

GUÍAS

Rendimiento
medio
estacional de
calefacción.
Parte teórica

014



www.idae.es

Rendimiento medio
estacional en instalaciones
de calefacción.
Parte teórica



Guía IDAE: Rendimiento medio estacional en instalaciones de calefacción. Parte teórica

Esta guía continúa la Colección de Ahorro y Eficiencia Energética en Climatización

Edita: IDAE

Maquetación e Impresión: Composiciones RALI S.A.

Madrid, octubre de 2017

La presente guía ha sido redactada por la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR) para el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), con el objetivo de promocionar la eficiencia en el uso final de la energía en los edificios. Agradecemos a todas las personas que han participado en la elaboración de esta guía y en particular a Pedro G. Vicente Quiles y al Comité Técnico de ATECYR responsable de su revisión técnica.

Autores: Ricardo García San José, Ingeniero Industrial (Vicepresidente del Comité Técnico de Atecyr) y Arcadio García Lastra, Ingeniero Industrial (Secretario Técnico de Atecyr)

Las referencias técnicas normativas están actualizadas a 2016.

Cualquier reproducción, parcial o total, de la presente publicación debe contar con la aprobación por escrito del IDAE.

Índice de contenido

1. Introducción	11
2. Comité Europeo de Normalización (CEN)	13
2.1. Relación entre las normas y la EPBD.....	14
2.2. Proceso de cálculo de la eficiencia energética	16
3. Estado del arte	21
4. Análisis de las normas CEN	23
4.1. Generalidades. Definición de subíndices adoptada.....	24
4.2. Periodo del cálculo	26
4.3. Condiciones de operación.....	28
4.4. Indicadores de la eficiencia energética	28
4.5. Coeficientes de paso legislados	29
4.6. Métodos detallados y simplificados	31
4.7. Subdivisiones del sistema de calefacción.....	32
4.8. Cálculo de la demanda energética y pérdidas térmicas recuperadas	32
5. Servicio de calefacción	37
5.1. Subsistema de emisión.....	37
5.1.1. Energía auxiliar.....	38
5.1.1.1. Energía auxiliar recuperada.....	41
5.1.2. Pérdidas térmicas	41
5.1.2.1. Método a partir del uso de indicadores de eficiencia.....	43
5.1.2.2. Método a partir del incremento de la temperatura interior	53
5.2. Subsistemas de distribución	55
5.2.1. Energía auxiliar.....	56
5.2.1.1. Cálculo de la energía auxiliar en los subsistemas de distribución.....	56
5.2.1.2. Demanda de energía hidráulica anual $W_{CLF,dst,hydr,anl}$	57
5.2.1.3. Factor de energía consumida para el funcionamiento de la bomba $e_{CLF,dst}$	62
5.2.1.4. Funcionamiento intermitente de las bombas	67
5.2.1.5. Valores tabulados de energía auxiliar	69
5.2.1.6. Energía auxiliar recuperable del subsistema de distribución.....	71

5.2.2. Cálculo de la pérdida térmica	71
5.2.2.1. Valores tabulados de pérdidas térmicas en el subsistema de distribución	76
5.2.2.2. Pérdidas térmicas recuperables y no recuperables del subsistema de distribución	77
5.2.3. Cálculo de la temperatura de impulsión, retorno y media	77
5.3. Subsistemas de generación. Calderas	82
5.3.1. Cálculo de las pérdidas térmicas basado en la tipología del generador	85
5.3.2. Cálculos basados en la eficiencia del generador	90
5.3.2.1. Generación con varios generadores	92
5.3.2.2. Generadores mixtos	93
5.3.2.3. Energía auxiliar total	94
5.3.2.4. Pérdidas térmicas en el subsistema de generación	97
5.3.2.5. Pérdidas térmicas recuperables	103
5.3.2.6. Temperaturas de trabajo medias	103
5.3.3. Método cíclico	109
5.3.3.1. Cálculo de la energía auxiliar en el subsistema de generación	111
5.3.3.2. Cálculo de las pérdidas térmicas del subsistema de distribución	113
5.3.3.3. Generadores de una etapa	119
5.3.3.4. Generadores multietapa y modulantes	122
5.3.3.5. Calderas de condensación	126
5.3.3.6. Procedimientos de cálculo pérdidas energéticas del subsistema de generación	130
5.3.3.7. Generadores múltiples	133
6. Servicio de agua caliente sanitaria	135
6.1. Distribución	135
6.1.1. Cálculo de la energía auxiliar	138
6.1.1.1. Funcionamiento intermitente	143
6.1.1.2. Energía auxiliar recuperable	143
6.1.2. Cálculo de las pérdidas térmicas	144
6.1.2.1. Cálculo en ramales individuales	145
6.1.2.2. Métodos de cálculo en ramales individuales	145
6.1.2.3. Cálculo en circuito cerrado (recirculación)	151
6.1.2.4. Accesorios y tomas de los usuarios	154
6.1.3. Pérdidas recuperables para el servicio de calefacción	154
6.2. Generación	155
6.2.1. Energía auxiliar	155
6.2.1.1. Energía auxiliar recuperable	157
6.2.2. Cálculo de las pérdidas térmicas	157
6.2.2.1. Calentamiento indirecto	158
6.2.2.2. Calentamiento directo. Viviendas unifamiliares	159
6.2.2.3. Calentamiento directo. Edificios terciarios. Calderas de gas o gasóleo	160

6.2.2.4. Calentamiento directo. Edificios terciarios. Acumulación por calentamiento mediante combustibles gaseosos	161
6.2.2.5. Calentamiento directo. Edificios terciarios. Acumulación por calentamiento eléctrico.....	163
6.2.3. Pérdidas térmicas recuperables para el servicio de calefacción.....	165
7. Sistemas solares térmicos	167
7.1. Energía solar térmica	170
7.2. Energía auxiliar	174
7.3. Pérdidas térmicas	175
7.4. Energía térmica recuperable para calefacción.....	176
7.5. Reducción del tiempo del generador de apoyo	177
7.5.1. Reducción del consumo de energía auxiliar	177
7.5.2. Reducción de las pérdidas de calor	177
8. Anexo I: Ejercicios de aplicación normas CEN	179
8.1. Calefacción	179
8.2. Agua caliente sanitaria	201
8.3. Agua caliente sanitaria con apoyo solar.....	205
8.4. Acumulación de ACS por calentamiento directo con encendido discontinuo	212
9. Anexo II. Listado de normas CEN.....	221
10. Bibliografía	231
10.1. Capítulo 2	231
10.2. Capítulo 4	231
10.3. Capítulo 5	232
10.4. Capítulo 6	234
10.5. Capítulo 7	235

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Términos utilizados como variables (ver también punto 4.3 de este documento):

A	Área.
b	Factor de reducción.
c	Coeficiente.
Ce	Calor específico.
d	Diámetro.
e	Factor de consumo. Valor inverso de la eficiencia $e=1/\eta$.
E	Energía final. Térmica o eléctrica. Depende del generador.
f	Factor de conversión energético.
GD	Grados día.
h	Coeficiente de convección.
k	Factor de recuperación.
L	Longitud.
n	Número.
P	Potencia (térmica o eléctrica).
Q	Energía térmica.
ren	Renovación.
t	Tiempo total de operación.
T	Temperatura.
U	Transmitancia térmica.
V	Caudal volumétrico o volumen.
X	Fracción molar.
W	Energía auxiliar eléctrica consumida por el subsistema.
Z	Profundidad.
β	Carga parcial media del subsistema.
ΔT	Diferencia de temperatura de diseño.
ΔP	Diferencia lineal de presión.
α	Factor de pérdida.

ρ	Densidad.
η	Eficiencia energética del subsistema o equipo.
$\bar{\eta}$	Eficiencia energética media.
λ	Conductividad térmica de un material.
ξ	Factor de recuperación de energía térmica.
Φ	Potencia térmica de diseño.
Ψ	Transmitancia térmica lineal.

Términos utilizados como subíndices (ver también punto 4.3 de este documento):

abs	Energía térmica absorbida por la instalación solar térmica.
acm	Acumulación.
adc	Adicional, generalmente <i>in situ</i> .
agua	Agua líquida.
air	Aire. En particular aire húmedo.
amb	Ambiente.
asl	Aislamiento.
Anch	Longitud menor de la planta del edificio.
anl	Anual.
ant	Anterior.
apy	Apoyo.
alr	Alrededores.
aux	Energía auxiliar. En este documento energía auxiliar eléctrica.
bmb	Bomba.
chm	Chimenea.
clf	Calefactado (local calefactado).
cmb	Combustión.
cnd	Condensación.
cntr	Sistema de control (en el periodo considerado).
cntr	Transferencia de calor por control de la temperatura del recinto.
cnx	Conexiones.
corr	Corregido.
cr	Convección-radiación.

drc	Directo.
dsñ	Diseño.
efc	Eficiencia.
elc	Energía eléctrica del subsistema.
emp	Empotrado.
emsr	Emisor.
ens	Ensayo.
ent	Consumo energético térmico del subsistema. Siempre aparecerá en último lugar.
env	Envolvente.
eql	Equilibrado.
est	Estacional o estequimétrico.
ext	Exterior.
fnl	Final.
gen	Generación
gnr	Generador.
h	Hora.
hum	Humos.
hdr	Hidráulico.
i	Subíndice para indicar el sistema en estudio. i=CLF, sistema de calefacción; i=ACS, sistema de Agua Caliente Sanitaria. Siempre aparecerá en primer lugar.
imp	Impulsión.
in	Interior
inc	Incrementada.
ind	Indirecto.
ini	Inicial.
int	Intermedia.
intr	Intermitente, intermitencia.
j	Subíndice para indicar el subsistema en estudio. j=ems, subsistema de emisión; j=dst, subsistema de distribución; j=gen, subsistema de generación. Siempre aparecerá en segundo lugar.
loc	Local, interior.
Lrg	Longitud mayor de la planta del edificio.
max	máximo.
med	Media.

min	Mínimo.
mns	Mensual.
n	Nominal (fijadas unas variables de entrada).
nmn	Nominal.
OFF	Apagada.
ON	Encendida.
otr	Otros.
P0	En espera.
pln	Planta.
prd	Pérdida térmica del subsistema.
psc	Transferencia de calor por posicionamiento del emisor.
qmd	Quemador.
rcp	Recuperación de energía térmica.
rcb	Recuperable.
rcr	Recirculación.
rdc	Radiante.
real	Real.
ren	Renovación.
rfr	Referencia.
sec	Seco.
sld	Energía calorífica suministrada por el subsistema. Siempre aparecerá en último lugar.
slr	Energía solar
scc	Secos.
str	Transferencia de calor por estratificación de la temperatura.
tot	Total.
trc	Traceado de tubería.
trm	Térmico.
tub	Tubería.
vnt	Ventilador.
vvn	Viviendas.
zon	Zona térmica.
H ₂ O	Vapor de agua.

1 Introducción

El objetivo de esta guía es definir los aspectos más importantes para la estimación del rendimiento estacional de las instalaciones de calefacción según lo tipifican las normas europeas desarrolladas por el Comité Europeo de Normalización (CEN).

Independientemente del sistema de calefacción instalado las instalaciones se componen de:

- Producción de calor.
- Distribución.
- Emisión.
- Control.

