IX.- AGUA DE ALIMENTACION, POTENCIA Y RENDIMIENTO DE SISTEMAS DE CALEFACCIÓN

pfernandezdiez.es

IX.1.- PROTECCION DE LAS CALDERAS DE ACERO CONTRA LA CORROSION POR CONDENSACIONES

Una de las precauciones a tener en cuenta en una instalación con caldera de acero, es la de evitar la corrosión de la misma debido a las condensaciones que puedan producirse cuando los humos alcanzan determinadas temperaturas.

Todos los combustibles tienen S en su composición; cuando el combustible se quema, los ga-ses procedentes de la combustión contienen vapor de agua en el seno de su volumen.

Si la temperatura del agua de la caldera está por debajo de un cierto valor, los gases de la combustión en contacto con la chapa del circuito de humos de la caldera se enfrían excesivamente y se produce la condensación del vapor de agua humedeciendo las superficies metálicas de la caldera.

La temperatura de condensación es el punto de rocío, variable, pues depende del tipo de combustible y del exceso de aire que existe en la combustión.

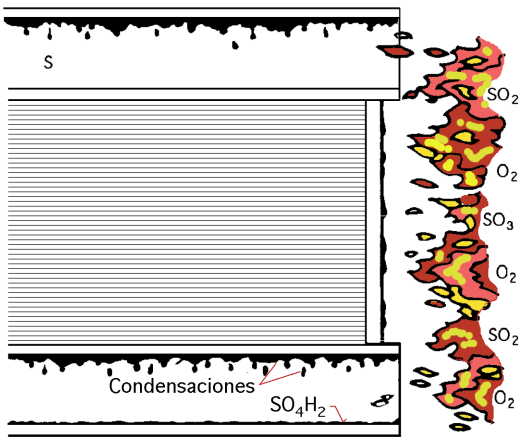


Fig IX.1.- Superficies húmedas por condensación del vapor de agua y superficies corroídas por las condensaciones

La reacción que resulta después de la combustión es:

$$S + O_2 \rightarrow SO_2 \quad ; \quad 2\,SO_2 + O_2 \rightarrow 2\,SO_3$$

El anhídrido sulfuroso en combinación con el exceso de oxígeno, forma anhídrido sulfúrico. Este último en contacto con el agua de condensación que cubre la superficie del hogar, se transforma en ácido sulfúrico que tiene efectos muy corrosivos en especial en las calderas de acero. Para evitarlo, debemos de conseguir que las superficies del circuito de humos de la caldera estén siempre por encima de la temperatura

del punto de rocío del combustible que se utilice.

Cuando el combustible utilizado contenga más del 0,7% de S, además del punto de rocío húmedo, se debe considerar el punto de rocío ácido; esta temperatura a la que se produce la condensación ácida, depende del porcentaje de S del combustible y tiene lugar entre 120÷150ºC.

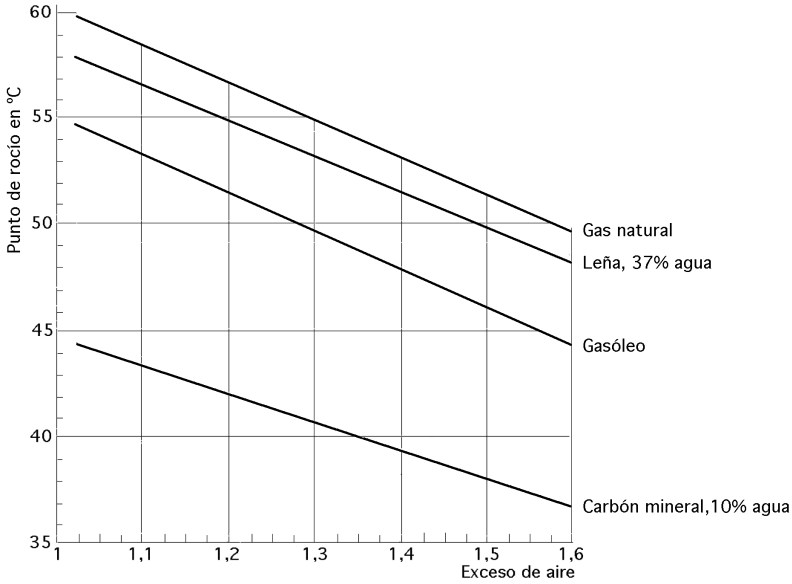


Fig IX.2.- Diagrama para la determinación de la temperatura de condensación de un combustible (punto de rocío)

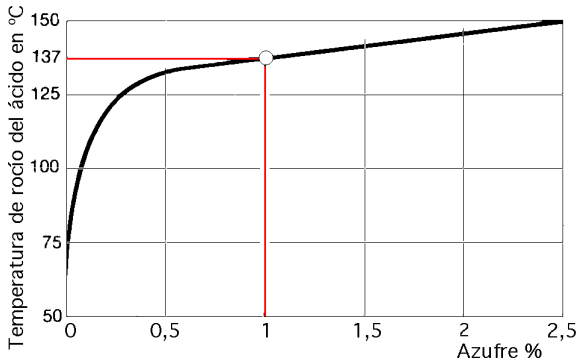


Fig IX.3.- Temperatura de rocío del ácido según el contenido de azufre del gasóleo (Hoffman y Thurlow)

La gráfica de Hoffman y Thurlow para el gasóleo, Fig IX.3, resume lo expuesto, demostrando la intensidad de la corrosión según la temperatura de la superficie metálica.

Se observa que entre el punto de rocío húmedo y el ácido, existe un aumento de la corrosión que si bien no tiene importancia para combustibles de poco contenido en azufre, sí puede tenerla cuando éste contenido aumenta. La zona de mínima corrosión, queda comprendida entre, 50÷90ºC.

Cuando se utilice carbón, la temperatura de retorno tiene que ser ≥ 50ºC.

Para evitar que se produzcan condensaciones, la caldera tiene que trabajar de forma que el agua de retorno (entrada a la caldera) tenga una temperatura igual o mayor a 60ºC, cuando se utilicen

combustibles fluidos o de leña, y una temperatura igual o mayor de 50ºC cuando se utilice combustible tipo carbón.

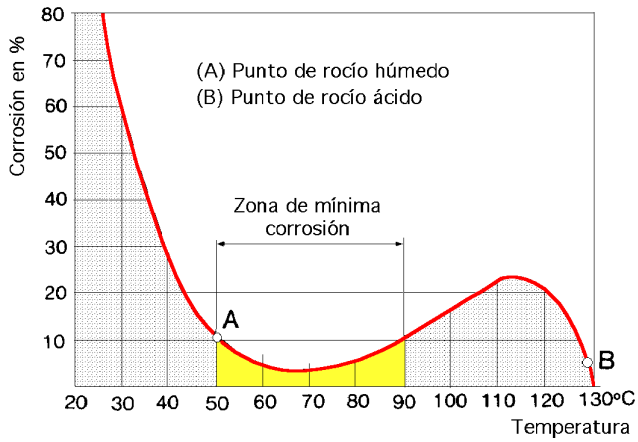


Fig IX.4.- Intensidad de la corrosión según la temperatura

IX.2.- PREVENCION DE LAS CONDENSACIONES

El mejor sistema para reducir o eliminar las condensaciones es colocar un circulador anticondensación, que consiste en intercalar un by-pass con un circulador entre ida y retorno, después de la caldera, para que pueda elevar la temperatura del retorno mezclando el agua que proviene de la instalación, con la que sale de la caldera (ida). Este circulador, comandado por un termostato de inmersión (o de contacto) situado en la tubería de retorno próxima a la caldera, regulará entre 50ºC y 60ºC (según el combustible); con temperaturas del agua inferior al valor regulado funcionará el circulador; si se supera este valor, el termostato conmutará y dejará de funcionar el circulador anticondensación.

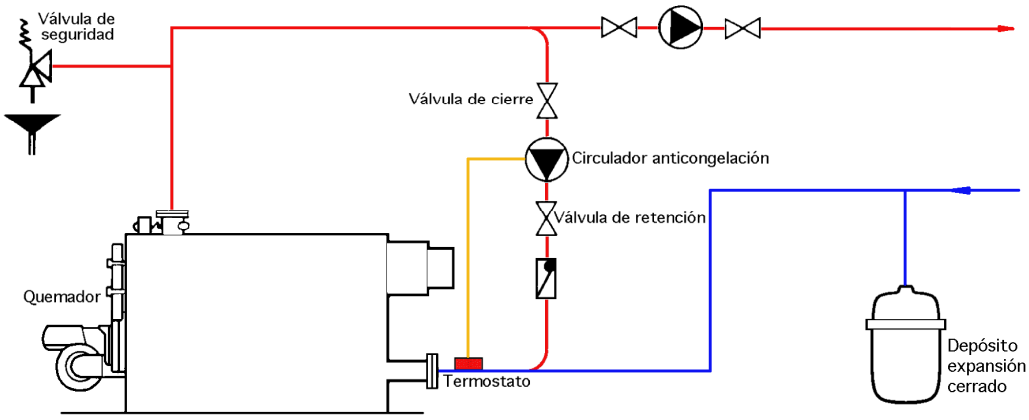


Fig IX.5.- Instalación de calefacción con circulador anticondensación

Es imprescindible por lo tanto, colocar en las calderas de chapa de acero, un circulador anticondensación para evitar las corrosiones por condensaciones para así prolongar el tiempo de duración y servicio de la caldera, así como en la tubería de by-pass, una válvula de retención, para que cuando

deje de funcionar el circulador anticondensación, el circulador de calefacción no pueda aspirar el agua de retorno.

El caudal que acciona el circulador anticondensación es: $Caudal\ (\frac{litros}{hora}) = \frac{N_{caldera}\ (\frac{Kcal}{hora})}{40}$

La pérdida de carga (presión) a vencer por el circulador anticondensación se considerará de unos 500 mm c.a.

