monóxido de carbono en los gases de escape, %

Aire estequiométrico:

$$A_t = \frac{\left[(11,51 \times C) + 34,3 \times \left(H - \frac{O}{7,937} \right) + 4,335 \times S \right]}{100}$$

donde:

A_t : Aire teórico (estequiométrico), kg as/kg cq

C : Carbono en el combustible, %

H : Hidrógeno en el combustible, %

S : Azufre en el combustible, %

Exceso de aire:

$$E_a = \frac{100 \times \left(O_2 - \frac{CO}{2} \right)}{\left[0,2682 \times N_2 - \left(O_2 - \frac{CO}{2} \right) \right]}$$

donde:

E_a : Exceso de aire, %

CO: Monóxido de carbono en los gases de escape, %

O₂: Oxígeno en los gases de escape, %

N₂: Nitrógeno en los gases de escape, %

Poder comburívoro: Es la cantidad de aire seco mínima, medida en condiciones normales ($T^a = 0\text{ }^\circ\text{C}$ y $P = 1\text{ atm}$), necesaria para la combustión completa y estequiométrica de la unidad de combustible.

Unidades habituales: Nm³/kg combustible, Nm³/Nm³ combustible. Es un parámetro que depende únicamente de la composición del combustible, por lo que puede tabularse con facilidad.

Poder fumígeno: Es la cantidad de productos de la combustión (Nm³) que se producen en la combustión estequiométrica de la unidad de combustible. Si se considera, o no, el vapor de agua existente en los productos de la combustión, se tienen los poderes fumígenos húmedo y seco, respectivamente.

BALANCE DE ENERGÍA DE UNA CALDERA

Calor entrante:

1. Calor sensible del combustible (Q_c):

$$Q_c = c_c \cdot (t_c - t_a) [1]$$

Donde:

c_c = Calor específico del combustible [kcal/Ud. de combustible]

t_c = Temperatura de precalentamiento del combustible [$^\circ\text{C}$]

t_a = Temperatura ambiente [$^\circ\text{C}$]

2. Calor de combustión (Q_{co}):

$$Q_{co} = PCI \text{ [kcal/Ud. de combustible]}$$

3. Calor del aire de combustión (Q_a):

$$Q_a = W_a \cdot c_{pa} \cdot \Delta t [2]$$

Donde:

Δt = de temperaturas del aire a quemadores y ambiente [$^\circ\text{C}$]

c_{pa} = Calor específico del aire [kcal/kg aire $^\circ\text{C}$] = **0.24 kJ/(kg $^\circ\text{C}$)**

W_a = [kg aire/ Ud. de combustible]

4. Calor del fluido de entrada (Q_{fe})

$$Q_{fe} = \frac{h_{fe} \times C_a}{b}$$

Donde

h_{fe} = Entalpía del fluido de entrada [kcal/kg]

C_a = caudal del agua de alimentación a caldera (kg/h)

b = consumo horario de combustible

Calor saliente:

1. Calor del fluido de salida (Q_{fs}):

$$Q_{fs} = \frac{h_{fs} \times P_v}{b}$$

Donde

h_{fs} = Entalpía del fluido de salida [kcal/kg]

$P_v =$ Producción de vapor (kg / h)
 $b =$ consumo horario de combustible

2. Calor de los humos (Q_H)

Es la responsable de la denominada *pérdida por humos*. Cuanto más elevada es la temperatura de escape menor es el aprovechamiento energético. Sin embargo, dependiendo del combustible utilizado hay un límite inferior de temperatura del que no se puede descender para evitar la aparición de condensaciones y rocíos que den lugar a sustancias corrosivas (generalmente ácido sulfúrico). Las pérdidas por humos son especialmente significativas en las calderas estándar y menores en las de baja temperatura y de condensación. El motivo principal de una salida de humos elevada es la acumulación de suciedad en el interior de la caldera que impide un intercambio eficaz de calor.

Estas pérdidas dependen fundamentalmente de los siguientes factores:

- La temperatura de los humos, o mejor dicho, la diferencia de temperatura entre la de los humos y la del aire comburente.
- El calor específico de los humos.
- El exceso de aire empleado en la combustión, que se manifiesta en el porcentaje de CO_2 en los humos y afecta al caudal másico o volumétrico de los mismos.

Estas pérdidas suelen estar comprendidas entre el 6 y el 10% de la potencia nominal, incrementándose notablemente este valor en caso de mantenimiento deficiente.