El rendimiento estacional de la instalación depende directamente del rendimiento de cada uno de sus componentes; el control interrelaciona a todas las partes de la instalación; por ello para la estimación del rendimiento estacional es preciso contemplar el comportamiento de todos los componentes, asignando a cada uno de ellos un factor penalizador para obtener la respuesta global de los sistemas.

El rendimiento medio estacional de las instalaciones de calefacción permite que se evalúen las necesidades finales y primarias de energía de los edificios, teniendo en cuenta las horas de funcionamiento de las calderas, los arranques, las paradas, y horas de disponibilidad (en función del tipo de caldera y de la distribución temporal de la carga térmica del edificio) y del sistema de distribución, emisión y control (en función del tipo, dimensión y condiciones climáticas exteriores).

Conocer el rendimiento medio estacional de las instalaciones permite calcular los consumos a partir de la demanda energética del edificio. Una aproximación de esta demanda se podría obtener a partir de los grados día, y esto es muy útil en las primeras fases de edificios de nueva construcción en las que aún no están completamente definidos los sistemas. En obra existente la estimación de este consumo puede servir para valorar energéticamente cualquier medida de mejora sobre la situación existente.

Por todo lo anterior, el desarrollo de esta guía repercutirá en disminuir realmente la demanda energética en instalaciones de calefacción y da herramientas contrastadas a las ingenierías/inspectores para realizar su trabajo.

De todas las normas solo se analizan las que se refieren a los consumos de los sistemas dedicados a abastecer la demanda de calefacción y agua caliente sanitaria.

Finalmente indicar que se desarrollan varios ejemplos (capítulo 8) donde se describe por completo la metodología utilizada en este documento.

2 Comité Europeo de Normalización (CEN)

La Comisión Europea ha mandado al CEN (Mandato 343, 30 de enero de 2004) crear un conjunto de normas para contribuir a la implementación nacional por parte de los Estados miembros de la EPBD¹. Los Comités Técnicos (TC) de CEN que participaron en la preparación de las normas son:

- CEN/TC 89 Prestaciones térmicas de los edificios y de los componentes de los edificios.
- CEN/TC 156 Ventilación de edificios.
- CEN/TC 169 Luz e iluminación.
- CEN/TC 228 Sistemas de calefacción en edificios.
- CEN/TC 247 Automatización de edificios, control y gestión de edificios.

El Comité CEN/TC TF 173 (proyecto de eficiencia energética de los edificios) tiene la función de asegurar que las normas preparadas en los diferentes comités sean consistentes entre sí y aseguren su homogeneidad.

En total el CEN ha desarrollado más de 40 normas que se han agrupado en cinco secciones atendiendo a los requisitos de la directiva EPBD (en el anexo II «*Listado de Normas del CEN*» se puede consultar el nombre completo de cada norma y la sección a la que corresponden):

- Sección 1: cálculo global de la energía en los edificios: Conexión entre la energía suministrada y los índices de eficiencia energética.
- Sección 2: cálculo de la energía suministrada: Conexión entre las necesidades de energía del edificio y la energía suministrada para calefacción, refrigeración, ventilación, ACS e iluminación.
- Sección 3: cálculo de las necesidades de energía para calefacción y refrigeración. Dos vías: métodos simplificados y métodos generales².
- Sección 4: normas de apoyo a la sección 3:
 - 4A: prestaciones térmicas de los componentes de los edificios.
 - 4B: ventilación e infiltración del aire.
 - 4C: calentamiento y protección solar. Normas para estimar temperatura internas sin aire acondicionado y efecto de los dispositivos de protección solar.
 - 4 D: condiciones interiores y exteriores.
 - 4 E: definiciones y terminología.

¹ Energy Performance of Buildings Directive EPBD.

² UNE EN 15265: pruebas para validación de software. No cubre sistemas. El método debe ser decidido a nivel nacional

- Sección 5: monitorización y verificación. Se incluyen también normas relacionadas con los artículos 8 (artículo 14 de la refundición) y 9 (artículo 15 de la refundición) de la directiva EPBD sobre inspecciones.

2.1. Relación entre las normas y la EPBD

La Directiva 2002/91/EC sobre Eficiencia Energética de los Edificios (Energy Performance of Buildings Directive EPBD) y su refundición, la Directiva 2010/31/UE, tienen como objetivo aumentar la eficiencia energética³ en los edificios así como reducir el impacto medioambiental de la energía utilizada en los edificios.

La Directiva se divide en cuatro principales partes que se refieren a:

- Metodología de cálculo.
- Requisitos mínimos de eficiencia energética. Se pueden utilizar diferentes grados de complejidad que pueden ser elegidos de acuerdo a criterios relevantes relacionados con el objeto de cálculo para determinar los datos necesarios para los certificados energéticos.
- Certificado de eficiencia energética.
- Inspección de sistemas de calefacción (calderas con potencias nominales útiles superiores a 20 kW) y aire acondicionado (potencias nominales útiles superiores a 12 kW).

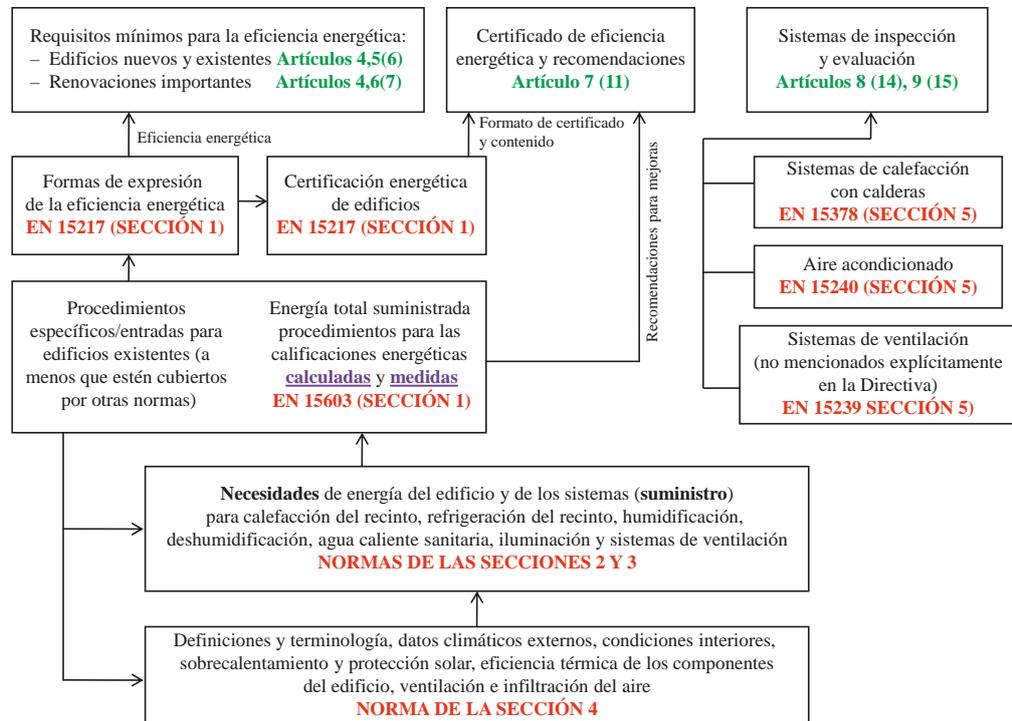


Imagen 2.1. Relación articulado EPBD y Normas. CEN

³ Ser eficiente significa [5.2] hacer más con menos como dice el Libro Verde de la UE o, en términos energéticos, prestar un mejor servicio con menor consumo.

En la imagen 2.1 se ilustra cómo las normas CEN están relacionadas con los artículos de la EPBD que definen los requerimientos a cumplir y las normas que suministran la metodología de cálculo (el número entre paréntesis hace referencia al articulado en la refundición de la Directiva).

Los sistemas de inspección y evaluación (y las normas CEN ligadas a estos sistemas) son independientes de los restantes pasos que si están relacionados como se muestra en la imagen 2.1.

El contenido del certificado de eficiencia energética se expone en la norma EN 15217. Esta norma también incluye la definición de índice de eficiencia y diferentes opciones para la clasificación de eficiencia energética.

Las normas relacionadas con las inspecciones periódicas de caldera y aire acondicionado suministran guías para la inspección de las calderas y sistemas de calefacción (UNE EN 15378), sistemas de ventilación (UNE EN 15239), y sistemas de aire acondicionado (UNE EN 15240). A su vez, suministran diferentes niveles de inspección.

Cabe destacar que la calificación, según UNE EN 15603, permite dos tipos de calificación:

- Calificación calculada, basada en el uso de energía computada bajo las condiciones estándar de certificación (calificación asegurada). Esta es la que actualmente está en España legislado según el RD 235/2013 [2.1].
- Calificación medida, basada en energía medida y consumida realmente por el edificio (calificación operacional).

La evaluación energética calculada bien puede ser:

- Estándar, basada en el clima convencional, uso, alrededores y datos de entrada relativos a los ocupantes, definida a nivel nacional. Esta evaluación se denomina evaluación de diseño cuando se aplica a un edificio planificado no ejecutado.
- Adaptada, calculada con el clima, ocupación, y los climas adaptados al edificio real y al tipo de edificio.

Tipo	Nombre	Datos de entrada			Utilidad o propósito
		Uso	Clima	Edificio	
Calculada	Diseño	Estándar	Estándar	Diseño	Permiso de obra, certificado sujeto a condiciones
	Estándar	Estándar	Estándar	Real	Certificado de eficiencia energética, reglamentación
	Adaptada	Dependiendo del propósito		Real	Optimación, validación, planificación de rehabilitación
Medida	Funcional	Real	Real	Real	Certificado de eficiencia energética, reglamentación

Tabla 2.1. Tipos de certificación según UNE EN 15603

2.2. Proceso de cálculo de la eficiencia energética

El cálculo de la eficiencia energética se basa en las características del edificio y de su sistema técnico⁴ instalado para abastecer la demanda energética del edificio. La secuencia de cálculo propuesta por las normas CEN es la siguiente:

1. Calcular las necesidades de energía del edificio para calefacción y refrigeración. Las necesidades del edificio es el resultado de la energía necesaria para cumplir con los requerimientos del usuario para calefacción, refrigeración, iluminación, etc.; menos las ganancias naturales como calefacción pasiva, ventilación natural y las ganancias internas como ocupantes, iluminación, etc.

Para llevar a cabo este cálculo se necesitan datos de las exigencias del clima interior, las ganancias térmicas internas (posteriormente cargas térmicas para combatir por los equipos [2.2]), las propiedades del edificio y las condiciones climáticas externas (para esto el CEN propone las normas que pertenecen a las secciones 3 y 4, en España está resuelto con los programas de simulación computacional reconocidos para la verificación de la Sección HE-1 del Documento Básico de Ahorro de Energía y que se pueden encontrar en la página oficial del Código Técnico de la Edificación). En este primer paso, solo se consideran las propiedades del edificio y no las de los sistemas de calefacción/refrigeración y facilita como resultado la energía a suministrar por las emisores de calor o la energía a extraer del recinto acondicionado. Actualmente, en nuestra legislación energética de los edificios esto lo hacen los programas reconocidos para la certificación energética o cumplimiento de la Sección HE-0 del Código Técnico de la Edificación, Herramienta Unificada LIDER-CALENER [2.3].