IX.3.- AGUA DE LA INSTALACION

El agua se encuentra combinada con sales, gases e impurezas. Por tanto, en las instalaciones de calefacción se deberán tener en cuenta estos componentes porque influyen en el rendimiento y duración de la instalación, en especial de la caldera, por ser el elemento que está sometido a mayores temperaturas. En el agua, las sales están normalmente en solución a temperatura ambiente; su contenido varía de 0,2÷0,5 gr por litro, pudiéndose clasificar en dos grupos:

Carbonatos y bicarbonatos:
- *Carbonato de calcio,* $CaCO_3$
- *Bicarbonato de calcio,* $(CO_3H)_2Ca$
- *Carbonato de magnesio* CO_3Mg
- *Bicarbonato de magnesio* $(CO_3H)_2Mg$

Sulfatos, cloruros y silicatos:
- *Sulfato cálcico (yeso),* SO_4Ca
- *Cloruro cálcico,* Cl_2Ca
- *Silicato cálcico* SiO_2Ca

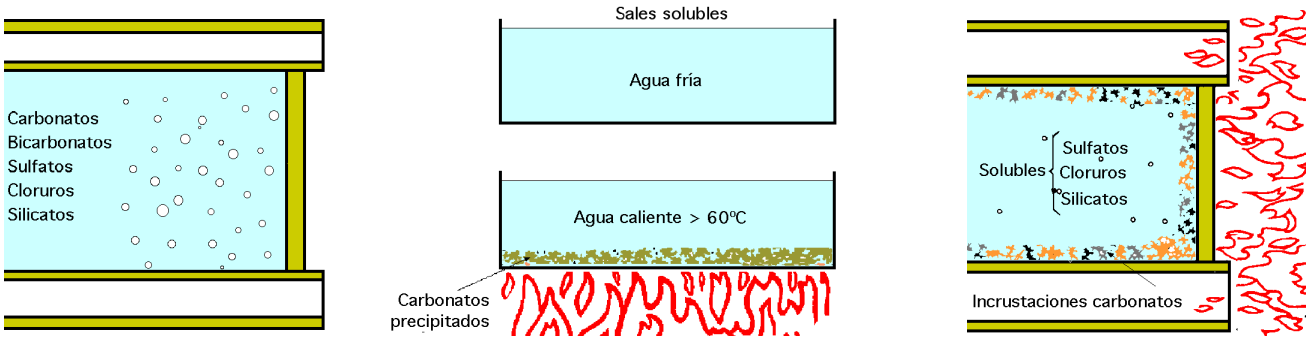


Fig IX.6.- Sales contenidas en el agua, precipitación de las mismas e incrustaciones por carbonatos

DUREZA DEL AGUA.- El contenido de sales en el agua determina su dureza, que puede ser:

Dureza temporal o dureza de carbonatos*, que generalmente desaparece al calentar el agua. El bicarbonato cálcico* $(CO_3H)_2Ca$ *es soluble en el agua, pero al calentarla, se descompone según la ecuación:*

$$(CO_3H)_2Ca + Calor = CO_3Ca + CO_2 + H_2O$$

formándose carbonato cálcico CO_3Ca *que precipita formando lodos o incrustaciones a partir de 60ºC a 65ºC, quedando libre* CO_2.

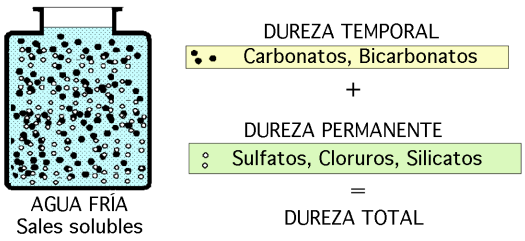


Fig IX.7.- Esquema de durezas en el agua

***Dureza permanente debida a los sulfatos, cloruros y silicatos**, que es difícil de eliminar calentando el agua; se puede neutralizar añadiendo productos químicos. Tiene una solubilidad del orden de 70 veces la debida a los carbonatos.*

***Dureza total,** suma de las durezas temporales y permanentes. La unidad es el grado de dureza, que difiere de un país a otro.*

Tabla IX.1.- Conversión de unidades de dureza

	°d	°f	°i	°u	ppm CO_3Ca
1 grado Alemán (1° d)	1	1,78	1,25	1,04	17,8
1 grado francés (1° f)	0,56	1	0,702	0,58	10
1 grado inglés (1° i)	0,798	1,43	1	0,83	14,3
l grado U.S.A. (1° u)	0,96	1,71	1,2	1	9,6
1 ppm de CO_3Ca = 1 mg/l	0,056	0,1	0,0702	0,058	1

Tabla IX.2.- Clasificación del agua según la dureza

Grados alemanes	Grados franceses	
0 + 8°d	O + 14°f	Aguas blandas
8° + 15°d	14 + 27°f	Aguas semiduras
Más de 15°d	Más de 27°f	Aguas duras

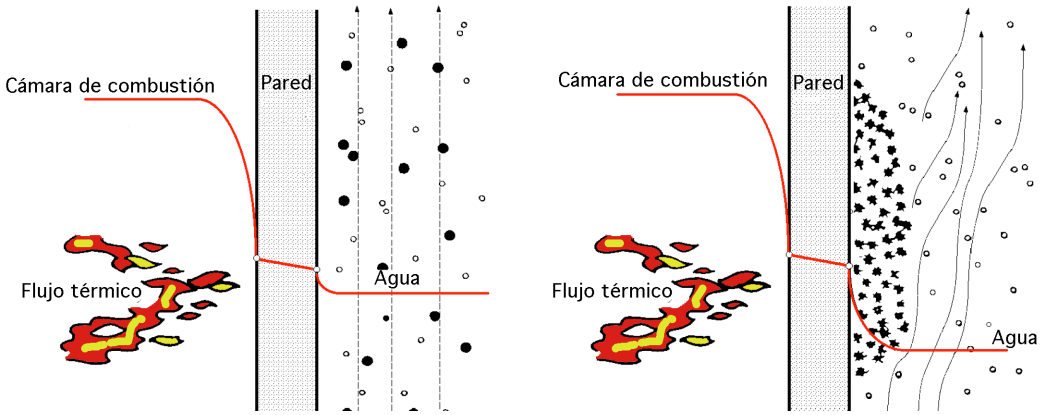


Fig IX.8.- Transmisión de calor entre la cámara de combustión y el agua de una caldera sin y con incrustaciones calcáreas

Incrustaciones.- Las principales incrustaciones que se producen en las calderas son las siguientes:

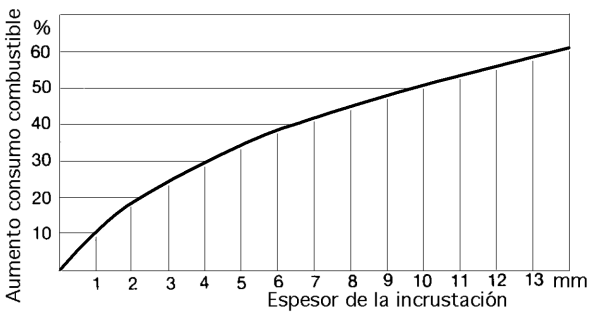


Fig IX.9.- Variación del consumo de combustible con el espesor de la incrustación

- *Carbonato de calcio CO_3Ca*
- *Carbonato de magnesio CO_3Mg*
- *Sulfato de calcio SO_4Ca*
- *Silicato de calcio SiO_3Ca*

Una incrustación de 1 mm de espesor implica un consumo de un 10% más de combustible

Las incrustaciones calcáreas en las calderas, reducen la transmisión de calor entre la cámara de combustión y el agua de la caldera, y como la chapa no se re-

frigera, se producen sobretensiones en el material, y deformaciones y fisuras en las calderas.

Corrosividad.- El agua *contiene* gases en disolución. Las causas principales de la corrosión son el oxígeno O_2 y el anhídrido carbónico CO_2 disueltos en el agua.

$$CO_2 \Rightarrow \begin{cases} CO_2 \ combinado \begin{cases} CO_3Ca \\ (CO_3H)_2Ca \end{cases} \\ CO_2 \ libre \begin{cases} Inherente \\ Agresivo \end{cases} \end{cases}$$

*El **anhídrido carbónico** CO_2 se encuentra libre o combinado con los carbonatos.*

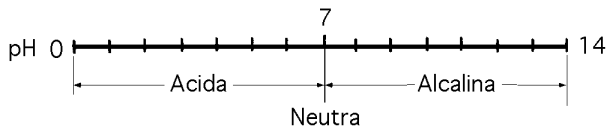
- El anhídrido carbónico combinado, forma carbonatos y bicarbonatos

- El anhídrido carbónico inherente puede ser necesario para mantener en solución los carbonatos, equilibrio carbonatos y bicarbonatos.

$$(CO_3H)_2Ca \Rightarrow CO_2Ca + CO_2 + H_2O$$

- El anhídrido carbónico agresivo disuelve la película de cal protectora que se forma en las paredes de la caldera (No confundir con incrustación)

Oxígeno O_2.- Es el principal elemento productor de la corrosión, que se produce generalmente por reacciones electroquímicas.



ºC	*0*	*18*	*50*	*100*
pH	*7,45*	*7*	*6,61*	*6,07*

Valor del pH.- *El pH expresa el grado de acidez o alcalinidad del agua.*

El agua pura, destilada, a 18ºC tiene un pH = 7

Por debajo de 7, las aguas son ácidas, y por encima de 7, son alcalinas. El valor del pH varía con la temperatura, de forma que al elevar la temperatura el pH de las aguas disminuye.

Observaciones.- En una instalación de calefacción se deberán evitar las incrustaciones y la corrosión; para ello habrá que tener en cuenta las siguientes consideraciones,

a) Evitar la entrada de aire (oxígeno), mediante un adecuado proyecto e instalación

b) Colocar purgadores de aire en los puntos altos de la instalación

c) Verificar que el nivel del agua de la instalación se mantenga constante y que excepcionalmente, se deba añadir agua

d) Instalar, siempre que sea posible, vasos de expansión cerrados

e) Que el pH del agua esté comprendido entre 7,5 y 8,5

f) Si la dureza del agua está comprendida entre 8° y 12°f no es necesario ablandarla

En el caso de que el agua de la instalación no reúna lo indicado en los apartados (e) y (f) se deberá tratar.

La mejor protección para una instalación es mantener el mismo agua en el circuito, sin tener que rellenarlo, para que las incrustaciones y la corrosión sean mínimas.

IX.4.- POTENCIA ÚTIL N_u

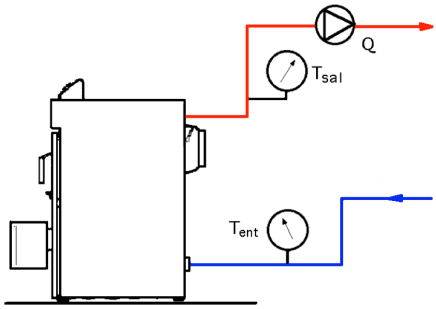


Fig IX.10
Medida de las temperaturas de ida y retorno

La potencia útil de una caldera depende del caudal de agua Q que circula a través de ella y del salto térmico del agua a la entrada T_e y salida T_s de la caldera, Fig IX.10:

$N_u = Q\,(T_{sal} - T_{ent})\,c_p\;\gamma_{agua}$, *siendo:*

- N_u *la potencia útil en Kcal/hora*
- Q *el caudal en litros/hora*
- T_{ent} *y* T_{sal} *las temperaturas del agua a la entrada y salida en ºC*
- c_p *el calor específico en Kcal/kg ºC = 1, para el agua*
- γ *el peso específico en kg/dm³ = 1, para el agua*

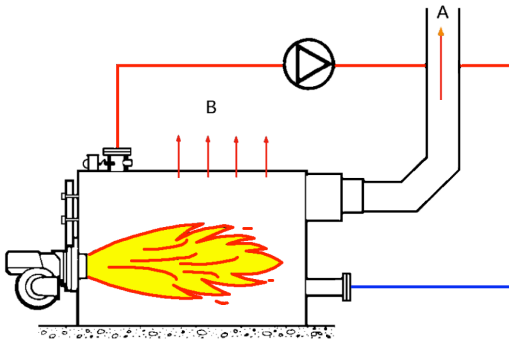


Fig IX.11.- Pérdidas térmicas en una caldera

IX.5.- PERDIDAS TÉRMICAS

Las pérdidas de calor que se generan en el funcionamiento de una caldera son:

- *Pérdidas en chimeneas*
- *Pérdidas por radiación, convección y contacto de la caldera con su entorno*

Pérdidas en la chimenea.- Las pérdidas que se generan en la chimenea son:
- q_{hs} *pérdidas de calor sensible en humos*
- q_i *pérdidas de calor por inquemados*

a) PÉRDIDAS DE CALOR SENSIBLE q_{hs}.- Las pérdidas por el calor sensible de los humos de los productos de la combustión son las más importantes, y dependen esencialmente del porcentaje de CO_2 y de la temperatura de humos en la chimenea respecto a la del ambiente; el porcentaje de CO_2 depende del tipo de combustible utilizado y del $aire_{exceso}$ de la combustión.