El cálculo de estas pérdidas puede efectuarse con una de estas ecuaciones:

$$P_h = \frac{\dot{m} \cdot c_{pm} \cdot \Delta T}{F \cdot PCI} \quad \text{o} \quad P_h = \frac{\dot{V} \cdot c_{pv} \cdot \Delta T}{F \cdot PCI}$$

donde:

P_h : Pérdidas en humos (%)

m : Caudal másico de los humos (kg/s)

v : Volumen másico de los humos (m^3/s)

c_{pm} : Calor específico de los humos (kJ/kg °C)

c_{pv} : Calor específico de los humos (kJ/ m^3 °C)

$\Delta T = T_h - T_a$ (°C)

T_h : Temperatura de los humos a la salida de la caldera (°C)

T_a : Temperatura del aire ambiente de la sala de calderas (°C)

F : Consumo de combustible (kg/h)

PCI : Poder calorífico inferior del combustible (kJ/kg)

El **consumo horario del combustible** de una caldera depende de la potencia de la caldera, del poder calorífico inferior del combustible y del rendimiento de la caldera y se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$C_e = \frac{Q_0}{PCI \cdot \eta}$$

C_e : Consumo de combustible por hora (m^3/h)

PCI : Poder calorífico inferior del combustible (kWh/ m^3)

η : Rendimiento de la caldera

Q_0 : Potencia caldera

3. Inquemados (Q_i)

Las pérdidas de calor por inquemados (q_i) son las debidas principalmente por el carbono que no se ha quemado y que en combinación con el oxígeno forma CO . Para su determinación podemos aplicar la fórmula siguiente:

$$Q_{ig} = \frac{21}{21 - [O_2]} \left(\frac{[CO]}{3.100} + \frac{[CH]}{1.000} \right)$$

Donde:

$[O_2]$ = Concentración de O_2 en los humos (%)

$[CO]$ = Concentración de CO en los humos (ppm)

$[CH]$ = Concentración de CH en los humos (ppm)

4. Calor por radiación (Q_r)

Las pérdidas de calor a través del cuerpo de la caldera tienen lugar siempre por conducción, convección y radiación. Las pérdidas por conducción se producen en los apoyos de la caldera. Normalmente no se toman en consideración debido a su escasa entidad.

Las pérdidas por convección y radiación se producen a través de la envolvente de la caldera y dependen de los siguientes factores:

- La temperatura media del agua en la caldera.
- La temperatura del aire de la sala de máquinas, en cuanto que afecta a las pérdidas por convección.
- La temperatura de los cerramientos de la sala de máquinas, que afecta a las pérdidas por radiación.
- Las características de la caldera en lo referente al espesor y conductividad térmica del material aislante del cuerpo y la superficie del mismo.

El valor instantáneo de estas pérdidas se determina por vía experimental. A una temperatura constante e igual a 80 °C, en calderas estándar este valor de pérdidas está entre el 1,5 y el 5%, y en calderas de baja temperatura y condensación entre un 0,5 y un 2%. En ambos casos el desplazamiento por el intervalo dado es inversamente proporcional a la potencia de la caldera, es decir, el valor de las pérdidas por convección y radiación disminuye al aumentar la potencia de la caldera.

El calor perdido por radiación se calcula midiendo la temperatura y la superficie de la caldera, distinguiendo paredes verticales y horizontales hacia arriba y hacia abajo.

$$q_{rc} = \frac{\alpha \cdot S \cdot \Delta t}{P_c}$$

En donde:

α = coeficiente de transmisión de calor 10 ÷ 12 kcal/m². h. °C.

S = superficie exterior del contorno de la caldera en cm².

Δt = diferencia de temperatura superficial media de la superficie exterior de la caldera y de la temperatura ambiente de la sala caldera en °C.

P_c = potencia quemada por el combustible en kcal/h.

RENDIMIENTO O EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA CALDERA

Para exponer la forma de determinar el rendimiento energético de una caldera recurrimos al símil del intercambiador de calor entre dos venas o flujos de materia que es, en definitiva, este generador de calor:

- Una vena la compone el flujo del combustible que introducimos y reacciona en la cámara de combustión de la caldera, produciendo calor, para escapar el resultado de la combustión en forma de humos por la chimenea.
- La otra vena la compone el flujo de agua que transita por la caldera, bañando y refrigerando el lado exterior de las superficies de la cámara de combustión y de los pasos de humos mediante la captación del calor de la combustión, lo que origina su elevación de temperatura.