2. Cálculo de la energía suministrada al edificio para calefacción y refrigeración, ventilación y agua caliente sanitaria teniendo en consideración las características de todos los elementos anteriores e incluyendo el control y la automatización del edificio usando las normas listadas en la sección 2 recogidas en el anexo II de este documento.

Los cálculos tienen en cuenta la emisión de calor, la distribución, el almacenaje y la generación e incluyen la energía auxiliar necesaria para ventiladores, bombas, etc. Actualmente, en nuestra legislación energética de los edificios esto lo hace el programa reconocido para la certificación energética o cumplimiento de la Sección HE-0 del Código Técnico de la Edificación [2.3 y 2.4].

3. Cálculo de los índices de eficiencia energéticos globales (energía primaria, emisiones de CO₂) combinando los resultados del cálculo anterior para los diferentes objetivos y de los diferentes combustibles, utilizando a su vez las normas listadas en la sección 1 del anexo II de este documento. Actualmente esto se encuentra legislado en el RD 235/2013 [2.1] apoyado en los documentos Escala de calificación energética para edificios de nueva construcción [2.5] y Escala de calificación energética para edificios existentes [2.6].

Las emisiones de CO₂ emitidas se contabilizan como positivas si son resultado de la obtención de electricidad o calor por medio de sistemas de energías renovables u otras energías primarias utilizadas. En cambio, se contabilizan como emisiones negativas las procedentes de transformaciones de energía primaria que se exporta al mercado o se genera en el edificio.

⁴ Equipamiento técnico [5.5] para calefacción, refrigeración, ventilación, agua caliente sanitaria, iluminación y producción de electricidad.

A continuación en la imagen 2.2 se muestra esquema de cálculo en invierno (el flujo de energía sería en sentido contrario en caso de aportación de frío al sistema):

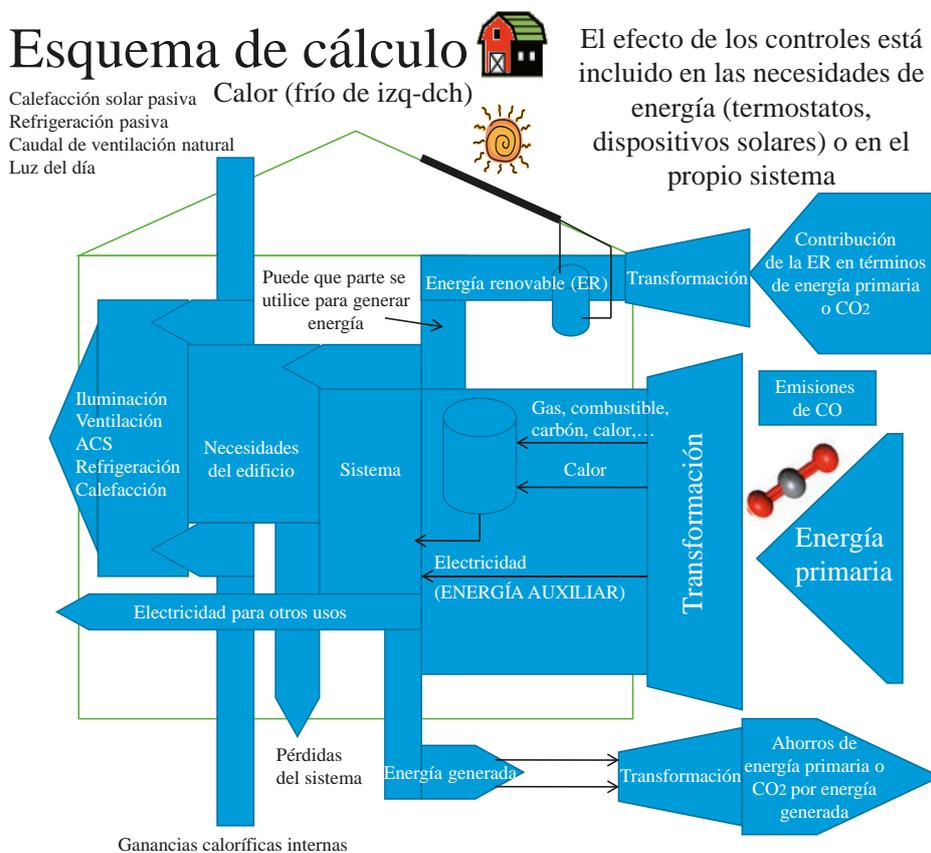


Imagen 2.2. Esquema de cálculo en invierno

Se puede observar en la imagen 2.2 que existe una interrelación entre los dos primeros pasos ya que las pérdidas de los sistemas que se recuperan pueden ser contabilizadas como ganancias en la parte de cálculos del edificio.

Queda reflejado en la imagen 2.2 que tanto la energía procedente de energías renovables como la procedente de transformación de otras energías como el gas, carbón o biomasa tiene la posibilidad de almacenarse para ser utilizada en el momento que se requiera.

La imagen 2.3 muestra cómo están conectados los flujos de energía.

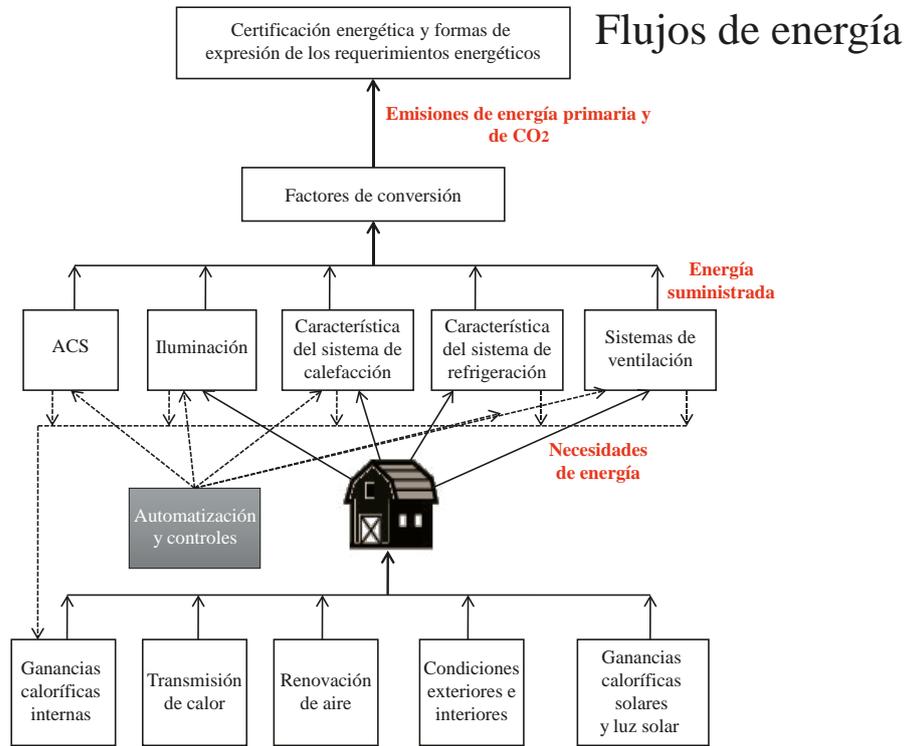


Imagen 2.3. Flujos de energía

Como se aprecia en la imagen 2.3, el sistema de automatización y control es una parte muy importante ya que influye directamente en el rendimiento de los equipos, así como las pérdidas del sistema y por tanto en la eficiencia del edificio. Por ello, se requiere un control de estos sistemas y poder así optimizar la eficiencia del edificio y mejorar su certificación.

Es útil tener una idea esquemática de las conexiones entre normas y por tanto qué normas son necesarias para pasos siguientes. Por ello se muestran las imágenes 2.4 y 2.5, la primera explica el esquema de diagrama de conexión para la parte del edificio y la segunda para sistemas de aire acondicionado.