- ***Las pérdidas de calor sensible de los humos q_{hs}*** *en %, se calculan mediante la expresión:*

$$q_{hs} = \frac{V_c\;c_p}{PCI}\,(T_h - T_a)\;100 \;\text{(en \%)}$$, *siendo:*

- V_c = *Volumen gases combustión en Nm³/kg*
- c_p = *Calor específico gases de combustión 0,33 a 0,35 Kcal/Nm³ ºC*
- PCI = *Potencia calorífica inferior del combustible*
- T_h = *Temperatura de los humos en chimenea en ºC*
- T_a = *Temperatura ambiente en ºC*

Es necesario conocer el $aire_{exceso}$, que también se puede encontrar gráficamente con ayuda de la Fig IX.12.

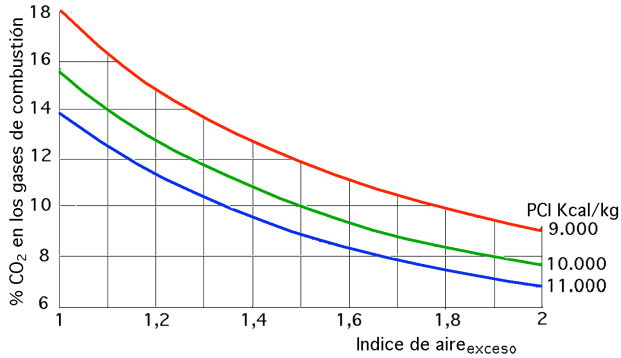


Fig IX.12.- Indice de exceso de aire en función del % de CO_2 para combustibles líquidos

Para combustibles líquidos (gasóleo y fuelóleo), la determinación del volumen de los gases de combustión V_c se puede obtener mediante el gráfico de la Fig IX.13.

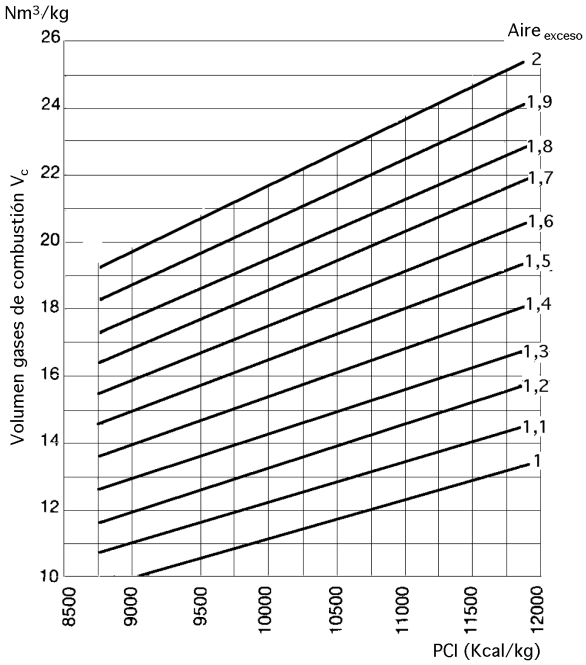


Fig IX.13.- Volumen de los gases de la combustión en función del exceso de aire para combustibles sólidos

- Otra forma de determinar las pérdidas de calor sensible de los humos q_{hs} es utilizar la fórmula de Siegert:

$$q_{hs} = K \frac{T_h - T_a}{CO_2}$$, *siendo:*

- T_h *la temperatura de los humos y* T_a *la temperatura ambiente de la sala en ºC*
- $K = 0{,}495 + 0{,}00693\ CO_2$ *para gasóleo*
- $K = 0{,}516 + 0{,}0067\ CO_2$ *para fuelóleo*
- $K = 0{,}379 + 0{,}0097\ CO_2$ *para gas natural, propano y butano*
- $K = 0{,}68$ *para hulla y antracita*
- $K = 0{,}57$ *para cok*
- $K = 0{,}50$ *para gas ciudad*

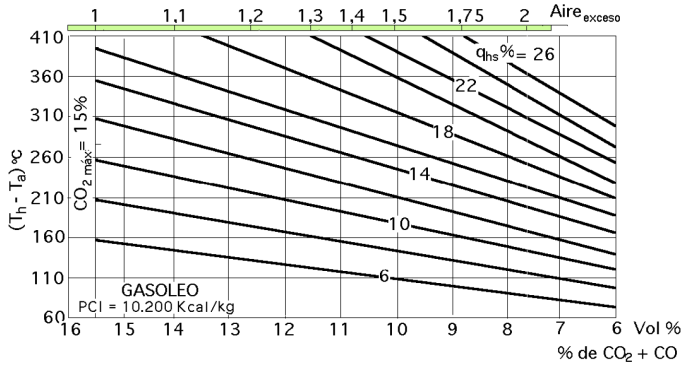


Fig IX.14.- Pérdidas de calor sensible q_{hs}

Para el gasóleo, como se indica en la Fig IX.14, y de modo aproximado, se pueden determinar directamente las pérdidas de calor sensible q_{hs}.

Ejemplo IX.1.- *Determinar el calor sensible q_{hs} perdido por los gases de combustión, si el análisis de la combustión de una caldera funcionando con gasóleo (PCI= 10.200 Kcal/kg) es:*

$$\begin{cases} 12\%\ de\ CO_2 \\ Temp.\ humos\ T_h = 300°C \\ Temp.\ ambiente\ T_a = 20°C \end{cases}$$

El exceso de aire en la combustión se calcula mediante el gráfico de la Fig IX.12: $aire_{exceso} = 1,25$

Para hallar el volumen de los gases de la combustión se aplica el gráfico de la Fig IX.13, que para un aire$_{exceso}$ = 1,25 es: $V_c = 14\ \dfrac{Nm^3}{kg}$

Con estos datos se obtiene la pérdida de calor sensible de los humos en la forma:

$$q_{hs} = \frac{V_c\ c_p}{PCI}\ (T_h - T_a)\ 100 = \frac{14 \times 0,35}{10200}\ (300 - 20) \times 100 = 13,45\%$$

o mediante la fórmula de Siegert:

$$q_{hs} = K\ \frac{T_h - T_a}{PCI} = \left| K = 0,495 + (0,00693 \times 12) = 0,578 \right| = 0,578\ \frac{300 - 20}{10200} = 13,49\%$$

resultados que se pueden obtener también, directamente, mediante el gráfico de la Fig IX.14.

b) PÉRDIDAS DE CALOR POR INQUEMADOS.- Las pérdidas de calor por inquemados q_i son debidas al carbono no quemado que, en combinación con el oxígeno, forma *CO*.

- Para su determinación se puede utilizar la ecuación:

$$q_i = K_1\ \frac{V_c \times 3020 \times CO}{PCI}\ (en\ \%),\ siendo:\ \begin{cases} V_c\ el\ volumen\ de\ gases\ de\ la\ combustión\ en\ Nm^3/kg \\ 3.020\ Kcal/Nm^3\ ,\ la\ PCI\ del\ CO \\ CO\ el\ \%\ contenido\ en\ los\ gases\ de\ combustión \\ Para\ el\ gasóleo:\ K_1 = 1,9\ ;\ PCI = 10.200\ Kcal/kg \\ Para\ el\ fuelóleo:\ K_1 = 1,8\ ;\ PCI = 9.700\ Kcal/kg \end{cases}$$

- También se puede utilizar la expresión:

$$q_i = K_2\ \frac{CO}{CO + CO_2}\ (en\ \%),\ en\ la\ que\ K_2\ vale:\ \begin{cases} 95\ para\ el\ gasóleo\ y\ el\ fuelóleo \\ 60\ para\ el\ carbón \\ 35\ para\ el\ gas\ ciudad \\ 72\ para\ el\ gas\ natural \\ 84\ para\ el\ propano \end{cases}$$

El CO máximo permitido es del 0,1%, y las pérdidas por inquemados están entre el 0,4 ÷ 0,8%.

Para un 1% de contenido de CO las pérdidas son importantes, y se sitúan entre el 4 ÷ 7%.

IX.6.- RENDIMIENTO

Para clarificar el concepto de los rendimientos que intervienen durante el funcionamiento de una instalación de calefacción, hay que tener en cuenta todas las pérdidas que se generan, que son la base de partida para su determinación, reduciéndolas al mínimo, y de esta forma conseguir que el rendimiento estacional de la instalación sea lo más elevado posible, obteniendo los mejores resultados económicos de la explotación.

Rendimiento útil.- El calor producido al quemarse un combustible en una caldera no se transmite íntegramente al agua de calefacción, por lo que se producen unas pérdidas térmicas que serán de mayor o menor magnitud, dependiendo del diseño de la caldera y de la regulación de la combustión.

El rendimiento útil de una caldera es:

$$\eta_{útil\ caldera} = \frac{N_{u\ caldera}}{PCI} \times 100 \ \text{(en \%), siendo la PCI del combustible:} \begin{cases} \text{Gasóleo: 10200 Kcal/kg} \\ \text{Fuelóleo: 9700 Kcal/kg} \\ \text{Antracita: 7000 Kcal/kg} \\ \text{Gas ciudad: 3800 Kcal/Nm}^3 \\ \text{Gas natural: 9300 Kcal/Nm}^3 \\ \text{Propano: 22000 Kcal/Nm}^3 \end{cases}$$

Rendimiento de la combustión.- El rendimiento de la combustión η_{comb} se obtiene después de deducir las pérdidas del calor sensible q_{hs} y las de inquemados q_i.