El rendimiento energético de este proceso de intercambio será la relación entre la cuantía del calor que ha captado el agua (calor útil) respecto al que posea el combustible utilizado.

Existen dos formas de efectuar el balance energético para determinar este rendimiento:

1 El **método directo** que, como su nombre indica, se obtiene por la medición, por un lado, del calor contenido en la vena de agua antes y después de su entrada en la caldera y, por otro, la determinación de la energía del combustible, producto de la cuantía empleada por su poder calorífico.

Este es el procedimiento que se utiliza, por ejemplo, para la determinación en laboratorio de la acreditación de rendimiento de las calderas para ser marcadas con la identificación CE, de acuerdo a la Directiva 92/42/CE relativa a los requisitos mínimos de rendimiento para las calderas nuevas de agua caliente alimentadas con combustibles líquidos o gaseosos, transpuesta a nuestro país por el Real Decreto 275/1995, de 24 de febrero.

La dificultad de su aplicación práctica en la medición del rendimiento energético de calderas en servicio estriba en la dificultad de la medición del caudal de agua que circula por la caldera. Salvo que la misma tenga instalado un *caudalímetro*, esta medición sólo podría realizarse, de forma no destructiva, con equipos de ultrasonidos, de alto coste y difícil utilización por cuanto exige aplicarse en tramos rectilíneos de tubería desnuda (desmontar el aislamiento térmico).

$$\eta = \frac{P_v (H_v - h_{fe})}{b \times PCI}$$

P_v = Producción de vapor [kg/h]

H_v = Entalpía del vapor [kcal/kg]

h_{fe} = Entalpía del fluido de entrada [kcal/kg]

b = Consumo de combustible [Ud. de combustible/h]

PCI = Poder Calorífico Inferior del combustible [kcal/Ud. de combustible]

Si en vez de entalpías, utilizamos Temperatura de entrada y salida del fluido caloportador de la caldera,

$$\eta = \frac{\dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T}{F \cdot PCI}$$

μ : Rendimiento (%)

m : Caudal de agua en la caldera (kg/s)

c_p : Calor específico del agua (kJ/kg °C)

$\Delta T = T_s - T_e$ (°C)

T_s: Temperatura del agua a la salida de la caldera (°C)
T_e: Temperatura del agua a la entrada de la caldera (°C)
F: Consumo de combustible (kg/h)
PCI: Poder calorífico inferior del combustible (kJ/kg)

2 El **método indirecto** que, como su nombre indica, se basa en razonar que aquel calor que introducimos con el combustible y no escapa con los humos por el conducto de evacuación o la chimenea, habrá sido captado por el agua.

Este es el procedimiento que se utiliza de forma práctica en las calderas no equipadas con calorímetros en sus circuitos de agua, lo que obliga a efectuar un balance energético de la energía producida por la combustión.

Con todo ello, el rendimiento energético de la caldera vendrá definido por la expresión:

$$\mu = 100 - (P_{\text{rad}} + P_{\text{conv}} + P_h + P_i)$$

En la práctica, en el sector de la edificación se suele determinar el rendimiento de la combustión en lugar del rendimiento de la caldera, es decir, se obvia en los cálculos las pérdidas por el cuerpo de la caldera (radiación y convección) dada la dificultad de su medición y la baja incidencia respecto a los parámetros que interesa controlar y que son la cuantía de las distintas materias contenidas en los humos y su temperatura.

De esta forma, el rendimiento de combustión queda simplificado a la expresión:

$$\mu = 100 - (P_h + P_i)$$

Para cualquiera de estos dos procedimientos debemos indicar que los rendimientos obtenidos son referidos al Poder Calorífico Inferior PCI del combustible, a pesar de que en las calderas de condensación se aprovecha también parte del calor latente de los humos. Por esta razón, el rendimiento de las calderas de condensación, definido sobre PCI, puede ser superior a la unidad (o al 100%), mientras que sería siempre inferior a la unidad si fuera referido al PCS.