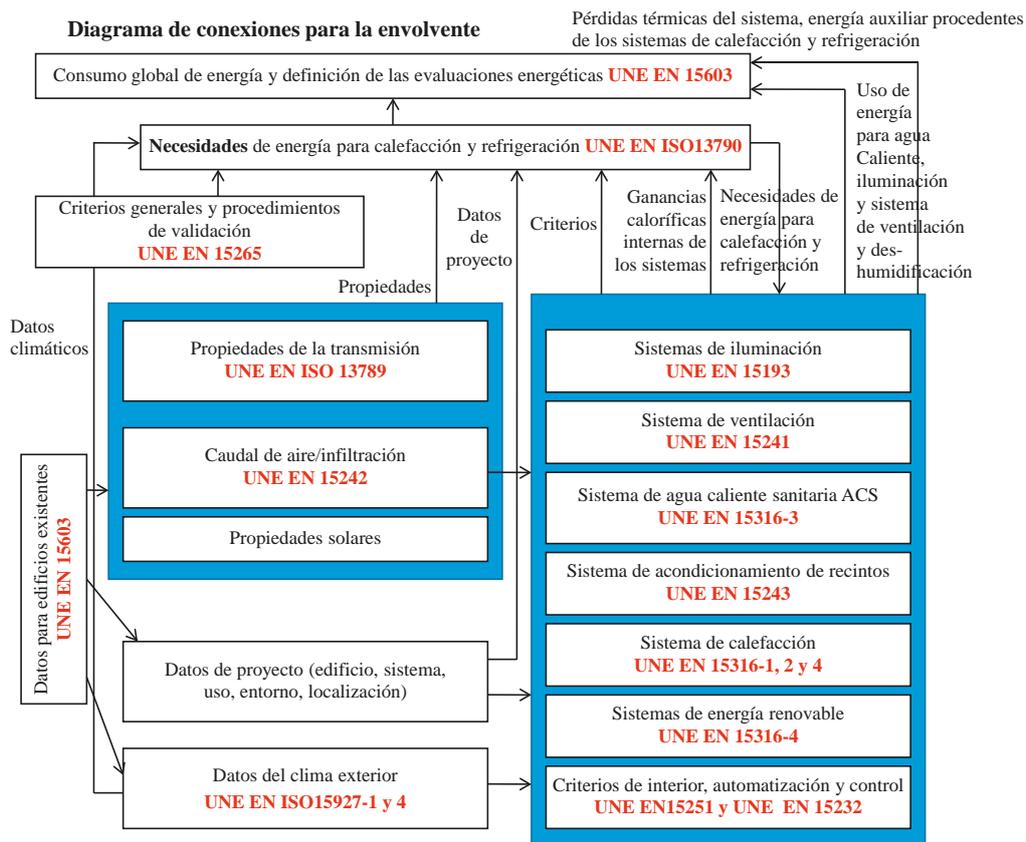


Imagen 2.4. Conexiones de normas que afectan a la demanda

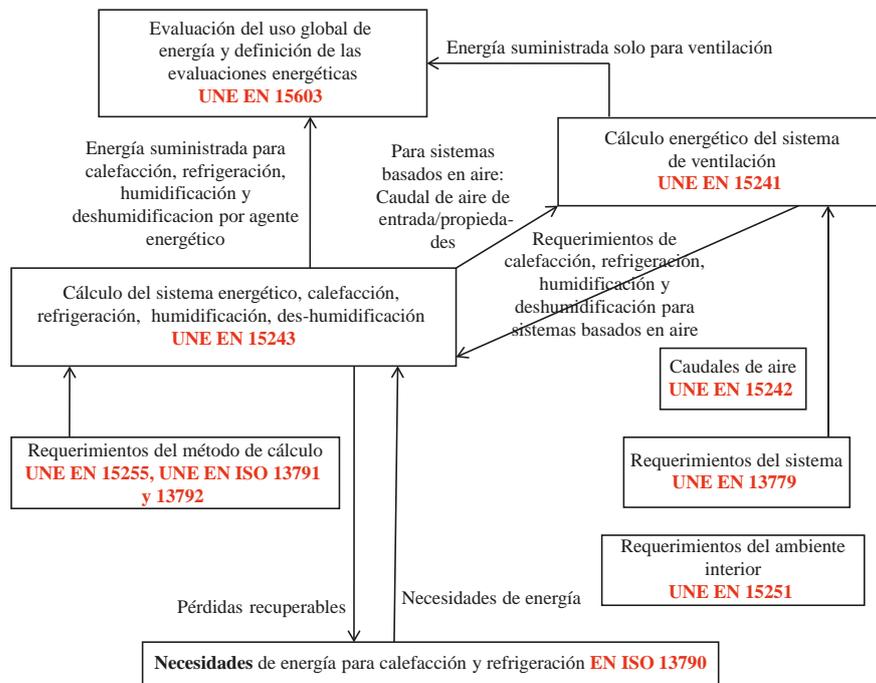


Imagen 2.5. Conexiones de normas que afectan a los sistemas

Evidentemente, no es objeto de esta guía analizar en profundidad todas las normas redactadas por el CEN para el desarrollo e implementación de la EPBD (son más de 2000 páginas), y por tanto solo se entra en el detalle de las normas relacionadas con las instalaciones térmicas de los edificios para abastecer las necesidades de calefacción y agua caliente sanitaria en edificios:

- UNE EN 15316-2-1 Sistemas de calefacción en los edificios. Método para el cálculo de los requisitos de energía del sistema y de la eficiencia del sistema. Parte 2-1: sistemas de emisión para calefacción de locales.
- UNE EN 15316-2-3 Sistemas de calefacción en los edificios. Método para el cálculo de los requisitos de energía del sistema y de la eficiencia del sistema. Parte 2-3: sistemas de distribución para calefacción de locales.
- UNE EN 15316-3-2 Sistemas de calefacción en los edificios. Método para el cálculo de los requisitos de energía del sistema y de la eficiencia del sistema. Parte 3-2: sistema de agua caliente sanitaria, distribución.
- UNE EN 15316-3-3 Sistemas de calefacción en los edificios. Método para el cálculo de los requisitos de energía del sistema y de la eficiencia del sistema. Parte 3-3: sistema de agua caliente sanitaria, generación.
- UNE EN 15316-4-1 Sistemas de calefacción en los edificios. Método para el cálculo de los requisitos de energía del sistema y de la eficiencia del sistema. Parte 4-1: sistemas de generación para calefacción de locales, sistemas de combustión (calderas).
- UNE EN 15316-4-3 Sistemas de calefacción en los edificios. Método para el cálculo de los requisitos de energía del sistema y de la eficiencia del sistema. Parte 4-3: sistemas de generación de calor, sistemas solares térmicos.
- UNE EN 15316-4-7 Sistemas de calefacción en los edificios. Método para el cálculo de los requisitos de energía del sistema y de la eficiencia del sistema. Parte 4-7: sistemas de generación de calefacción en locales, sistemas de combustión de biomasa.

3 Estado del arte

La transposición en materia de edificación al ordenamiento jurídico español de la Directiva 2002/91/CE y su refundición la Directiva 2010/31/UE ha sido realizada mediante los siguientes Reales Decretos:

- Real Decreto 314/2006 por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación (CTE) y Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE. El Documento Básico de Ahorro de Energía cuenta con seis secciones:
 - DB HE-0, sobre la Limitación del Consumo Energético.
 - DB HE-1, trata la Limitación de la Demanda Energética de la envolvente de los edificios.
 - DB HE-2, deriva al Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE).
 - DB HE-3, trata la eficiencia energética de los sistemas de iluminación.
 - DB HE-4, trata la contribución mínima de energía para el servicio de agua caliente sanitaria (ACS) que debe aportarse por paneles solares fototérmicos.
 - DB HE-5, trata de la cantidad de energía que se debe generar en los edificios (terciarios) por paneles solares fotovoltaicos.
- Real Decreto 235/2013 por el que se aprueba el procedimiento básico para la calificación energética de edificios.
- Real Decreto 1027/2007 por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y su modificación publicada bajo el Real Decreto 238/2013.

Los requisitos mínimos de eficiencia energética a los que se refieren la Directiva 2002/91/CE y su refundición la Directiva 2010/31/UE están transpuestos, por un lado la limitación de la demanda térmica y el consumo de energía primaria no renovable del edificio, por otro la limitación de las prestaciones de los sistemas térmicos e iluminación y energías renovables:

- **DEMANDA TÉRMICA:** mediante el CTE DB HE-1, que sustituyó a la Norma Básica de la Edificación NBE-CT-79 sobre condiciones térmicas en los edificios, se limita la demanda energética de calefacción y refrigeración. Mediante el CTE DB HE-0, el consumo de energía primaria no renovable del edificio.
- **SISTEMAS TÉRMICOS:** el RITE regula el diseño, dimensionado, montaje, mantenimiento y la inspección periódica de eficiencia energética de los generadores de frío y de calor. Limita además la eficiencia energética de las instalaciones térmicas.

Como complemento el Código Técnico de la Edificación exige la utilización de la energía solar térmica (o en su sustitución alguna fuente de energía renovable) para la producción de agua caliente sanitaria y en calentamiento de piscinas en la sección HE-4.

- **SISTEMA DE ILUMINACIÓN:** el CTE DB HE-3 obliga al cumplimiento de un valor mínimo de eficiencia energética de la instalación VEEI ($\text{W/m}^2 \times 100 \text{ lux}$) diferente en función de la zona de actividad del edificio. También legisla sobre el control y el aprovechamiento de la luz natural.
- **GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A TRAVÉS DE FUENTES RENOVABLES:** el CTE DB HE-5 obliga a la generación de energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos a unos tipos de edificios en función de su superficie útil.

4 Análisis de las normas CEN

Las normas CEN, como ya se apuntó en el capítulo 3, establecen la estructura para el cálculo del uso de la energía en los sistemas técnicos de los edificios. Normalizan los consumos y las potencias útiles requeridos para el cálculo, con el fin de conseguir un método de cálculo común europeo.

Los servicios a los que atienden las normas son el de calefacción, refrigeración, ACS e iluminación, partiendo de las necesidades energéticas (las necesidades energéticas se calculan y no pueden medirse fácilmente) hasta la estimación del consumo energético y por tanto las emisiones de dióxido de carbono asociado.

El objeto de esta guía, como se citó, es analizar en profundidad el servicio de calefacción, en concreto los sistemas técnicos, partiendo de las necesidades energéticas del edificio en periodos de calefacción y las necesidades energéticas de agua caliente sanitaria.

Por todo, el estudio profundo de las normas CEN publicadas se realiza sobre la norma UNE EN 15316 (emisión y distribución) y en concreto de las partes que tratan sobre la generación, la que aborda los calentadores y calderas como generadores térmicos que abastecen las dos demandas de calefacción y ACS.

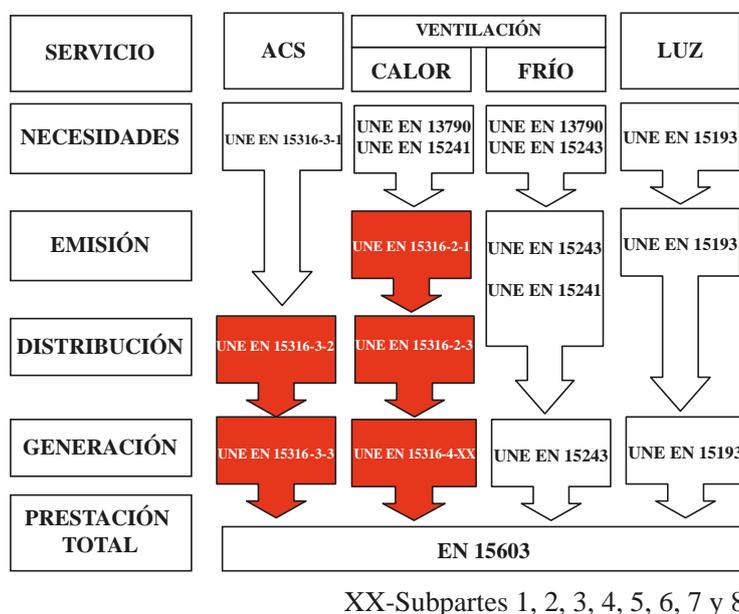


Imagen 4.1. Puzzle normativo. La parte 4 de la norma UNE EN 15316 tiene 8 subpartes. Cada una de estas partes desarrolla un subsistema de generación diferente 1. Sistemas de combustión. 2. Bomba de calor. 3. Sistemas solares térmicos. 4. Cogeneración. 5. Sistemas urbanos. 6. Sistemas fotovoltaicos. 7. Sistemas de combustión con biomasa. 8. Sistemas de radiación suspendidos.

Los métodos de cálculo facilitan el análisis energético de los diferentes subsistemas del sistema de calefacción y ACS incluido el control (emisión, distribución, almacenamiento y generación) a través de la determinación de las pérdidas energéticas del sistema y de los factores de eficiencia del sistema. Este análisis de eficiencia permite la comparación entre los subsistemas y hace posible controlar el impacto de cada subsistema en la eficiencia energética del edificio.

Por tanto se evalúan las pérdidas térmicas del sistema, las pérdidas térmicas recuperables del sistema (también cuántas de estas son realmente recuperadas) y la energía auxiliar de los subsistemas del sistema de calefacción.

Los sistemas de ventilación no se incluyen en estas normas europeas descritas en la imagen 4.1 (por ejemplo, los sistemas equilibrados con recuperación de calor) pero si el aire se precalienta o si se instala un sistema de calefacción de aire, las pérdidas energéticas de estos sistemas se tratan en estas normas europeas.

4.1. Generalidades. Definición de subíndices adoptada

El método de cálculo para determinar las pérdidas térmicas del sistema de calefacción y/o ACS del edificio se basan en el análisis de los siguientes subsistemas:

- Eficiencia energética del subsistema de emisión (η_{ems}), incluido el control.
- Eficiencia energética del subsistema de distribución (η_{dst}), incluido el control.