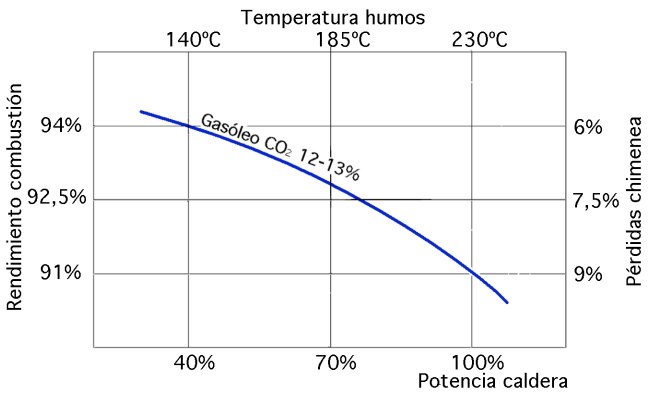


Fig IX.15.- Rendimiento de la combustión

$$\eta_{comb} = 100 - (q_{hs} + q_i)$$

Con una buena regulación de la combustión, como sería por ejemplo un CO_2 del orden de un $12\% \div 13\%$ para la combustión del gasóleo, el rendimiento de la combustión aumenta haciendo funcionar la caldera a potencias inferiores a la útil.

IX.7.- PERDIDAS POR RADIACIÓN Y CONVECCIÓN

Las pérdidas por radiación y convección son las que genera la caldera al interaccionar con su entorno; se denominan pérdidas residuales q_{rc} y dependen del tamaño de la caldera y de su aislamiento térmico.

Para su determinación se parte de:

$$q_{hs} + q_i + q_{rc} = 100 - \eta_u$$

y como: $q_{hs} + q_i = 100 - \eta_c$ *, las pérdidas por radiación y convección* q_{rc} *son de la forma:*

$q_{rc} = 100 - \eta_u - 100 + \eta_c = \eta_c - \eta_u$

que se pueden calcular, aproximadamente, aplicando la fórmula:

$q_{rc} = \dfrac{k\ S\ \Delta T}{PCI}$, en la que:

k es el coeficiente de transmisión de calor del material de la pared de la caldera= 12 Kcal/m²h°C

S es la superficie exterior del contorno de la caldera en cm²

ΔT es la diferencia de temperatura superficial media entre la superficie exterior de la caldera y la temperatura ambiente de la sala, en °C

PCI es la potencia aportada por el combustible en Kcal/hora.

Para efectuar un cálculo más exacto, se puede desglosar la superficie exterior de la caldera en tres partes, la frontal, la trasera y el resto de la superficie, y calcular las pérdidas de calor en cada una de ellas.

Pérdidas en la pared frontal: $q_{rc_1} = \dfrac{k_1\ S_1\ \Delta T_1}{PCI} = \dfrac{12\ S_1\ \Delta T_1}{PCI}$

Pérdidas en la pared trasera: $q_{rc_2} = \dfrac{k_2\ S_2\ \Delta T_2}{PCI} = \dfrac{12\ S_2\ \Delta T_2}{PCI}$

Pérdidas en el resto de la caldera: $q_{rc_3} = \dfrac{k_3\ S_3\ \Delta T_3}{PCI} = \dfrac{10\ S_3\ \Delta T_3}{PCI}$

por lo que: $q_{rc} = q_{rc_1} + q_{rc_2} + q_{rc_3}$

El rendimiento útil de la caldera se puede calcular también teniendo en cuenta qué es lo que queda después de deducir todas las pérdidas que se generan en ella cuando está en funcionamiento:

$\eta_{útil\ caldera} = 100 - (q_{hs} - q_i - q_{rc}) = \eta_c - q_{rc}$

IX.8.- RENDIMIENTO DE LA INSTALACIÓN

Hay que diferenciar el rendimiento útil de una caldera y el de la instalación; el rendimiento de la caldera depende del rendimiento de la combustión y de las pérdidas de la propia caldera con su entorno cuando está en funcionamiento. En este rendimiento hay que incluir otras pérdidas que aparecen durante el servicio de la caldera, como:

Con la caldera en funcionamiento, pérdidas de calor en tuberías C, Fig IX.16

Con la caldera parada por el termostato, Fig IX.17

Pérdidas de calor en tuberías C_1

Pérdidas de calor en la caldera con su entorno A_1

Pérdidas de calor por enfriamiento de la caldera al circular el aire a través del circuito de humos B_1

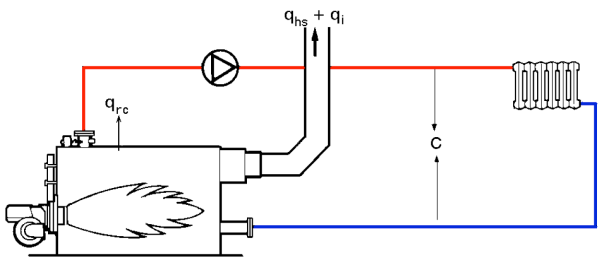


Fig IX.16.- Pérdidas con la caldera en funcionamiento

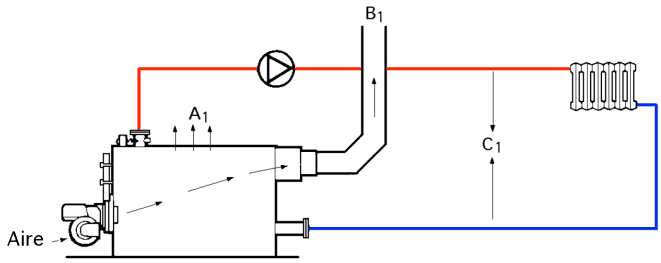


Fig IX.17.- Pérdidas con la caldera parada por el termostato

PÉRDIDA DE CALOR EN TUBERÍAS.- Hay que considerar como pérdidas en tuberías, las pérdidas de calor de las tuberías distribuidas por locales no calefactados tales como, sala de calderas, parking, etc. Las que circulan por locales calefactados, no son pérdidas, ya que indirectamente se aprovechan para calefactar el local, actuando como un emisor.

La pérdida de calor por hora ($P_{tuberías}$) en Kcal/hora, en un tubo de longitud L, viene dada por la expresión:

$$P_{tuberías} = L\ k\ (T_{Fi} - T_a\ )\ ,\ en\ la\ que \begin{cases} k\ es\ el\ coeficiente\ de\ transmisión\ de\ calor \\ T_{Fi}\ \ es\ la\ temperatura\ media\ interior\ del\ agua \\ T_a\ \ es\ la\ temperatura\ ambiente \end{cases}$$

Para tubos aislados colocados dentro de ranuras de pared cerradas, se puede considerar $T_a = 35°C$

Para tubos no aislados colocados en ranuras cerradas, se puede considerar $T_a = 45°C$

Tabla IX.1.- Valores de k para tubos sin aislar

Diámetro exterior en mm	*15*	*20*	*25*	*32*	*40*	*50*	*57*	*60*	*80*	*100*
Tubo horizontal	*0,8*	*0,9*	*1,1*	*1,4*	*1,5*	*1,8*	*1,9*	*2,2*	*2,7*	*3,2*
Tubo vertical	*0,9*	*1,1*	*1,3*	*1,6*	*1,7*	*1,8*	*1,9*	*2,2*	*2,7*	*3,2*

El rendimiento puntual de la instalación η_i, con la caldera en funcionamiento es:

$$\eta_i = \eta_{útil\ caldera} - q_t = \left| q_t = \frac{P_{tuberías}}{N_u} \times 100 \right| = \eta_{útil\ caldera} - \frac{P_{tuberías}}{N_u} \times 100$$

$$en\ la\ que: \begin{cases} q_t\ \ es\ el\ \%\ de\ pérdidas\ térmicas\ en\ tuberías \\ P_{tuberías}\ \ son\ las\ pérdidas\ de\ calor\ en\ tuberías\ en\ Kcal/h \\ N_u\ \ es\ la\ potencia\ útil\ de\ la\ caldera\ en\ Kcal/hora \end{cases}$$

Las pérdidas en tuberías dependen de sus dimensiones, longitud y si están o no térmicamente aisladas.

a) Si la caldera se ha parado por el termostato, ésta y las tuberías continúan perdiendo calor C_1 y paulatinamente irá descendiendo la temperatura del agua que contienen, Fig IX.17.

b) En la caldera se originan dos tipos de pérdidas:

- Las de radiación y convección con su entorno A_1

- La de enfriamiento del circuito de humos por la circulación de aire a través de él B_1, Fig IX.17.

Esta última pérdida se puede reducir considerablemente utilizando quemadores que al dejar de

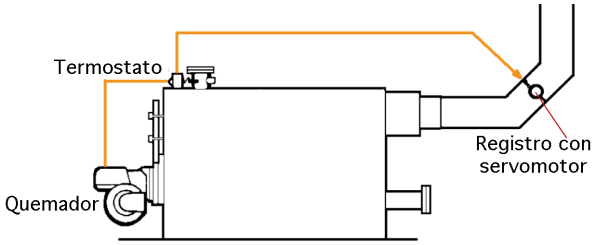


Fig IX.18

funcionar, cierren automáticamente el registro del aire que incorporan; de no disponer en el quemador de este automatismo se puede intercalar un registro con servomotor, en el tramo de conexión de la caldera con la chimenea, que trabajaría en serie con el quemador, Fig IX.18.

Tabla IX.2.- Pérdidas de calor en tuberías, sin aislamiento térmico, por metro lineal de tubería, en Kcal/hora