• Las calderas de agua caliente alimentadas por combustibles líquidos y gaseosos que se hubiesen instalado con una fecha posterior al 31 de diciembre de 1997 deberán poseer como mínimo, a potencia nominal, un valor de rendimiento no inferior en 2 unidades al determinado en la puesta en servicio, que a su vez no deberá haber sido inferior en 5 unidades al establecido por la siguiente expresión:

$$h = a + b \cdot \log P_n (\%)$$

donde **log** es el logaritmo en base 10 de la potencia nominal de la caldera, expresada en kW y los coeficientes **a** y **b**, función de la temperatura media del agua, son los de la siguiente tabla:

Tipo de caldera	T _m °C	Coeficientes	
		a	b
Estándar	70	84,0	2,0
Baja temperatura	70	87,5	1,5
Condensación	70	91,0	1,0

A modo de ejemplo, se indican los valores de rendimiento mínimo exigibles a los distintos tipos de calderas, según su potencia en la puesta en servicio (expresados en %):

Tipo de caldera	Potencia nominal útil (kW)					
	20	50	100	200	300	400
Estándar (%)	81,6	82,4	83,0	83,6	84,0	84,2
Baja temperatura (%)	84,5	85,0	85,5	86,0	86,2	86,4
Condensación (%)	87,3	87,7	88,0	88,3	88,5	88,6

REQUISITOS MÍNIMOS DE RENDIMIENTO ENERGÉTICO EN LOS GENERADORES DE CALOR

TABLA CLD-02: RENDIMIENTO MÍNIMO DE CALDERAS, SEGÚN TIPO Y POTENCIA (DIRECTIVA 92/42/CEE)

Tipo de caldera	Pot.	Potencia nominal		Carga parcial (0,3·Pn)	
	(kW)	Temperatura media (°C)	Rendimiento	Temperatura media (°C)	Rendimiento
Estándar	4 a 400	70	$\geq 84 + 2 \cdot \log P_n$	≥ 50	$\geq 80 + 3 \cdot \log P_n$
Baja temperatura	4 a 400	70	$\geq 87,5 + 1,5 \cdot \log P_n$	≥ 40	$\geq 87,5 + 1,5 \cdot \log P_n$
Condensación	4 a 400	70	$\geq 90 + \log P_n$	≥ 30	$\geq 97 + \log P_n$

RENDIMIENTO ESTACIONAL

En los períodos durante los cuales una caldera permanece en disposición de funcionamiento, pueden distinguirse tres situaciones diferenciadas:

- Funcionamiento.
- Paradas.
- Arrancadas.

Funcionamiento:

Son los períodos en los que los quemadores están en funcionamiento, durante los cuales se aporta calor al agua de la instalación. Las pérdidas de calor en esos períodos son debidas a entalpía de humos, inquemados y radiación-convección a través de la envolvente de caldera. (éstas últimas podrían llegar a despreciarse, debido a su poca incidencia en el balance energético de la caldera)

$$\text{Pérdidas en funcionamiento} = Q_h + Q_i + Q_{rc}$$

El rendimiento coincide con el rendimiento instantáneo del conjunto caldera-quemador-chimenea, correspondiente al régimen de carga de cada momento.

Paradas

El quemador permanece parado sin aportación de calor al agua; sin embargo, se dan dos tipos de pérdidas de calor:

- Radiación-Convección a través de la envolvente de caldera.
- Ventilación interna, debida al tiro de aire que se induce a través del circuito de humos.

$$\text{Pérdidas en paradas} = Q_{rc} + Q_v$$

En estos periodos no se puede hablar de rendimiento, ya que únicamente hay pérdidas y no existe aportación de calor útil; sin embargo, estas pérdidas deben ser compensadas en el siguiente ciclo de funcionamiento. Las pérdidas por ventilación interna varían según el tipo de caldera. Habitualmente son mayores en las calderas atmosféricas, cuya cámara de combustión es abierta; también depende del tiro creado por la chimenea, siendo mayores las pérdidas cuanto más alto sea el mismo. Para reducirlas, los quemadores mecánicos deben cerrar el paso de aire durante las paradas; asimismo, en las chimeneas deben colocarse estabilizadores de tiro que provoquen la entrada directa de aire, reduciendo el tiro en las cámaras de combustión.

Arrancadas

Corresponden a los ciclos de barrido del hogar, anteriores a la entrada en funcionamiento de los quemadores, durante los cuales se mantienen las pérdidas por Radiación- Convección, pero se incrementan en gran medida las de ventilación interna, ya que la circulación del aire es forzada por el ventilador del quemador.

$$\text{Pérdidas en arrancada} = Q_{rc} + Q_{ba}$$

En las calderas atmosféricas estas pérdidas no se presentan, ya que al ventilar la cámara de combustión de manera continua, no requieren los ciclos de barrido antes del arranque, compensando en cierto modo las pérdidas por ventilación inducida de las paradas.