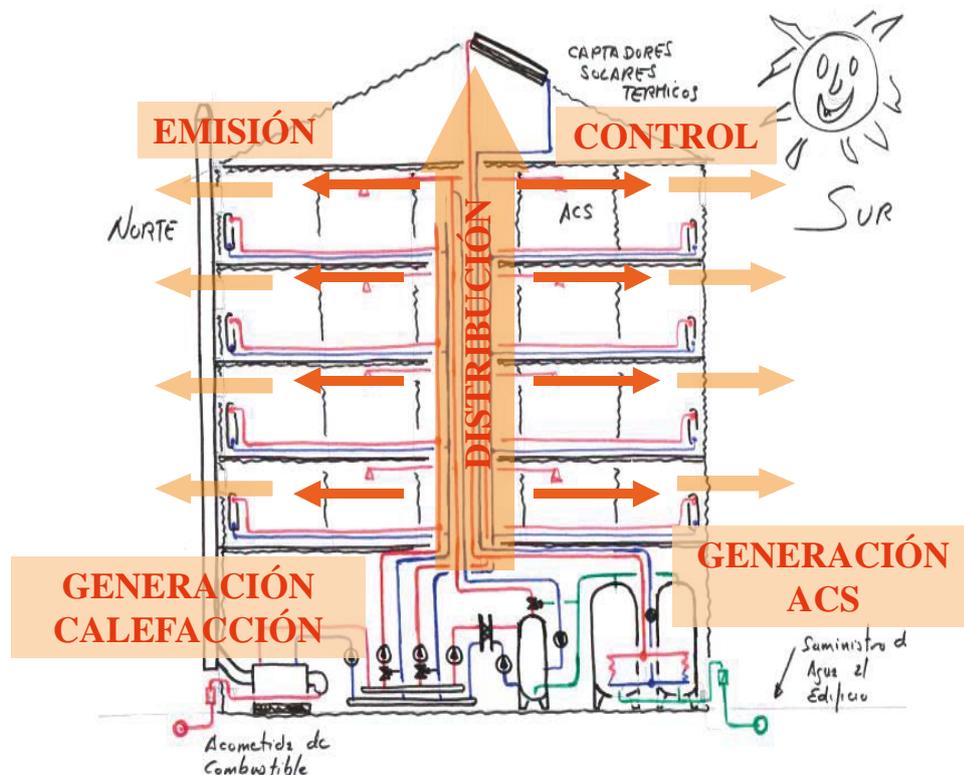


Imagen 4.2. Estructura física de los sistemas de calefacción y ACS

- Eficiencia energética del subsistema de generación (η_{gen}), incluido el control (por ejemplo, calderas, colectores solares, bombas de calor, unidades de cogeneración, sistemas de acumulación⁵).

Esta estructura es similar a la estructura física de los sistemas de calefacción y ACS como muestra la imagen 4.2.

La energía utilizada por el sistema (consumo) de calefacción se calcula de forma independiente para la energía térmica y para la energía auxiliar eléctrica.

El subsistema por acumulación puede incluirse en el subsistema de generación o detallarse como el subsistema por acumulación.

La imagen 4.3 muestra la nomenclatura utilizada en este documento y propuesta para España para referirse al subsistema que se está evaluando, es decir, el subsistema j (ems para emisión; dst para distribución y gen para generación) y el sistema técnico del edificio i al que pertenece (calefacción CLF y ACS).

i : CALEFACCIÓN



j : EMISIÓN (ems)

i : AGUA CALIENTE SANITARIA



j : DISTRIBUCIÓN (dst)

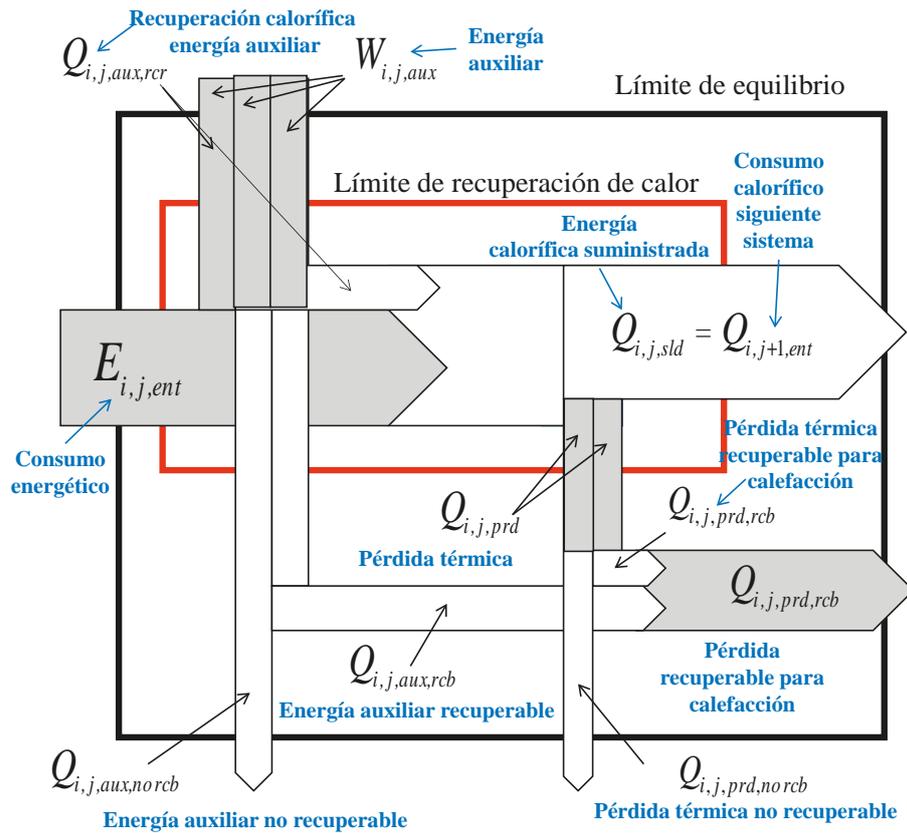
j : GENERACIÓN (gen)

Imagen 4.3. Utilización de subíndices

Para cada uno de los subsistemas las normas proporcionan el modo de cálculo para obtener los siguientes valores energéticos:

- Energía calorífica que suministra: térmica $Q_{sistema,subsistema,sld}$ y eléctrica (si hubiera) $E_{elc,subsistema,sld}$ (por ejemplo, $Q_{CLF,gen,sld}$, $E_{elc,gen,sld}$).
- Energía auxiliar eléctrica $W_{sistema,subsistema,aux}$ (por ejemplo, $W_{ACS,gen,aux}$).
- Pérdida térmica del sistema $Q_{sistema,subsistema,prd}$ (por ejemplo, $Q_{CLF-ACS,gen,prd}$).
- Consumos energéticos: portador energético $E_{sistema,subsistema,ent}$ térmico $Q_{sistema,subsistema,ent}$ y eléctrico $E_{elc,sistema,subsistema,ent}$ (por ejemplo, $E_{CLF-ACS,gen,ent}$, $Q_{CLF,ems,ent}$, $E_{CLF,elc,gen,ent}$).

⁵ En las normas UNE EN 15316-4-x, el subsistema por acumulación y los depósitos de compensación se tienen en cuenta en el subsistema de generación.



Leyenda

- $Q_{i,j,sld}$ subsistema j, energía calorífica suministrada [= $Q_{i,j+1,ent}$ consumo calorífico del siguiente subsistema(s)].
- $E_{i,j,ent}$ subsistema j, consumo energético.
- $W_{i,j,aux}$ subsistema j, energía eléctrica auxiliar.
- $Q_{i,j,aux,rcp}$ subsistema j, recuperación calorífica de la energía auxiliar en el subsistema.
- $Q_{i,j,prd}$ subsistema j, pérdida térmica.
- $Q_{i,j,prd,rbl}$ subsistema j, pérdida térmica recuperable para la calefacción (no en este subsistema).
- $Q_{i,j,prd,rbl}$ subsistema j, pérdida térmica recuperable para la calefacción.
- $Q_{i,j,aux,rbl}$ subsistema j, energía auxiliar térmica recuperable.
- $Q_{i,j,prd,no rbl}$ subsistema j, pérdida térmica no recuperable.
- $Q_{i,j,aux,no rbl}$ subsistema j, energía auxiliar térmica no recuperable.

Imagen 4.4. Datos del sistema i, subsistema j

4.2. Periodo del cálculo

Los anteriores términos deberían calcularse de forma independiente para cada periodo de cálculo establecido:

- Utilizando datos anuales en el periodo de operación del sistema y realizando los cálculos empleando los valores medios anuales⁶.

⁶ Los valores medios deben concordar con los intervalos de tiempo seleccionados.

- Dividiendo el año en un número de periodos de cálculo (por ejemplo, meses, semanas), realizando los cálculos de cada periodo utilizando valores dependientes del periodo y sintetizando los resultados de todos los periodos a lo largo del año.

En cada periodo de cálculo se considerará que la caldera pueda estar encendida o que la caldera pueda estar parada pero en disposición de dar calor. Por tanto, el tiempo de operación dentro de un periodo se divide en dos partes (por ejemplo para el caso del servicio de calefacción):

- Caldera encendida $t_{CLF,ON}$.
- Caldera apagada (en espera) $t_{CLF,OFF}$.

El tiempo total de operación por tanto en el periodo es $t_{CLF,ON-OFF} = t_{CLF,ON} + t_{CLF,OFF}$.

Si hay calefacción estacional en el edificio, el año debería, al menos, dividirse en dos periodos de cálculo, es decir, el periodo de la temporada de calefacción y el del resto del año.

El Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios (RITE) en su Instrucción Técnica IT 1.2.4.4. Contabilización de consumos [4.1] obliga a disponer de un dispositivo que permita registrar el número de horas de funcionamiento de los siguientes equipos:

- Los generadores de calor y de frío de potencia térmica nominal mayor que 70 kW.
- Las bombas y ventiladores con potencia eléctrica del motor mayor que 20 kW.

Lamentablemente, la realidad de las instalaciones visitadas inicialmente para realizar la comprobación teórica de este estudio con la realidad práctica no tenía este tipo de contadores. Aun así, y para el caso de calefacción, las horas de uso del equipo generador puede determinarse [4.2] a partir de los grados días de la localidad en estudio.

El consumo de calefacción (Q_{CLF}) de una instalación puede determinarse a partir de la siguiente expresión:

$$Q_{CLF} = \frac{\Phi_{CLF,dstñ} \cdot GD_{15/15} \cdot c_{intr}}{\Delta T_{CLF,dstñ} \cdot \eta_{CLF,gnr}} \quad 4-1$$

donde

- $\Phi_{CLF,dstñ}$ Potencia de calefacción de diseño (kW).
- $GD_{15/15}$ Grados días en base 15/15.
- C_{intr} Coeficiente de intermitencia (horas del día en la que la caldera está fuera de servicio).
- $\Delta T_{CLF,dstñ}$ Diferencia de temperatura de diseño.
- $\eta_{CLF,gnr}$ Rendimiento medio del generador.

El consumo de energía es el producto de la potencia consumida en cada hora por el número de horas, por tanto operando en la ecuación 4-1 se puede obtener una aproximación del tiempo de funcionamiento del generador de calor.

$$Q_{CLF} = \Phi_{CLF, dsñ} \cdot t_{CLF, ON} = \frac{\Phi_{CLF, dsñ} \cdot GD_{15/15} \cdot c_{intr}}{\Delta T_{CLF, dsñ} \cdot \eta_{CLF, gnr}} \Rightarrow t_{CLF, ON} = \frac{GD_{15/15} \cdot c_{intr}}{\Delta T_{CLF, dsñ} \cdot \eta_{CLF, gnr}} \quad 4-2$$

Otra forma más exacta de tener este tiempo de funcionamiento es realizar la simulación horaria con algún programa de cálculo. En el *Anexo I Ejercicio de aplicación normas CEN* de este trabajo se realiza un ejercicio de aplicación en el que este tiempo se obtiene de esta forma.