	Temperatura media - Temperatura ambiente																
Diámetro	*20*	*25*	*30*	*35*	*40*	*45*	*50*	*55*	*60*	*65*	*70*	*75*	*80*	*85*	*90*	*95*	*100*
3/8"	*10*	*15*	*17*	*21*	*25*	*29*	*33*	*37*	*41*	*45*	*49*	*53*	*57*	*81*	*65*	*70*	*73*
1/2"	*12*	*17*	*21*	*26*	*31*	*36*	*41*	*46*	*51*	*55*	*60*	*65*	*70*	*75*	*80*	*85*	*89*
3/4"	*14*	*19*	*25*	*31*	*37*	*42*	*48*	*54*	*59*	*65*	*71*	*76*	*82*	*88*	*94*	*99*	*105*
1"	*16*	*23*	*29*	*36*	*42*	*49*	*56*	*62*	*69*	*75*	*82*	*89*	*95*	*102*	*109*	*115*	*122*
5/4"	*19*	*27*	*35*	*43*	*50*	*58*	*66*	*74*	*82*	*90*	*98*	*106*	*113*	*121*	*129*	*137*	*145*
3/2"	*21*	*30*	*38*	*47*	*56*	*65*	*73*	*82*	*91*	*99*	*108*	*117*	*126*	*134*	*143*	*152*	*161*
2"	*25*	*35*	*45*	*55*	*66*	*76*	*86*	*97*	*107*	*117*	*127*	*138*	*148*	*158*	*169*	*179*	*189*
5/2"	*30*	*43*	*56*	*68*	*81*	*94*	*107*	*119*	*132*	*145*	*158*	*170*	*183*	*195*	*208*	*221*	*233*
57	*26*	*37*	*48*	*59*	*70*	*81*	*92*	*103*	*114*	*124*	*135*	*146*	*157*	*168*	*179*	*190*	*201*
64	*28*	*40*	*52*	*64*	*76*	*88*	*99*	*111*	*123*	*135*	*147*	*159*	*170*	*182*	*194*	*206*	*218*
70	*30*	*43*	*56*	*68*	*81*	*94*	*107*	*119*	*132*	*145*	*158*	*170*	*183*	*195*	*208*	*221*	*233*
82	*35*	*49*	*64*	*78*	*93*	*107*	*122*	*136*	*151*	*165*	*180*	*195*	*209*	*224*	*238*	*253*	*267*
94	*39*	*56*	*72*	*88*	*105*	*121*	*137*	*154*	*170*	*186*	*203*	*219*	*239*	*252*	*268*	*284*	*301*
106	*43*	*61*	*79*	*97*	*115*	*134*	*152*	*170*	*188*	*208*	*224*	*242*	*260*	*278*	*296*	*314*	*332*
119	*48*	*68*	*87*	*107*	*127*	*147*	*167*	*187*	*207*	*227*	*246*	*266*	*286*	*306*	*326*	*346*	*366*
131	*52*	*74*	*96*	*117*	*139*	*161*	*182*	*204*	*226*	*247*	*269*	*291*	*313*	*334*	*356*	*378*	*399*
143	*16*	*80*	*103*	*126*	*150*	*173*	*197*	*220*	*243*	*267*	*290*	*314*	*337*	*360*	*384*	*407*	*430*
156	*61*	*86*	*111*	*136*	*161*	*187*	*212*	*237*	*262*	*288*	*313*	*338*	*363*	*389*	*414*	*439*	*464*

Tabla IX.3.- Pérdidas de calor en tuberías, con aislamiento térmico, por metro lineal de tubería, en Kcal/hora

	Temperatura media - Temperatura ambiente																
Diámetro	*20*	*25*	*30*	*35*	*40*	*45*	*50*	*55*	*60*	*65*	*70*	*75*	*80*	*85*	*90*	*95*	*100*
3/8"	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*12*	*13*	*14*	*15*
1/2"	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*II*	*12*	*13*	*14*	*15*	*16*	*17*	*18*
3/4"	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*10*	*11*	*12*	*13*	*14*	*15*	*16*	*18*	*19*	*20*	*21*
1"	*3*	*5*	*6*	*7*	*8*	*10*	*11*	*12*	*14*	*15*	*16*	*18*	*19*	*20*	*22*	*23*	*24*
5/4"	*4*	*5*	*7*	*9*	*10*	*12*	*13*	*15*	*16*	*18*	*20*	*21*	*23*	*24*	*26*	*27*	*29*
3/2"	*4*	*6*	*8*	*9*	*11*	*13*	*14*	*15*	*18*	*20*	*22*	*23*	*25*	*27*	*29*	*30*	*32*
2"	*5*	*7*	*9*	*11*	*13*	*15*	*17*	*19*	*21*	*23*	*25*	*28*	*30*	*32*	*34*	*36*	*38*
5/2"	*6*	*9*	*11*	*14*	*16*	*19*	*21*	*24*	*26*	*29*	*31*	*34*	*37*	*39*	*42*	*44*	*47*
57	*5*	*7*	*10*	*12*	*14*	*16*	*18*	*21*	*23*	*25*	*27*	*29*	*31*	*34*	*36*	*38*	*40*
64	*6*	*8*	*10*	*13*	*15*	*18*	*20*	*22*	*25*	*27*	*29*	*32*	*34*	*36*	*39*	*41*	*44*
70	*6*	*9*	*11*	*14*	*16*	*19*	*21*	*24*	*26*	*29*	*31*	*34*	*37*	*39*	*42*	*44*	*47*
82	*7*	*10*	*13*	*16*	*19*	*21*	*24*	*27*	*30*	*33*	*36*	*39*	*42*	*45*	*48*	*51*	*53*
94	*8*	*11*	*14*	*18*	*21*	*24*	*27*	*31*	*34*	*37*	*39*	*42*	*45*	*48*	*54*	*57*	*60*
106	*9*	*12*	*16*	*19*	*23*	*27*	*30*	*34*	*38*	*41*	*45*	*48*	*52*	*56*	*59*	*63*	*66*
119	*10*	*14*	*17*	*21*	*25*	*29*	*33*	*37*	*41*	*45*	*49*	*53*	*57*	*61*	*65*	*69*	*73*
131	*10*	*15*	*19*	*23*	*28*	*32*	*36*	*41*	*45*	*49*	*54*	*58*	*63*	*67*	*71*	*76*	*80*
143	*11*	*16*	*21*	*25*	*30*	*35*	*39*	*44*	*49*	*53*	*58*	*63*	*67*	*72*	*77*	*81*	*86*
156	*12*	*17*	*22*	*27*	*32*	*37*	*42*	*47*	*52*	*58*	*63*	*68*	*73*	*78*	*83*	*88*	*93*

En consecuencia, cuando la caldera ha parado por la acción del termostato, en la instalación se producirán siempre unas pérdidas de calor, cuya cuantía dependerá de:

- *El aislamiento de la caldera*
- *El tipo de quemador*
- *El aislamiento de las tuberías*
- *El tiempo en que permanece parada la caldera* t_2

es decir:

$$Pérdidas\ P_p = (A_1 + B_1 + C_1)\ t_2 = Pérdidas_{\ x}\ t_2$$

pérdidas que pueden hacer bajar ostensiblemente el rendimiento de la instalación.

Cálculo de la dilatación en tuberías.- Durante el trazado de las tuberías, se debe tener en cuenta la dilatación de las mismas; este aumento de longitud se puede determinar mediante la expresión:

$\Delta L = L\ \alpha\ \Delta T$, *en la que:*

- ΔL *es la longitud que la tubería ha dilatado, en mm*
- L *es la longitud inicial de la tubería en m.*
- α *es el coeficiente de dilatación que para el*
  - *acero a 80ºC vale 0,96 mm por metro*
  - *cobre a 80ºC vale 1,36 mm por m*
  - *latón a 80ºC vale 1,52 mm por m*
- ΔT *es la diferencia de temperaturas entre la* T_{media} *del fluido y la* $T_{ambiente}$

IX.9.- CONSIDERACIONES ECONÓMICAS

Para el cálculo económico de la explotación de una instalación se utiliza el llamado rendimiento estacional que abarca un período de tiempo más largo, como podría ser el invierno o el verano.

Calculo del rendimiento estacional

La potencia desarrollada por la caldera durante un tiempo de funcionamiento t_1 *es:* $N = N_u\ t_1$

El consumo de combustible: $G = \dfrac{N}{(PCI)\ \eta_i} = \dfrac{N_u\ t_1}{(PCI)\ \eta_i} \quad \Rightarrow \quad \eta_i = \dfrac{N_u\ t_1}{(PCI)\ G}$

Las pérdidas de la instalación con caldera parada por el termostato durante el tiempo t_2 *son:*

$$P_p = (A_1 + B_1 + C_1)\ t_2 = Pérdidas_{\ x}\ t_2$$

Potencia neta aprovechada: $N_n = N - N_p = N_u\ t_1 - Pérdidas_{\ x}\ t_2$

Rendimiento estacional de la instalación:

$$\eta_{est} = \frac{N_n}{(PCI)\ G} = \frac{N_u\ t_1 - Pérd_{\ x}\ t_2}{(PCI)\ G} = \eta_i - \frac{Pérd_{\ x}\ t_2}{(PCI)\ G} =$$

$$= \eta_i - \frac{Pérd_{\ x}\ t_2}{(PCI)\ \dfrac{N_u\ t_1}{(PCI)\ \eta_i}} = \eta_i - \frac{\eta_i\ Pérd_{\ x}\ t_2}{N_u\ t_1} = \frac{\eta_i\ (N_u\ t_1 - Pérd_{\ x}\ t_2)}{N_u\ t_1} = \frac{\eta_i\ (N - N_p)}{N} = \frac{\eta_i\ N_n}{N}$$

IX.10.- RESUMEN DE RENDIMIENTOS

Pérdidas de calor sensible q_{hs} *+ Pérdidas inquemados* $q_i \approx 9\%$

$$\text{CALDERA}\begin{cases} 1)\ \text{Rendimiento de la combustión: } \eta_c = 100 - (q_{hs} + q_i\ ) = 91\% \\ \quad \text{Pérdidas por radiación y convección: } q_{rc} \approx 2\% \\ 2)\ \text{Rendimiento útil de la caldera: } \eta_u = \eta_c - q_{rc} = 89\% \\ \quad \text{Pérdidas en las tuberías: } q_t \approx 3\% \end{cases}$$

$$\text{INSTALACIÓN}\begin{cases} 3)\begin{cases} \text{Rendimiento instalación puntual: } \eta_i = \eta_u - q_t = 86\% \\ \text{Pérdidas en la instalación con la caldera parada: } N_p \end{cases} \\ 4)\ \text{Rend. estacional de la instalación: } \eta_{estac} = \dfrac{\eta_i\ (N - N_p\ )}{N} = \dfrac{\eta_i\ N_n}{N} \Rightarrow \begin{cases} \text{en invierno: } 77\% \\ \text{en verano: } 66\% \end{cases} \end{cases}$$

Estos valores de los rendimientos son orientativos, similares a los que tendría una caldera de chapa. Los valores del rendimiento estacional pueden variar sustancialmente por cuanto dependen del tipo de regulación, del exceso de potencia de la caldera y del aislamiento.