Anteriormente hemos descrito los métodos para obtener el rendimiento de una caldera, con los valores o ratios que debe alcanzar este tipo de generador de calor en su funcionamiento habitual. El valor de rendimiento obtenido por esos métodos configura el rendimiento instantáneo de la combustión de la caldera, es decir, la relación de calor útil respecto al combustible consumido que en ese instante se obtiene en la caldera.

Para verificarlo se exige un funcionamiento del circuito de agua con una temperatura mínima de 70 °C y una regulación del quemador al 100% y al 30% de su potencia nominal.

Sin embargo, el tiempo de funcionamiento real de un quemador en una instalación típica no suele superar el 25% del total, estando el restante tiempo parado a disponibilidad de las puntas de demanda. Durante este tiempo de inactividad del quemador es el propio calor remanente en el hogar y en las paredes de los intercambiadores de la caldera los que proporcionan la energía necesaria para satisfacer la demanda térmica de la instalación.

Esta circunstancia implica que considerar únicamente el rendimiento instantáneo de una caldera no permite valorar todas las pérdidas asociadas al funcionamiento intermitente del quemador. Para ello, se define un concepto más global y realista que es el **rendimiento estacional**. El rendimiento estacional abarca un periodo, generalmente anual, que refleja los consumos y demandas de una temporada completa de funcionamiento de la instalación térmica.

El rendimiento instantáneo de una caldera se puede determinar realizando una medición puntual por parte del técnico energético o utilizando los valores de diseño que proporciona el fabricante. La obtención del rendimiento estacional requiere la recopilación de las lecturas de consumos de la instalación y de gastos de combustible durante el periodo de estudio.

Veríamos que este valor difiere del rendimiento instantáneo de la caldera, siendo un valor indicativo no del nivel de calidad de la caldera, sino del grado de adecuación de la potencia de la instalación a la demanda de energía de los servicios que satisface. Esta es la razón por la que el RITE exige, por ejemplo, el fraccionamiento de potencia en varios generadores y en varios frentes de llama con quemadores de etapas o modulantes.

Según lo comentado anteriormente, el rendimiento estacional se expresará como:

$$\eta_{\text{estacional}} = \frac{E_{d,\text{anual}}}{E_{c,\text{anual}}} \times 100$$

Donde:

$\eta_{\text{estacional}}$ = Rendimiento estacional, en tanto por ciento

$E_{d,\text{anual}}$ = Energía demandada por la instalación durante un periodo anual

$E_{c,\text{anual}}$ = Energía consumida por la caldera durante el periodo considerado.

Para poder realizar obtener un rendimiento estacional lo más ajustado a la realidad deberán de disponerse, al menos, dos tipos de dispositivos:

1. **Contador o registro del combustible consumido durante ese periodo:** En el caso del gas natural, la obtención del consumo se puede realizar a través de las facturas del periodo. En el caso del gasoil, se debería disponer de un contador de litros. aunque también se podrán utilizar en su defecto facturas y albaranes. El consumo debe estar expresado en unidades de energía, ya sean kWh o kcal. Es decir, hay que convertir los m³ y los litros a energía.

2. **Contador de calorías:** Con este dispositivo se podrá cuantificar la demanda energética de la instalación. Hay métodos para cuantificar indirectamente el consumo como la lectura de los contadores de horas de consumo de calefacción y de m³ de agua caliente, siempre y cuando se estimen unas temperaturas de uso promediadas y se redondee el consumo obtenido con al menos un 15% en pérdidas asociadas a las tuberías de distribución.

Cálculo del rendimiento estacional

Para aquellas instalaciones que no tuvieran instalados estos equipos de contabilización, se desarrolla a continuación un método para la determinación de forma indirecta del rendimiento estacional de una instalación.

El rendimiento de las calderas se calculará en base a las siguientes expresiones:

donde:

$$R_g = \frac{R_c - 2}{1 + (((P_n + P_p) - 1) \cdot C_o)}$$

R_g = Rendimiento estacional de la caldera (%)

R_c = Rendimiento instantáneo de combustión (%)

P_n = Potencia nominal de la caldera (kW)

P_p = Potencia media real de producción (kW)

C_o = Coeficiente de operación, según la siguiente tabla:

P _n (kW)	C _o
< 75	0,05
75 a 150	0,04
150 a 300	0,03
300 a 1.000	0,02
> 1.000	0,01

El **rendimiento estacional** (R_g) se calculará de forma independiente para cada uno de las calderas que formen parte de la instalación, recogiendo el dato de rendimiento global neto en %.

El **rendimiento instantáneo de combustión** (R_c) será determinado de la forma descrita en los capítulos anteriores.