4.3. Condiciones de operación

Los métodos de cálculo en el conjunto de las Normas UNE EN 15316, conciernen básicamente a la determinación de:

- Condiciones operativas (por ejemplo temperaturas del agua caloportadora, temperaturas de la sala del generador, temperaturas de agua de red).
- Eficiencia energética para las condiciones de operación indicadas η .

Uno de los objetos de esta guía es discutir la complejidad de la aplicación real de los diferentes métodos aportados para la eficiencia energética del sistema mediante la selección y la adaptación de los métodos de cálculo que mejor se adapten a nuestro país y la comprobación de que las condiciones de operación son aplicables a la tipología de sistemas diseñados en España.

El método o los métodos seleccionados en esta guía, los parámetros de entrada aplicables y el modo de vincular estos métodos para determinar la eficiencia energética podrían servir para publicar en un anexo nacional como propone la norma UNE EN 15316-1.

4.4. Indicadores de la eficiencia energética

La eficiencia⁷ energética η de un subsistema i se define mediante:

$$\eta_i = \frac{Q_{i, sld} + f_j \cdot E_{i, elc, sld}}{f_y \cdot Q_{i, ent} + f_z \cdot W_{i, aux}} = \frac{1}{e_i} \quad 4-3$$

- $f_{j,y,z}$ Factor de conversión energético (o coeficiente) j, y, z . Este factor debe indicarse a nivel nacional. En el siguiente apartado se muestran los utilizados en España.
- $E_{i, elc, sld}$ Energía eléctrica del subsistema i . No representado en la imagen 4.4.
- $Q_{i, sld}$ Energía calorífica del subsistema i .
- $Q_{i, ent}$ Consumo calorífico del subsistema i . (Q se sustituye por $E_{i, elc}$ si el consumo no es calorífico (por ejemplo, un generador).

⁷ La eficiencia es el término más adimensional utilizado para indicar la eficacia de un sistema técnico del edificio en función del recurso utilizado. Las eficiencias sirven como comparación sencilla y práctica de la eficacia de los sistemas o subsistemas de los diferentes tipos y , o tamaños.

- $W_{i,aux}$ Energía auxiliar del subsistema i.
- e_i Factor de consumo.

La ecuación 4-3 es una ecuación muy general. No todos los parámetros se aplican a cada tipo de subsistema. Los factores de conversión de energía pueden ser los mismos en el numerador y en el denominador.

Las eficiencias pueden calcularse por subsistemas (por ejemplo, la eficiencia de distribución $\eta_{i,dst}$, la eficiencia de emisión $\eta_{i,ems}$, la eficiencia de generación $\eta_{i,gen}$).

La eficiencia global del sistema completo debería calcularse después de compensar las pérdidas térmicas del sistema y los suministros de energía de todos los subsistemas considerados.

Otra manera de expresar la eficiencia energética de un sistema o subsistema es el factor de consumo [4.3], e_i . Esta expresión es el valor inverso de la eficiencia. Ver ecuación 4-3.

4.5. Coeficientes de paso legislados

Distingamos antes de mostrar estos valores qué se entiende por energía final y energía primaria en el ámbito de aplicación de los edificios.



Imagen 4.5. Energía final y energía primaria

Energía final es la energía tal como se usa en los puntos de consumo, por ejemplo la electricidad o el gasóleo C utilizado en calefacción. En el cálculo estimado (con mayor precisión si se realiza mediante simulación horaria) se obtiene (de forma anual) realizando el cociente, por ejemplo, de la demanda de calefacción (Q_{CLF}) y el rendimiento medio estacional de los sistemas:

$$\frac{Q_{CLF}}{\bar{\eta}_{sistema}} = \text{Consumo energía final} \tag{4-4}$$

Para que la energía esté dispuesta para el consumo, son necesarias sucesivas operaciones de transformación y transporte, desde el yacimiento a la planta de transformación y, por último, al consumidor final. En cada una de estas operaciones se producen pérdidas.

Así, en el caso de la electricidad, considerando todas las pérdidas, para cada unidad energética de consumo final de electricidad que se consume en los edificios son necesarias aproximadamente unas 3 unidades energéticas de combustible fósil (primario) en las centrales térmicas que tendrán unas emisiones de CO₂ asociado.

En el caso del gas natural, antes de su combustión en los edificios, ha sido necesario extraerlo de su yacimiento, transportarlo por gasoductos o barcos y finalmente distribuirlo a baja presión a los puntos de consumo.

El petróleo, asimismo, hay que extraerlo, transportarlo a las refinerías a través de oleoductos o buques de carga, transformarlo en productos finales aptos para el consumo (gasolina, gasóleo, etc...) y, posteriormente, distribuir estos productos finales a los puntos de consumo.

Los valores vigentes se encuentran legislados y están recogidos en la página web oficial del Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital (MINETAD).

Paso de energía final a emisiones de CO ₂	
Energía térmica	Emisiones
Gas natural	254 g CO ₂ /kWh _t
Gasóleo-C	311 g CO ₂ /kWh _t
GLP	254 g CO ₂ /kWh _t
Carbón uso doméstico	472 g CO ₂ /kWh _t
Biomasa	18 g CO ₂ /kWh _t
Biocarburantes	18 g CO ₂ /kWh _t
Solar térmica baja temperatura	0
Electricidad	Emisiones
Electricidad convencional peninsular	331 g CO ₂ /kWh _e
Electricidad convencional extra-peninsular	776 g CO ₂ /kWh _e
Solar fotovoltaica	0
Paso de energía final a primaria	
Energía eléctrica	kWh _{EP} / kWh _{EF}
Electricidad convencional peninsular	2,6
Electricidad convencional extra-peninsular (Baleares, Canarias, Ceuta y Melilla)	3,35
Combustibles	kWh _{EP} / kWh _{EF}
Gasóleo	1,08
Fuel-oil y GLP	1,08

Paso de energía final a primaria	
Combustibles	kWh _{EP} / kWh _{EF}
Gas natural	1,01
Carbón	1

Tabla 4.1. Coeficientes de paso. Fuente: Documento Reconocido del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) factores de emisión de CO₂ y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España. Enero 2016

4.6. Métodos detallados y simplificados

Las normas CEN para cada subsistema proporcionan métodos de cálculo detallados (nivel de exactitud C y D) o simplificados (nivel de exactitud A y B) para determinar las pérdidas energéticas del sistema (de acuerdo al conocimiento técnico actual y a las normas ya disponibles) y pueden aplicarse unos u otros de acuerdo a la exactitud requerida. El nivel de detalle puede clasificarse según lo siguiente [4.3]:

- Nivel A: pérdidas o eficiencias se indican en una tabla para el sistema completo de agua caliente sanitaria y de calefacción. La selección del valor apropiado se hace según la tipología (descripción) del sistema completo.
- Nivel B: para cada subsistema, las pérdidas, la energía auxiliar o las eficiencias se indican como valores tabulados. La selección del valor apropiado se hace según la tipología (descripción) del subsistema.
- Nivel C: para cada subsistema se calculan las pérdidas, la energía auxiliar o las eficiencias. El cálculo se hace en base a las dimensiones del sistema, requerimientos y cualquier otro dato que se supone constante (o promediado) a través del periodo de cálculo.
- Nivel D: las pérdidas o las eficiencias se calculan a través de simulaciones dinámicas teniendo en cuenta la evolución en el tiempo de los valores de la variable (por ejemplo, temperatura externa, temperatura de distribución del agua, carga del generador).

Pueden utilizarse diferentes niveles de detalles, si se dispone de ellos, para los diferentes subsistemas del sistema de calefacción o ACS.

Si no se expresa lo contrario, los métodos de cálculo detallados en cumplimiento con el nivel C o el nivel D se aplican para edificios nuevos con sistemas de agua caliente sanitaria y calefacción ya diseñados y para sistemas de agua caliente sanitaria nuevos instalados en edificios existentes.

Puede utilizarse cualquier parámetro para los cálculos. Sin embargo, es fundamental que los resultados se correspondan con los valores definidos de energía del subsistema (imagen 4.4):

- Consumo energético.
- Energía suministrada.

- Pérdidas térmicas del sistema.
- Pérdidas térmicas recuperables del sistema.
- Energía auxiliar.

4.7. Subdivisiones del sistema de calefacción

La estructura de un sistema de calefacción puede ser compleja, incluyendo por ejemplo:

- Más de un tipo de emisor de calor, que sirve a múltiples zonas.
- Más de una carga conectada al mismo subsistema de generación (la producción de agua caliente sanitaria y la calefacción pueden suministrarse por el mismo subsistema de generación).
- Más de un subsistema de generación.
- Diferentes tipos de energía utilizada en el edificio.

En general, estos casos pueden resolverse mediante la estructura física del sistema de calefacción. Se muestran a continuación tres ejemplos muy comunes que pueden ocurrir en un sistema mixto que dé servicio a calefacción y ACS.

- EJEMPLO 1: un subsistema de distribución común suministra a más de un subsistema de emisión. Las necesidades energéticas y las pérdidas térmicas del sistema pueden calcularse de forma independiente para cada subsistema de emisión y después sumarse para suministrar la potencia calorífica del subsistema común de distribución.
- EJEMPLO 2: un subsistema común de generación que suministra tanto al subsistema de distribución de calor de calefacción como a un subsistema de distribución de agua caliente sanitaria. El consumo energético puede calcularse de forma independiente para el subsistema de distribución de calefacción de locales y para el subsistema de distribución de agua caliente sanitaria y pueden sumarse posteriormente para suministrar la potencia calorífica del subsistema común de generación.
- EJEMPLO 3: un subsistema común de distribución suministrado por más de un subsistema de generación. El consumo energético para el subsistema de distribución puede calcularse y dividirse entre los subsistemas de generación (la división puede cambiar en el transcurso del tiempo).

Este tipo de «modularidad» siempre es posible si el principio de suma de pérdidas se respeta.

4.8. Cálculo de la demanda energética y pérdidas térmicas recuperadas

Como se apuntó, el punto de partida para cada cálculo son las necesidades energéticas del edificio⁸, pero en un primer cálculo esto se realiza independientemente del tipo de sistema que vaya a abas-

⁸ Las normas CEN proponen que se realicen de acuerdo con la Norma UNE EN ISO 13790. Para los cálculos de esta guía se suponen correctos los valores del programa LIDER. Las ganancias de calor y las pérdidas térmicas recuperables (por ejemplo: ganancias de calor solares, ganancias de calor metabólicas, etc.) incluidas en las necesidades del edificio deben

tecer dicha demanda. Así, por ejemplo, no se tienen en cuenta las ganancias internas que puedan existir por discurrir una tubería de calefacción por el interior de una zona calefactada del edificio.

Para tener esto en cuenta, las pérdidas térmicas recuperables que no estén incluidas en las necesidades energéticas del edificio en el punto de inicio, se permiten [4.3] dos aproximaciones, aproximación holística y aproximación simplificada.

En la aproximación holística⁹ las pérdidas térmicas recuperables se consideran en el cálculo de las necesidades energéticas térmicas nuevamente.