Ejemplo IX.2.- *Se trata de una caldera que se va a utilizar para la producción de agua caliente sanitaria. En invierno, como la caldera va a trabajar mucho más tiempo que en verano, el rendimiento estacional será menor en verano que en invierno.*

Datos: Caldera de 18.000 Kcal/hora

Combustible, gasóleo de PCI = 8.900 Kcal/litro

Pérdidas térmicas en tuberías cuando está en funcionamiento la caldera, 3%

Pérdidas estimadas en la instalación (caldera y tuberías) cuando está parada por termostato, 1.200 Kcal/hora

Tiempo medio que funciona la caldera durante el día; en invierno 11 horas; en verano 6 horas

Para determinar el rendimiento estacional en invierno y en verano, se determina en primer lugar el rendimiento puntual de la instalación que será el mismo para las dos estaciones:

$\eta_i = \eta_{útil\ caldera} - q_t = 85\% - 3\% = 82\% = 0{,}82$

Rendimiento estacional en INVIERNO

Potencia diaria desarrollada por la caldera: $N = N_u \eta_i = 18.000\ \dfrac{Kcal}{h} \times 11\ h = 198.000\ Kcal$

Consumo de combustible: $G = \dfrac{N}{(PCI)\ \eta_i} = \dfrac{198000}{8900 \times 0{,}82} = 27{,}1$ litros gasóleo día

Pérdidas diarias de la instalación: $N_p = Pérd \times t = 1200\ \dfrac{Kcal}{h}\ (24 - 11)\ horas = 15600\ Kcal$

Potencia neta aprovechada: $N_n = N - N_p = 198000\ Kcal - 15600\ Kcal = 182400\ Kcal$

Rendimiento estacional en invierno:
$$\begin{cases} \eta_{est} = \dfrac{N_n}{(PCI)\ G} = \dfrac{182400}{8900\ \frac{Kcal}{litro} \times 27{,}1\ lit} = 0{,}76 = 76\% \\ \eta_{est} = \dfrac{\eta_i\ N_n}{N} = \dfrac{0{,}82 \times 182400}{198000} = 0{,}76 = 76\% \end{cases}$$

Rendimiento estacional en VERANO

Potencia diaria desarrollada por la caldera: $N = N_u \eta_i = 18.000 \frac{Kcal}{h} \times 6\ h = 108.000\ Kcal$

Consumo de combustible: $G = \frac{N}{(PCI)\ \eta_i} = \frac{108000}{8900 \times 0,82} = 14,8$ *litros gasóleo día*

Pérdidas diarias de la instalación: $N_p = Pérd \times t = 1200 \frac{Kcal}{h}\ (24 - 6)\ horas = 21600\ Kcal$

Potencia neta aprovechada: $N_n = N - N_p = 108000\ Kcal - 21600\ Kcal = 86400\ Kcal$

Rendimiento estacional en verano: $\eta_{est} = \frac{N_n}{(PCI)\ G} = \frac{86400}{8900 \frac{Kcal}{litro} \times 14,8\ lit} = 0,66 = 66\%$

El ejemplo desarrollado considera una caldera destinada exclusivamente para producción de agua caliente sanitaria. Sin embargo, existen muchas instalaciones centralizadas en bloques de viviendas en que la caldera efectúa en invierno los servicios de calefacción y de producción de A.C.S. y en verano sólo el de A.C.S.

El rendimiento estacional en verano es muy bajo ya que hay exceso de potencia de caldera.

Ejemplo IX.3

Caldera de 200.000 Kcal/h (Calefacción + A.C.S.)
Combustible gasóleo, PCI = 8.900 Kcal/litro
Rendimiento útil de la caldera, 89%
Pérdidas en tuberías, 3%
Pérdidas estimadas en la instalación con caldera parada por termostato 4.000 Kcal/h
Consumo diario de A.C.S. en verano 6.000 lit a 45°C
Temperatura agua red en Verano 20°C
Determinar el rendimiento estacional de Verano.

Potencia diaria para calentar el agua de 20°C a 45°C: $N_n = 6000\ lit \times (45 - 20)°C = 150000\ Kcal$

Tiempo de funcionamiento de la caldera: $t = \frac{N_n}{N_u} = \frac{150000\ Kcal}{200000\ (Kcal/hora)} = 0,75\ horas$

Pérdidas diarias de la instalación: $N_p = Pérd \times t_2 = 4000 \frac{Kcal}{h}\ (24 - 0,75)\ horas = 93000\ Kcal$

Potencia diaria a desarrollar por la caldera:

$$\begin{cases} Calentamiento\ agua.....150.000\ Kcal \\ Pérdidas.....93.000\ Kcal \\ N\ .....243.000\ Kcal \end{cases}$$

Rendimiento puntual: $\eta_i = \eta_{útil\ caldera} - q_t = 89\% - 3\% = 86\% = 0,86$

Consumo de combustible: $G = \frac{N}{(PCI)\ \eta_i} = \frac{243000}{8900 \times 0,86} = 31,75$ *litros gasóleo día*

Rendimiento estacional: $\eta_{est} = \frac{N_n}{(PCI)\ G} = \frac{150000}{8900\ (Kcal/litro) \times 31,75\ litro} = 0,53 = 53\%$

CONSIDERACIONES FINALES.- Para mejorar o mantener el rendimiento estacional η_{est} con valores elevados se deberán tener en cuenta los siguientes puntos:

- Adaptar la caldera a las necesidades de la instalación.- Sabemos que la elección de la potencia calorífica de la caldera cuando se va a utilizar para calefacción, se hace para unas condiciones mínimas de temperatura exterior, que en la práctica se dan en muy pocos días. Por lo tanto, en la mayoría del período invernal habrá un exceso de potencia en la caldera.

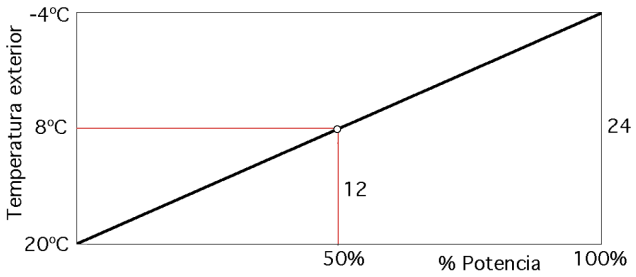


Fig IX.19.- Necesidades caloríficas

En todas las zonas climáticas de la península la temperatura media exterior (ambiente) durante el período de calefacción suele oscilar entre 7ºC y 9ºC. Para estas condiciones de temperatura exterior las necesidades caloríficas serían, de acuerdo con la gráfica representada en la Fig IX.19:

$$\frac{100}{24} = \frac{x}{12} \quad \Rightarrow \quad x = 50\%$$

Las necesidades caloríficas son del 50% de las de cálculo, Fig IX.19.

Si se utiliza un quemador de una sola etapa (1 llama) y el calibrado de la boquilla se ha hecho para una potencia del 100%, el comportamiento de funcionamiento sería el indicado en la Fig IX.20.a, observándose que el quemador funciona discontinuamente, por lo que existe un exceso de potencia del 50%, el tiempo de paro es largo y el rendimiento estacional η_{est} es bajo.

Para mejorar este rendimiento se pueden adoptar dos soluciones:

a) Sustituir la boquilla por una calibrada al 50% de la potencia, Fig IX.20.b, por lo que el quemador funcionaría en forma continua.

b) Colocar un quemador de dos etapas, en donde la boquilla de la 1ª llama y la de la 2ª llama aporten cada una de ellas el 50% de la potencia, haciendo trabajar el quemador con la 1ª llama, Fig IX.21

En esta situación el quemador funcionaría también en forma continua, pero sólo actuarían las dos boquillas al tiempo en determinados momentos, mientras que en otros sólo actuaría una.

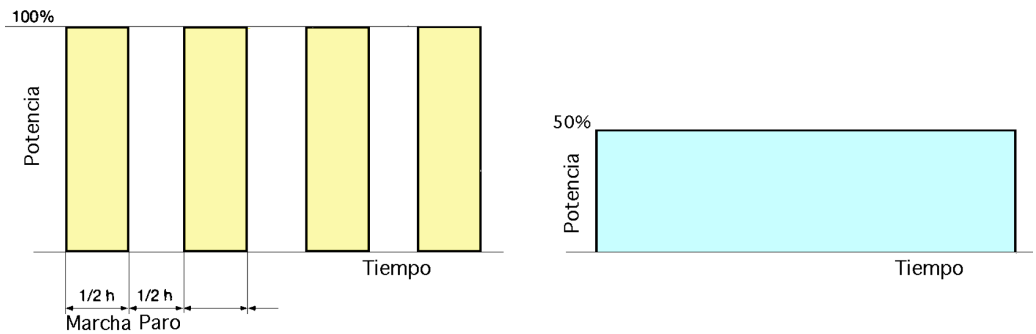


Fig IX.20.- a) Comportamiento teórico del funcionamiento de un quemador de una etapa, de potencia 100%
b) Comportamiento teórico del funcionamiento de un quemador de una etapa, de potencia 50%

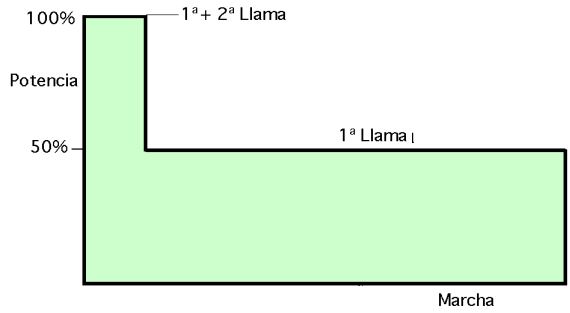


Fig IX.21.- Comportamiento teórico del funcionamiento de un quemador de dos etapas, de potencia 50% cada una

La mejor solución sería la *b* ya que si la instalación está fría, de modo automático entraría la 2ª llama, factor importante para elevar rápidamente la temperatura del agua de la caldera para evitar condensaciones, cosa que ocurre si por la noche se ha parado la instalación.

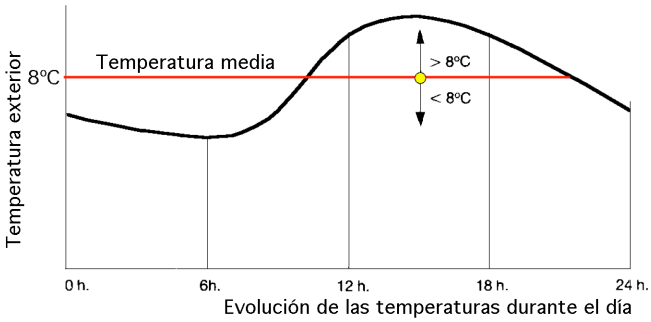


Fig IX.22.- Evolución de las temperaturas durante el día

Las gráficas de funcionamiento de los quemadores expuestas son teóricas, ya que se ha considerado una temperatura exterior constante de 8ºC que en realidad no ocurre casi nunca, ya que para una temperatura media de 8ºC siempre existen en el día unas temperaturas superiores e inferiores, Fig IX.22.

El comportamiento más real de funcionamiento de un quemador de dos llamas (boquillas), suponiendo que la instalación se pone en marcha a las 6 de la mañana y se para a las 10 de la noche, sería el representado en la gráfica de la Fig IX.23.

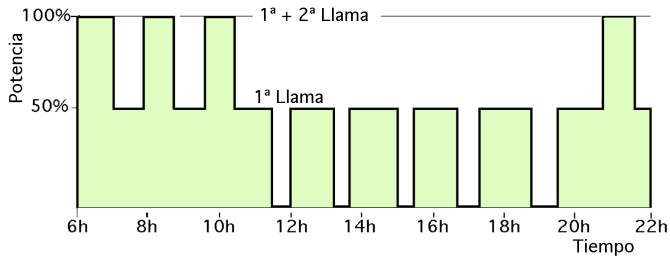


Fig IX.23.- Comportamiento real de funcionamiento de un quemador de dos llamas

- *Independizar el servicio de calefacción y el de producción de agua caliente sanitaria*.- Es conveniente utilizar una caldera sólo para el servicio de calefacción y otra para el de producción de A.C.S. El actual reglamento lo exige para potencias de caldera superiores a 50 kW ó 43.000 Kcal/h.