La **potencia nominal de la caldera** (P_n) será calculada en el momento de realizar la Inspección de la siguiente manera:

$$P_n = Ch \cdot PCI$$

donde:

Ch = Consumo horario de combustible, medido por su contador

PCI = Poder calorífico inferior del combustible

En caso de no existir contadores de combustible, la potencia nominal de la caldera (P_n) será tomada de los datos de catálogo, facilitados por el fabricante del mismo.

La **potencia media real de producción** (P_p) en las calderas de más de 70 kW, se determinará mediante la siguiente expresión:

$$P_p = E_c \cdot 0,7/H_f$$

donde:

E_c = Energía consumida por la caldera durante el período analizado, calculada en base al PCI del combustible (kWh)

H_f = Número de horas de funcionamiento durante el período analizado en las que la caldera ha estado caliente en disposición de servicio, aunque no se produzca combustión

Notas:

Para el cálculo del parámetro H_f indicamos dos ejemplos:

• Una caldera mixta para calefacción y agua caliente sanitaria que haya estado en disposición de servicio durante 24 horas diarias, 365 días al año y 4 años entre Inspecciones Periódicas, tendrá un valor de:

$$H_f = 24 \cdot 365 \cdot 4 = 35.040 \text{ horas}$$

• Una caldera que funcione únicamente para el servicio de calefacción, durante 11 horas diarias, 210 días al año y 4 años entre Inspecciones Periódicas, tendrá un valor de:

$$H_f = 11 \cdot 210 \cdot 4 = 9.240 \text{ horas}$$

En las calderas de potencia inferior a 70 kW, la potencia real media de producción (P_p) se calculará de la siguiente forma:

$$P_p = 0.04 \cdot S_c$$

donde:

S_c = Superficie útil calefactada (m^2)

Valor mínimo de rendimiento estacional

El rendimiento estacional (R_g) de una caldera no podrá ser inferior al 60%. Si existieran varias calderas, incumplirá este precepto aquella o aquellas que no alcancen el rendimiento estacional mencionado, debiendo actuarse al respecto, aunque el rendimiento estacional medio ponderado del conjunto de calderas supere el 60%.

El cálculo de este rendimiento se actualizará en las posteriores Inspecciones Periódicas, siendo el período analizado el existente entre Inspecciones. Se recomienda que el período entre Inspecciones corresponda a anualidades completas, con el fin de facilitar los cálculos. En caso de incumplimiento, el Titular deberá tomar las medidas necesarias para que en la siguiente Inspección Periódica el rendimiento global supere el mínimo indicado.

Si una caldera incumple el rendimiento global mínimo establecido y tiene más de 15 años, deberá ser sustituido por otro de mayor rendimiento y cuya potencia se adecue a la demanda de la instalación, en el plazo máximo de un año a partir de la fecha de Inspección.

USO EFICIENTE DE LAS CALDERAS

Reducir las pérdidas y aumentar el aprovechamiento energético de la combustión de una caldera dependerá:

1. **Adecuación del funcionamiento de la caldera al perfil de uso de la instalación y a la curva de demanda.** La demanda de la instalación influirá en el tiempo de arranque y parada del quemador. Asimismo, ya se ha visto que la temperatura requerida por la instalación solo puede ajustarse según el tipo de caldera utilizada (estándar, baja temperatura o condensación). Es muy importante también seleccionar quemadores de caldera que tengan el mayor número de escalones de regulación posible, preferiblemente con dispositivos electrónicos que permitan adaptar la combustión a la demanda instantánea.

El RITE establece a efectos de eficiencia energética la regulación mínima que deben disponer los quemadores en la IT 1.2.4.1.2.3: "La regulación de los quemadores alimentados por combustible líquido o gaseoso será, en función de la potencia térmica nominal del generador de calor, la indicada en la tabla 2.4.1.1".

Potencia térmica nominal del generador de calor kW	Regulación mínima
P ≤ 70	una marcha
70 < P ≤ 400	dos marchas
400 < P	tres marchas o modulante

2. **Limpieza de las boquillas del quemador y del cuerpo de la caldera.** El hollín y otras partículas depositadas en las superficies de intercambio disminuyen la transferencia energética entre los gases y el agua de recirculación. Especial importancia tiene la sustitución periódica de los turbuladores.

3. **Relación de aire-combustible en la mezcla de combustión.** Una buena regulación del quemador permitirá que la dosificación de aire se acerque lo máximo posible a la relación estequiométrica.