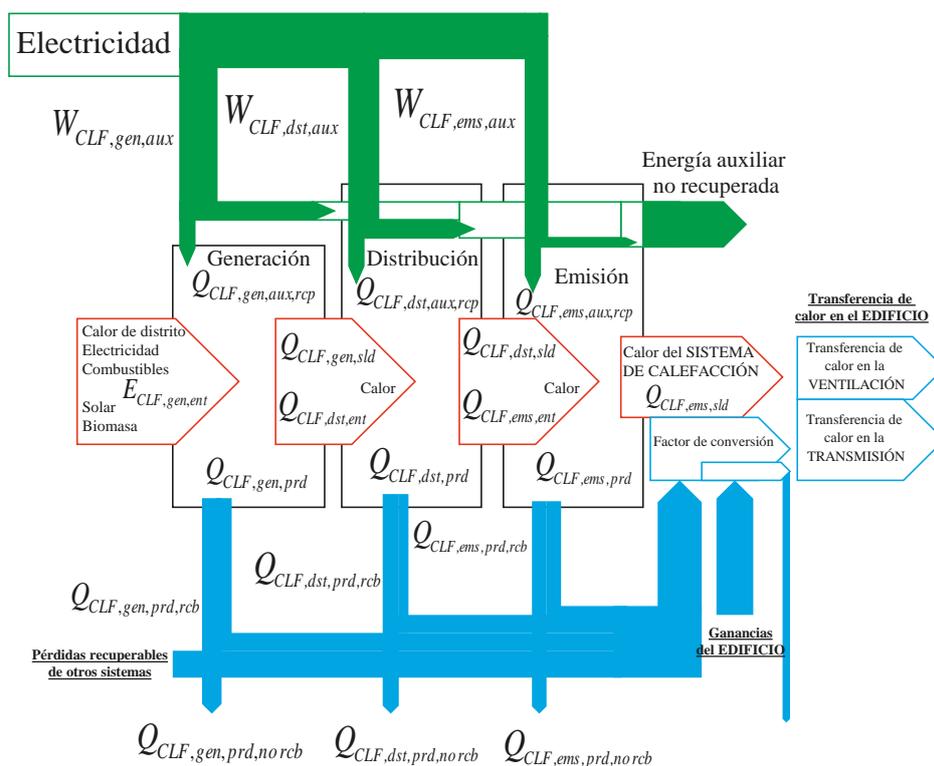


Imagen 4.6. Aproximación holística. Método iterativo. Conexión de la demanda con el sistema

Como las pérdidas de los sistemas técnicos térmicos del edificio dependen de la demanda energética inicial, la cual depende, en esta aproximación, de las fuentes térmicas recuperadas del sistema, hay que realizar un proceso iterativo que consta de los siguientes pasos (recordar que ya se tendría calculada la demanda energética inicial):

- a) Se realiza el cálculo del subsistema de acuerdo con las series de Normas EN 15241, EN 15243, y EN 15316 y se determinan las pérdidas térmicas recuperables del sistema.

definirse a nivel nacional. En el Documento Técnico de Instalaciones Térmicas 7.03 Entrada de datos a los programas LIDER y CALENER VyP y 7.04 Entrada de datos al programa CALENER GT editado por Atecyr se recogen estos valores.

⁹ Opción más común para simulaciones dinámicas, nivel D de exactitud.

- b) Se añaden las pérdidas térmicas del sistema recuperables a otras fuentes de calor recuperables ya incluidas (por ejemplo: las ganancias de calor interno y solar, las pérdidas térmicas recuperables de la iluminación y/o otros sistemas técnicos del edificio como el agua caliente sanitaria) en el cálculo de las necesidades de calefacción y refrigeración.
- c) Se calculan de nuevo las necesidades de energía térmica para calefacción y refrigeración.
- d) Se repiten los pasos a) a c) hasta que los cambios de las necesidades energéticas entre dos repeticiones sean menores de un 1% [4.4].
- e) Se calcula la diferencia entre la energía al comienzo de la repetición y al final de ella. Estas son las pérdidas térmicas del sistema recuperadas.

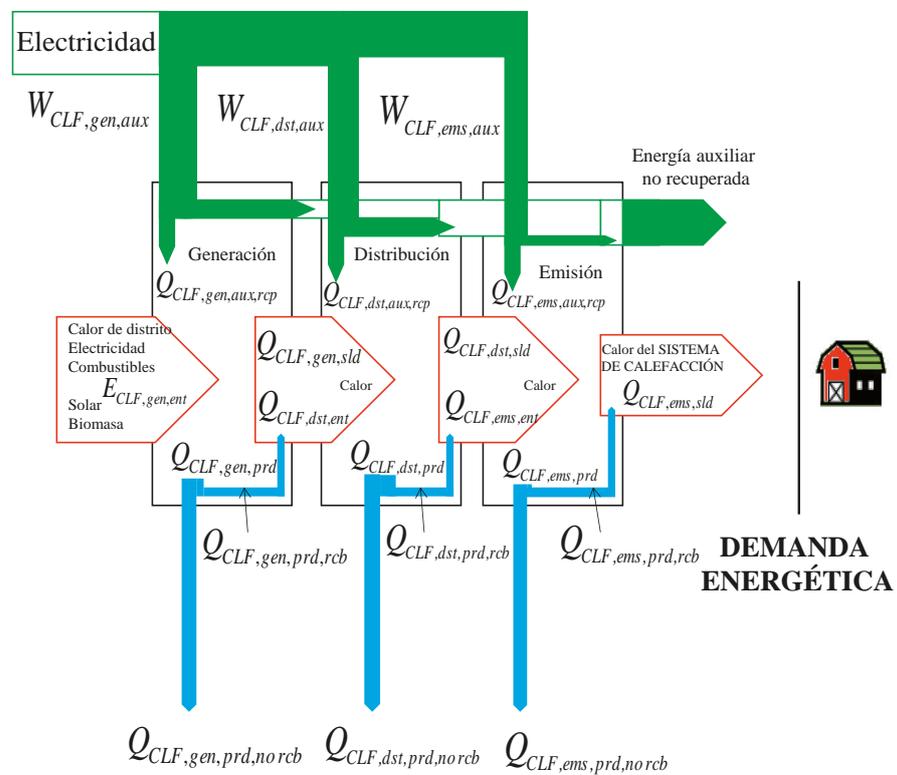


Imagen 4.7. Aproximación simplificada. Sin iteraciones. Cálculo independiente de demanda y consumo

En la aproximación simplificada¹⁰ las pérdidas de calor del sistema recuperadas, obtenidas multiplicando las pérdidas térmicas recuperables del sistema por un **factor de recuperación**¹¹, son directamente restadas de las pérdidas de cada sistema técnico del edificio considerado. Esto evita repeticiones. El procedimiento de cálculo es el siguiente (recordar que ya se tendría calculada la demanda energética inicial):

¹⁰ Opción más común para tabular valores.

¹¹ Este factor toma valores entre 0 y 1, y como se verá más adelante, en algunos subsistemas este valor es 0, caso más desfavorable, o 1, caso más favorable.

- a) Se realizan los cálculos del subsistema de acuerdo con las series de Normas EN 15241, EN 15243, y EN 15316 y se determinan las pérdidas térmicas recuperables del sistema.
- b) Se calculan las pérdidas térmicas del sistema recuperadas mediante la multiplicación de las pérdidas térmicas recuperables del sistema por un factor de recuperación.
- c) Se restan las pérdidas térmicas recuperadas del subsistema de las pérdidas térmicas totales del subsistema.

Los valores convencionales del factor de recuperación se indican en las normas en función del subsistema o si no se facilita se supone que el factor de recuperación es del 80% [4.4].

5 Servicio de calefacción

Se expone en este capítulo los métodos descritos en la norma UNE EN 15316 para determinar las prestaciones energéticas de los sistemas técnicos que abastecen al servicio de calefacción, distinguiendo entre los sistemas de emisión (UNE EN 15316-2-1 [5.1]), de distribución (UNE EN 15316-2-3 [5.2]) y de generación térmica (UNE EN 15316-4-1 [5.3] y UNE EN 15316-4-7 [5.4]).

5.1. Subsistema de emisión

En el subsistema de emisión de calor las prestaciones energéticas pueden evaluarse mediante dos formas¹² [5.1] (en concreto las pérdidas térmicas de energía del sistema de emisión), bien por los valores de la eficiencia del sistema de emisión de calor o bien mediante valores de las temperaturas del local incrementadas debido a las ineficiencias del sistema de emisión de calor.

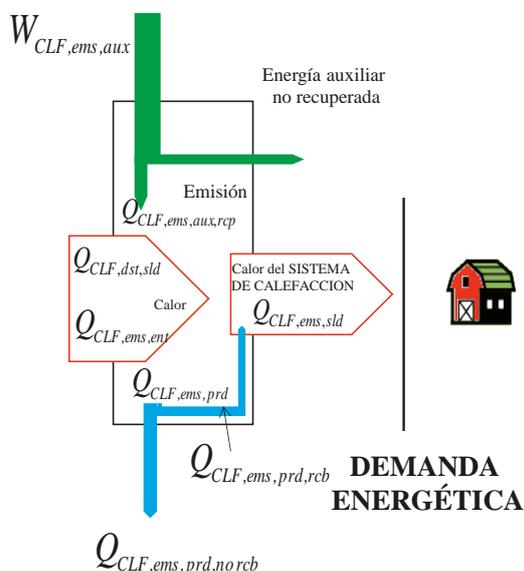


Imagen 5.1. Aproximación simplificada. Subsistema de emisión

La energía térmica suministrada por el subsistema de emisión es la misma que la demanda energética de calefacción del edificio y, por tanto, será un dato de partida para el subsistema de emisión. Los datos energéticos que se tienen que obtener del subsistema de emisión de calor, incluyendo el control, serán por tanto:

¹² Para estas dos formas se presentan bien valores tabulados o métodos de cálculo más detallados.

- Energía suministrada por el subsistema $Q_{CLF,ems,sld} = Q_{CLF}$
- Consumo de energía auxiliar $W_{CLF,ems,aux}$ y cuánto de este es recuperable como energía térmica $Q_{CLF,ems,aux,rcb}$ y cuánta recuperada $Q_{CLF,ems,aux,rcp}$
- Pérdidas térmicas del sistema $Q_{CLF,ems,prd}$ y cuánto de este es recuperable $Q_{CLF,ems,prd,rcb}$.
- Consumo energético del subsistema $Q_{CLF,ems,ent}$

La eficiencia energética del subsistema de emisión de calefacción se calcularía aplicando la fórmula 4-3 (todos los términos en kWh de energía primaria):

$$\eta_{CLF,ems} = \frac{Q_{CLF,ems,sld}}{f_y \cdot Q_{CLF,ems,ent} + f_z \cdot W_{CLF,ems,aux}} \quad 5-1$$

La energía térmica requerida para la emisión de calor es:

$$Q_{CLF,ems,ent} = Q_{CLF,ems,sld} + Q_{CLF,ems,prd,no\ rcb} - Q_{CLF,ems,aux,rcp} \quad 5-2$$

En el caso del subsistema de emisión se considera que no se recupera energía de las pérdidas térmicas estimadas $Q_{CLF,ems,prd,rcb} = 0$ y por tanto $Q_{CLF,ems,prd,no\ rcb} = Q_{CLF,ems,prd}$

5.1.1. Energía auxiliar

La energía auxiliar (energía eléctrica) en los subsistemas de emisión de los sistemas de calefacción se utiliza en los ventiladores que facilitan la emisión de calor (ventiloconvectores), las válvulas, bombas de circulación y el control.