- *Instalar dos o más calderas en lugar de una sola*.- Con ello se consigue una adaptación más correcta a las necesidades caloríficas de la instalación. El reglamento lo obliga para potencias nominales superiores a 300 kW ó 258.000 Kcal/h.

- *Tener el quemador y caldera en óptimas condiciones de funcionamiento*.- El quemador y la caldera deben estar limpios; en estas condiciones se obtienen los mejores rendimientos.

- *Efectuar una buena regulación de la combustión*.- El contenido de CO_2 en una buena combustión, para los combustibles más utilizados es:

Gasóleo: 12÷13% CO_2 ; Gas Natural: 9 η_i = 0,80 10% CO_2 ; Carbón: 13÷16% CO_2

IX.11.- CALCULO DEL CONSUMO DE AGUA CALIENTE SANITARIA

La determinación del consumo de agua caliente sanitaria no se puede valorar matemáticamente, por lo que el cálculo se debe establecer sobre la base de datos estadísticos, que cubren las necesidades en el momento más desfavorable de la demanda.

Estos datos atienden a:
- *Clase o tipo de edificio*
- *Número de*
  - *habitaciones*
  - *personas*
  - *aparatos sanitarios de consumo*
- *Nivel de confort*

Sea cual fuere el sistema de producción de agua caliente para usos sanitarios y la temperatura máxima del fluido que deba calentarla, las necesidades de agua caliente se determinan a partir del:

- C*álculo de la necesidad máxima horaria (hora punta)*
- *Cálculo de la necesidad diaria*: Para ello es necesario haber determinado los consumos de agua caliente para cada aparato y el consumo por día para distintos tipos de edificio.

Otra forma posible de determinar el consumo diario en una vivienda es relacionando personas y habitaciones, según la igualdad:

1 Habitacion = 1,5 personas

El consumo estimado por persona y día es: 1 persona = 57 litros/día a 45ºC

Tabla IX.4.- Consumo en viviendas por utilización de aparatos, en función de la temperatura

Aparato	*Consumo (litros)*	*Temperatura ºC*
Fregadero	*20*	*60*
Lavabo	*6*	*40*
Ducha	*40 (35)*	*40 (45)*
Bidé	*6*	*40 (45)*
Bañera	*128 (110)*	*40 (45)*

- *Corrección del consumo para distintas temperaturas de utilización*.- Para transformar los consumos ofrecidos en los anteriores cuadros a distintas temperaturas de uso se puede utilizar:

$$Caudal\ necesario = Caudal\ conocido \cdot \frac{T_{conocida} - T_{agua\ fría}}{T_{deseada} - T_{agua\ fría}}$$

Tabla IX.5.- Consumo diario en viviendas, en litros, a 45ºC

Nº de habitaciones	*3*	*4*
Nº de personas	*3 a 5*	*4 a 7*
Aparatos	*Consumo (litros)*	
Fregadero	*46*	*57*
Lavabo	*18*	*23*
Ducha	*46*	*46*
Bidé	*6*	*11*
Bañera	*125*	*250*
Total	*241 litros*	*387 litros*

***Ejemplo IX.4**.- Se trata de conocer la cantidad de agua a 45ºC que se necesitará para una bañera si se sabe que se precisan 70 litros a 60ºC para una utilización. La temperatura del agua de red es de 15ºC.*

$$\frac{70\,(60 - 15)}{45 - 15} = 105 \text{ litros a } 45ºC$$

IX.2.- CALCULO DEL CONSUMO DE AGUA CALIENTE EN UN BLOQUE DE VIVIENDAS

La cantidad de agua caliente que puede considerarse como demanda para un determinado número de viviendas resulta de aplicar alguna de las formas de cálculo expuestas, procedimientos de cálculo que están relacionados entre si ya que, aproximadamente, el consumo diario equivale a 3 ó 4 veces el consumo punta en una hora. (Relación válida para más de 20 aparatos).

Una orientación en porcentaje de la distribución del consumo en viviendas, en función de las horas del día, se refleja en la gráfica de la Fig IX.24.

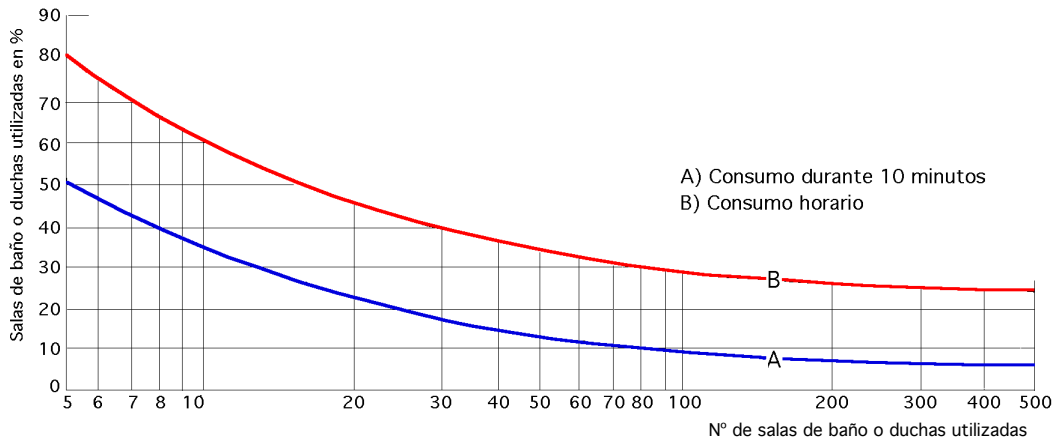


Fig IX.24.- Curvas de simultaneidad en viviendas

El cálculo del horario punta se realiza mediante la expresión:

$C_h = 1{,}2\ Y\ (L_1 R_1 + L_2 R_2)$, *en la que:*

- C_h *es el consumo horario punta en litros / hora*
- L_1 *es el consumo de la bañera en litros (110 litros a 45ºC)*
- L_2 *es el consumo de la ducha en litros (35 litros a 45ºC)*
- R_1 *es el número de bañeras y* R_2 *el de duchas*
- *Y es el coeficiente de simultaneidad horaria (Ver gráfico)*
- *1,2 es un factor de aumento por pérdidas en tuberías e incrustaciones*

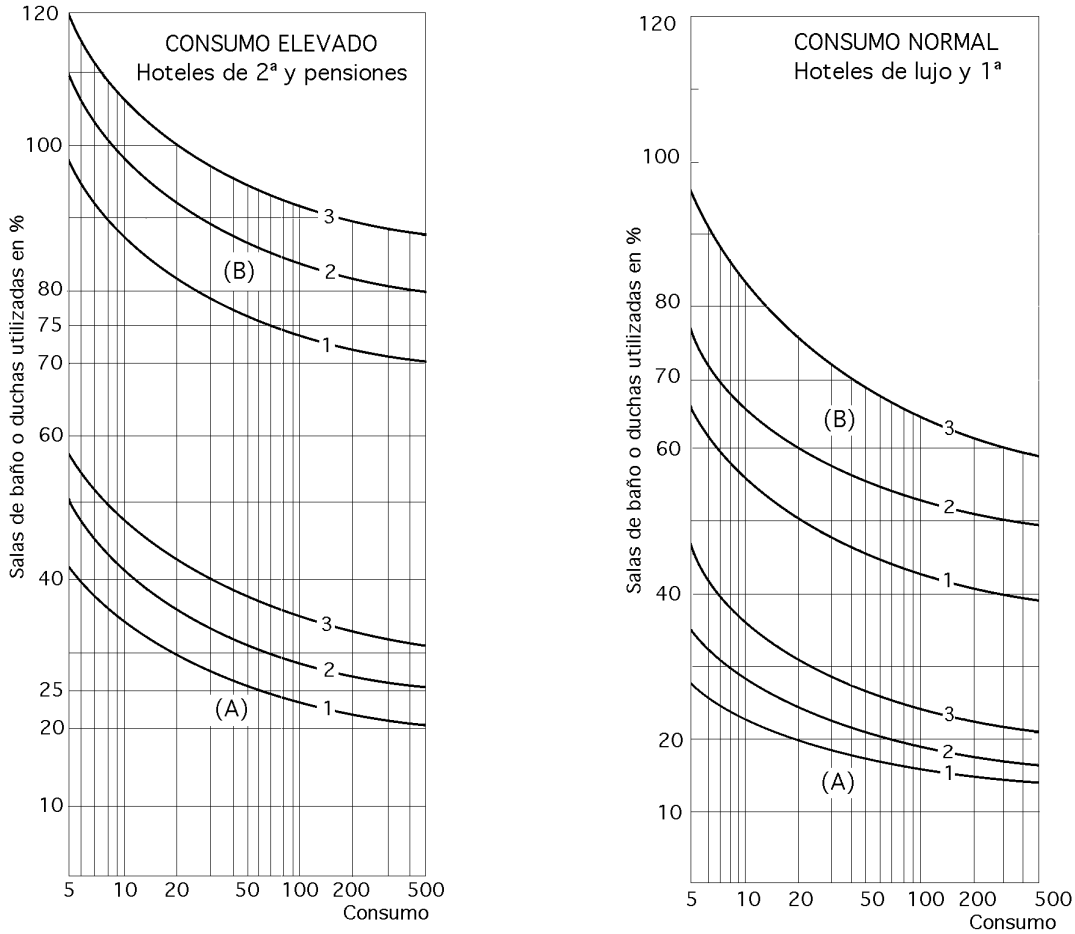


Fig IX.25.- Gráficos para el cálculo horario punta de consumo de agua

Ejemplo IX.5.- *Determinar los consumos horario punta y diario en un bloque de 40 viviendas con 3 habitaciones cada una, un cuarto de baño y un aseo con ducha.*

La curva de simultaneidad nos da para el punto 80 en el eje de abscisas (40 baños + 40 duchas), un coeficiente Y = 0,32 por lo que:

Consumo horario punta: $C_h = 1{,}2 \times 0{,}32\ (110 + 35) \times 40 = 2227\ \frac{litros}{hora}$ *a 45ºC*

Consumo diario.- Según la Tabla IX.2 el consumo diario en viviendas de 3 habitaciones se estima en 241 lts. a 45ºC, luego: $241 \times 40 = 9.640\ \frac{litros}{día}$ *a 45ºC*

Ejemplo IX.6*.- Determinar los consumos horario punta y diario en un bloque de 10 viviendas con 4 habitaciones cada una, dos cuartos de baño y un aseo con ducha.*

La curva de simultaneidad proporciona para el punto 30 (20 baños + 10 aseos) un coeficiente, Y = 0,42, por lo que:

- *Consumo horario punta:* $C_h = 1{,}2 \times 0{,}42\ \{(110 \times 20) + (35 \times 10)\} = 1285\ \frac{litros}{hora}$ *a 45ºC*

- *Consumo diario:* $87 \times 40 = 3870\ \frac{litros}{día}$ *a 45ºC*

IX.3.- CALCULO DEL CONSUMO DE AGUA CALIENTE EN HOTELES

Al igual que en el caso de viviendas, la determinación del consumo de agua caliente en hoteles se puede hacer partiendo del cálculo de las necesidades $\begin{cases} hora\ máximas\ (hora\ punta) \\ diarias \end{cases}$

Para ello, sea cual fuere el procedimiento para la producción de agua caliente, son válidos los valores de las Tablas IX.5 y 6.

El cálculo horario punta, se efectuará de acuerdo con la expresión:

$C_b = L_1\ R_1\ Y$, *en la que:* $\begin{cases} C_h\ es\ el\ consumo\ horario\ punta \\ L_1\ es\ el\ consumo\ por\ bañera\ en\ litros\ (110\ litros\ a\ 45ºC) \\ R_1\ es\ el\ número\ de\ bañeras\ o\ duchas \\ Y\ es\ el\ coeficiente\ de\ simultaneidad\ horaria \end{cases}$

Tabla IX.6.- Consumo por persona y día

Categoría hotel	*Consumo (litros) mínimo-máximo*	*Temperatura ºC*
Lujo	*140-425*	*45*
1ª Clase	*110-170*	*45*
2ª Clase	*85-140*	*45*
Otras categorías	*55-110*	*45*

Las curvas 1, 2 y 3 representan la relación $\frac{bañeras}{camas}$: $\begin{cases} Curva\ 1 \Rightarrow 0,5 \\ Curva\ 2 \Rightarrow 0,3 \\ Curva\ 3 \Rightarrow 0,15 \end{cases}$

Las habitaciones con camas dobles (matrimonio) se consideran como de dos camas.

Ejemplo IX.7.- *Determinar los consumos hora punta y diario de un hotel de 2ª categoría con 100 habitaciones individuales y 30 baños.*

Relación bañeras / camas = 0,3 (curva 2)

Coeficiente Y (Punto 30 curva 2) consumo normal = 58%

$C_h = 100 \times 30 \times 0,58 = 1.914\ \frac{litros}{hora}\ a\ 45ºC$

$Consumo\ diario: \begin{cases} 85 \times 30 = 2550\ (litros / día)\ mínimo \\ 140 \times 30 = 4200\ (litros / día)\ máximo \end{cases}$

Ejemplo IX.8.*- Determinar los consumos horario punta y diario en un hotel de 1ª categoría con 75 habitaciones dobles y 25 individuales, todas con cuarto de baño.*

Número de camas = (75 x 2) + 25 = 175

Relación $\frac{bañeras}{camas} = 0,57\ (curva\ 1)$

Coeficiente Y (punto 100 curva 1) consumo elevado = 75%

$C_h = 110 \times 100 \times 0,75 = 8.250\ \frac{litros}{hora}\ a\ 45ºC$

$$\text{Consumo diario:} \begin{cases} 110 \times 100 = 11000 \ \frac{litros}{día} \ \text{mínimo} \\ 170 \times 100 = 17000 \ \frac{litros}{día} \ \text{máximo} \end{cases}$$

$$G_{anual\ comb.} = 24 \ \frac{Z\,(T_a - T_{ext.media})\ a\ b\ c\ Q}{(T_a - T_{ext.mínima})\ (PCI)\ g_i}$$

IX.4.- CALENTAMIENTO DEL AGUA EN PISCINAS DESCUBIERTAS

Calentar el agua de una piscina requiere intercalar en paralelo, en el circuito para el tratamiento del agua, un intercambiador de calor por el que circule parte del agua aspirada por la bomba.

El intercambiador deberá dimensionarse de tal manera que pueda ceder al agua de la piscina una potencia calorífica suficiente para compensar las pérdidas de calor en el agua de la piscina y para calentar la de la red hasta la temperatura deseada.

Una temperatura del agua entre 24ºC y 26ºC se considera como ideal.

El tiempo para conseguir esta temperatura se estima entre 24 y 48 horas para las privadas y de 36 a 72 horas para las públicas.

Las pérdidas de calor diarias deben compensarse en un tiempo entre 4 y 6 horas.

Valor de las pérdidas de calor en función de la capacidad:

$$P_{calor} = V \ \frac{T_{agua\ piscina} - T_{agua\ red}}{N_{horas}} \quad \text{, en la que:} \begin{cases} P_{calor}\text{ , es la potencia calorifica en Kcal/h} \\ V\text{, es el volumen de agua en litros} \\ N_{horas}\text{ , es el numero de horas de preparación} \end{cases}$$

Valor de las pérdidas de calor en función del plano de superficie:

$$P_{calor} = K\,S\,(T_{agua\ piscina} - T_{aire\ ambiente})$$

$$\text{siendo K un coeficiente empírico de las pérdidas acumuladas por} \begin{cases} \text{evaporación en la superficie} \\ \text{conductividad de las paredes} \\ \text{convección y radiación de la superficie} \end{cases}$$

Los coeficientes K tienen, durante el tiempo de caldeo, un valor medio del orden de 28

Las pérdidas de calor totales son de la forma:

$$P_{calor} = V \ \frac{T_{agua\ piscina} - T_{agua\ red}}{N_{horas}} + 28\,S\,(T_{agua\ piscina} - T_{aire\ ambiente})$$

Durante el régimen de funcionamiento la potencia consumida diariamente es:

$$P_{consumida} = 40 \times S \times 24\,(T_{agua\ piscina} - T_{aire\ ambiente})$$

Ejemplo IX.9.- *Valorar la potencia necesaria para calentar el agua de una piscina de 150.000 litros de capacidad, 50 m^2 de superficie plano de agua, a 26°C siendo la temperatura del agua de la red de 10°C y de 5°C la del ambiente, en un tiempo de 48 horas. Valorar igualmente la potencia consumida en una jornada.*

$$P_{calor} = 150000\ \frac{26 - 10}{48} + \{28 \times 50\ (26 - 5)\} = 79.400\ \frac{Kcal}{hora}$$

$$P_{consumida} = 40 \times 50 \times 24\ (26 - 5) = 79.400\ \frac{Kcal}{día}$$

Para determinar la potencia necesaria para la producción de ACS destinada a las duchas en piscinas públicas, se pueden tomar los siguientes valores:

- *Temperatura del agua sanitaria de 37ºC, en invierno*
- *Caudal medio para cada ducha, 320 litros / hora*
- *1,5 bañistas por m^2 de superficie plano de agua*
- *1 ducha instalada por cada 50 bañistas*

En este caso la potencia instantánea para las duchas es: $P_{calor} = 320\ (37 - T_{agua\ red})\ \frac{1,5\ S}{50}$

IX.5.- CALCULO DEL CONSUMO ANUAL DE COMBUSTIBLE

La exigencia calorífica calculada para una instalación depende de las condiciones climatológicas; basadas en datos estadísticos, que pueden no corresponderse con las reales. Para hacer el cálculo del consumo por temporada de calefacción, o anual de combustible, deben aplicarse factores de corrección que hagan del valor resultante el más cercano a la realidad, en cuanto al consumo de energía, que viene determinado por la expresión:

$$G_{anual\ comb.} = 24\ \frac{Z\ (T_a - T_{ext.media})\ a\ b\ c\ Q_{pérd}}{(T_a - T_{ext.mínima})\ (PCI)\ \eta_i}$$

en la que:

- $G_{anual\ comb.}$ *es el consumo anual de combustible en kg o m^3 (calefacción)*
- Z *es el número de días de calefacción*
- T_a *es la temperatura ambiente*
- $T_{ext.\ media}$ *es la temperatura exterior media durante período de calefacción*
- $T_{ext.\ mínima}$ *es la temperatura exterior mínima*
- η_i *es el rendimiento total de la instalación (caldera, regulación, distribución, etc)*

a es un factor de reducción de la temperatura:

- *Hospitales: 1*
- *Viviendas plena calefacción: 0,95*
- *Viviendas reducción nocturna: 0,9*
- *Escuelas: 0,8*

b es un factor de reducción de servicio:

- *Viviendas calefacción continua: 1*
- *Viviendas con reducción servicio fines de semana, etc: 0,9*
- *Escuelas: 0,7*

c es un factor de corrección de la exigencia calorífica: $c = \frac{Q_t}{Q_{pnrd}}$

Q_t *pérdidas de calor por transmisión*

$Q_{pérd}$ *pérdidas térmicas totales*

$Z\ (T_a - T_{ext.\ media})$ *se corresponde a los grados día con referencia a una media de 15ºC*

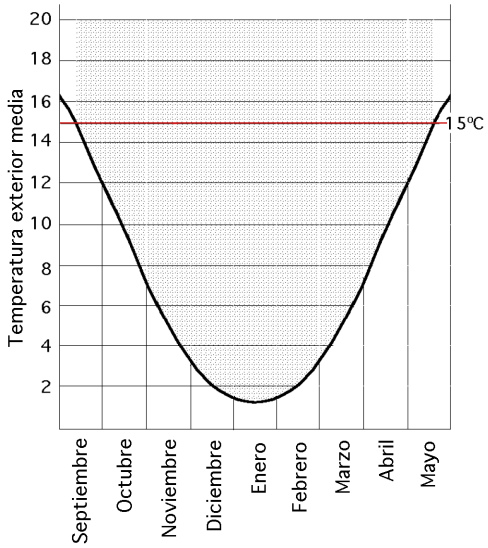


Fig IX.26
Curva anual limitada a la temporada de circulación

La temperatura mensual media es el promedio de las temperaturas diarias de todo un mes.

En la Fig IX.26 se ha representado el gráfico de la curva anual, limitada a la temporada de calefacción, con un valor límite de 15ºC de principio y final de temporada y 20ºC como temperatura normal en el interior.

En este caso el número de grados-día corresponde al área rayada, limitada por la curva, por la linea de temperatura interior y por las ordenadas del principio y final de temporada de calefacción.

El espacio entre éstas determina el número de días de calefacción.

Ejemplo IX.10

Número de días de calefacción: $Z = 140$

Temperatura ambiente: $T_a = 20ºC$

Temperatura exterior media durante el período de calefacción: $T_{ext.\ media} = 10ºC$

Temperatura exterior mínima: $T_{est.\ mínima} = 0ºC$

Factor de reducción de la temperatura: $a = 0,9$

Factor de reducción de servicio: $b = 0,9$

Factor de corrección de exigencia calorífica: $c = 0,95$

Pérdidas de calor: $Q_{Pérd} = 8.000\ Kcal/h$

Poder calorífico inferior del gasóleo: $(PCI) = 10.200\ Kcal/kg$

Rendimiento total de la instalación: $\eta_i = 0,80$

$$G_{anual\ comb.} = 24\ \frac{140 \times (20 - 10) \times 0,9 \times 0,9 \times 0,95 \times 8000}{(20 - 0) \times 10200 \times 0,8} = 1267\ kg\ de\ gasóleo\ anual$$