Para cada dispositivo eléctrico del sistema de emisión de calor, tienen que conocerse los siguientes datos para poder determinar $W_{CLF,ems,aux}$ y $Q_{CLF,ems,aux,rcb}$:

- Duración de funcionamiento.
- Porcentaje de la energía eléctrica convertida en calor y emitida al local calentado.

El consumo de energía auxiliar $W_{CLF,ems,aux}$ se calcula mediante la ecuación 5-1:

$$W_{CLF,ems,aux} = W_{CLF,ems,cntr} + W_{CLF,ems,bmb-vnt} \quad 5-3$$

donde

- $W_{CLF,ems,aux}$ Energía auxiliar (en el periodo considerado) (kWh).
- $W_{CLF,ems,cntr}$ Energía auxiliar del sistema de control (en el periodo considerado) (kWh).
- $W_{CLF,ems,bmb-vnt}$ Energía auxiliar de los ventiladores y bombas adicionales (en el periodo considerado) (kWh).

Los componentes individuales $W_{CLF,ems,ctr}$ y $W_{CLF,ems,bmb-vnt}$ se determinan a partir de las fórmulas 5-4 y 5-5:

$$W_{CLF,ems,ctr} = \frac{P_{CLF,ems,ctr}}{1.000} \cdot t_{CLF,ON-OFF} \tag{5-4}$$

$$W_{CLF,ems,bmb-vnt} = \frac{P_{CLF,ems,bmb} \cdot n_{CLF,ems,bmb} + P_{CLF,ems,vnt} \cdot n_{CLF,ems,vnt}}{1.000} \cdot t_{CLF,ON-OFF} \tag{5-5}$$

- $P_{CLF,ems,ctr}$ Consumo de energía eléctrica por unidad de tiempo del sistema de control con energía auxiliar (a partir de la tabla 5.1 o de la información del producto), en W:

Parámetros de influencia	$P_{CLF,ems,ctr}$ (W)
Sistema de control eléctrico con actuación por motor eléctrico	0,1 (por actuador)
Sistema de control eléctrico con actuación termoeléctrica	1,0 (por actuador)
Sistema de control eléctrico con actuación electromagnética	1,0 (por actuador)
Sistema de control por válvula con cabezal termostático	0 (por actuador)

Tabla 5.1. Valores por defecto del consumo de energía eléctrica horario del sistema de control.

- $n_{CLF,ems,vnt}$ Número de unidades de ventilador.
- $n_{CLF,ems,bmb}$ Número de bombas adicionales.
- $t_{CLF,ON-OFF}$ Tiempo de funcionamiento en el periodo (h). Se considera igual al tiempo de funcionamiento del sistema de calefacción. Si no se conoce se puede considerar un funcionamiento continuo durante todo el día $t_{CLF,ON-OFF} = 24$ h [5.1].
- $P_{CLF,ems,vnt}$ Consumo de energía eléctrica por unidad de tiempo de los ventiladores (a partir de la tabla 5.2 o de la información del producto), en W:

Parámetros de influencia	$P_{CLF,ems,vnt}$ (W)	Unidad
Convector ventilador	10	
Calefacción por acumulación	12	

Tabla 5.2. Valores tabulados del consumo de energía eléctrica horario de ventiladores de aire de impulsión en locales de $h \leq 4$ m

Para edificios con grandes espacios interiores con calefacción directa (el equipo de calefacción que se utilice no puede ser diferenciado en subsistemas de generación y de emisión de calor, por ejemplo radiadores de infrarrojos y de gas), la energía auxiliar total $W_{CLF,ems,aux,h>4,drc}$ se obtiene en función del consumo de energía eléctrica horario del sistema $P_{CLF,ems,aux,h>4,drc,ctr}$:

$$W_{CLF,ems,aux,h>4,drc} = \frac{P_{CLF,ems,aux,h>4,drc,ctr} \cdot t_{CLF,ON-OFF}}{1.000} \tag{5-6}$$

- $P_{CLF,ems,aux,h>4,drc,ctr}$ Consumo de energía eléctrica por unidad de tiempo del equipo tomado a partir de la tabla 5.3 (parte superior) o de la información del fabricante en W.

Para los sistema de calefacción de grandes espacios interiores sin calefacción directa con un generador de calor central y una unidad separada para la emisión de calor para el espacio de trabajo la energía auxiliar total $W_{CLF,ems,aux,h>4,ind}$ se obtiene en función del consumo de energía eléctrica horario del sistema $P_{CLF,ems,aux,h>4,ind,ctr}$:

$$W_{CLF,ems,aux,h>4,ind} = \frac{P_{CLF,ems,aux,h>4,ind,ctr} \cdot t_{CLF,ON-OFF}}{1.000} \tag{5-7}$$

- $P_{CLF,ems,aux,h>4,ind,ctr}$ Consumo de energía por unidad de tiempo del equipo tomado a partir de la tabla 5.3 (parte inferior) o de la información del fabricante en W.

Como se citó, la tabla 5.3 proporciona los valores por defecto de la energía auxiliar de los ventiladores y del sistema de control en los locales de altura $h \geq 4$ m (edificios con grandes espacios interiores), típicamente evaluados como una fracción de $Q_{ems,sld}$.

Sistemas con calefacción eléctrica		$P_{CLF,ems,aux,h>4,drc,ctr}$ (W)	Unidad
Generador de calor de calefacción directa (instalado en el espacio de trabajo)	Calentadores luminosos (control y regulación)	25 (por unidad)	
	Calentadores de tubo radiante de hasta 50 kW de combustión (control, regulación y ventiladores para impulsión del aire de combustión)	80 (por unidad)	
	Calentadores de tubo radiante por encima de 50 kW de combustión control, regulación y ventiladores para impulsión del aire de combustión)	100 (por unidad)	
	Generador de aire caliente con quemador atmosférico y ventilador axial de aire de recirculación (control, regulación y ventilador para la impulsión del aire de combustión)	$0,014 \cdot Q_{CLF,ems,sld}$	
	Generador de aire caliente con quemador asistido por ventilador y ventilador radial de aire de recirculación (control, regulación y ventilador para la impulsión del aire de combustión, ventilador para impulsión de aire caliente)	$0,022 \cdot Q_{CLF,ems,sld}$	

Sistemas sin calefacción eléctrica		$P_{CLF,ems,aux,h>4,ind,cntr}$ (W)	Unidad
Sistemas de emisión de calor de calefacción de aire	Calentador de aire en el espacio de trabajo (altura del recinto $h < 8$ m) (generador de calor central con calentador de aire calentado indirectamente)	$0,012 \cdot Q_{CLF,ems,sld}$	
	Calentador de aire en el espacio de trabajo (altura del recinto $h > 8$ m) (generador de calor central con calentador de aire calentado indirectamente)	$0,016 \cdot Q_{CLF,ems,sld}$	
	Ventilador de recirculación vertical (altura del recinto $h < 8$ m)	$0,002 \cdot Q_{CLF,ems,sld}$	
	Ventilador de recirculación vertical (altura del recinto $h > 8$ m)	$0,013 \cdot Q_{CLF,ems,sld}$	

Tabla 5.3. Consumo de energía auxiliar por unidad de tiempo (ventiladores y sistema de control) en espacios con altura $h > 4$ m (grandes espacios interiores)

5.1.1.1. Energía auxiliar recuperada

Parte de la energía auxiliar puede recuperarse directamente en el sistema de emisión de calor $Q_{CLF,ems,aux,rcp}$

$$Q_{CLF,ems,aux,rcp} = \xi_{CLF,ems,aux,rcp} \cdot W_{CLF,ems,aux} = 0,8 \cdot W_{CLF,ems,aux} \tag{5-8}$$

Donde

- $\xi_{CLF,ems,aux,rcp}$ Factor de recuperación de energía térmica. Recordar (apartado 4.8) que si no se facilitan valores para el factor de recuperación se debe suponer un 80% [4.2].

5.1.2. Pérdidas térmicas

Las pérdidas térmicas en el sistema de emisión de calor $Q_{CLF,ems,prd}$ pueden ser causadas por varios motivos:

- Estratificación de la temperatura, provocando un incremento de la temperatura interior en las partes superiores del recinto (techos) $Q_{CLF,ems,str}$
- Incremento de la temperatura interior y el coeficiente de transferencia de calor cerca de las ventanas $Q_{CLF,ems,psc}$
- Control de la temperatura del recinto $Q_{CLF,ems,cntr}$

$$Q_{CLF,ems,prd} = Q_{CLF,ems,str} + Q_{CLF,ems,psc} + Q_{CLF,ems,cntr} \tag{5-9}$$

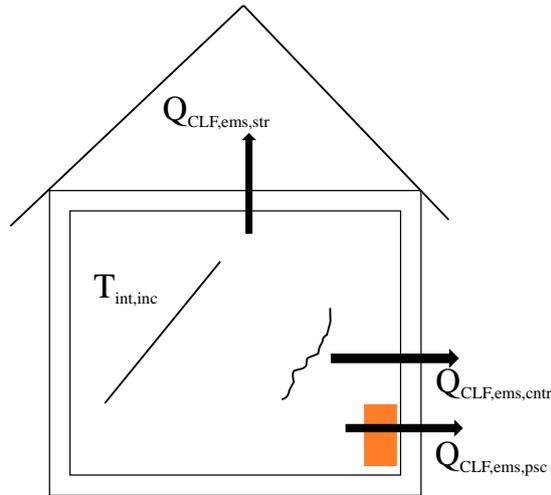


Imagen 5.2. Pérdidas de emisión por estratificación y posición

La pérdida térmica adicional de energía debida a la estratificación de temperatura en los locales ($Q_{CLF,ems,str}$) puede cambiar sustancialmente en función del gradiente de temperatura entre el techo y suelo, provocando además que las pérdidas de calor a través del techo sean mayores.

La pérdida térmica adicional de energía debida a la posición de los elementos emisores ($Q_{CLF,ems,pse}$) está causada por transmisión adicional al exterior y se aplica a los sistemas de calefacción de suelo, techo y paredes. Solo se considera como una pérdida cuando un lado de la parte del edificio que contiene el aparato de calefacción empotrada da al exterior, al terreno o a un local no calentado.

Si los emisores de calor están empotrados u ocultos por un embellecedor, sus prestaciones térmicas son de diferentes características. Es necesario tenerlo en cuenta mediante cálculos independientes¹³.

La pérdida de energía adicional debida al control de los termostatos ($Q_{CLF,ems,cntr}$) determinada de acuerdo con el siguiente método cubre solo el control del sistema de emisión de calor. No tiene en cuenta las influencias que el control (central o local) puede tener en la eficiencia del sistema de generación de calor y en las pérdidas de calor del sistema de distribución de calor.

Un control inadecuado puede causar variaciones de temperatura y desviaciones alrededor de la temperatura de consigna predefinida, debido a las características físicas del sistema de control, situación de los sensores y características del sistema de calefacción en sí mismo. Esto puede provocar un incremento o disminución de las pérdidas de calor a través de la envolvente del edificio comparado con las pérdidas de calor calculadas con la hipótesis de temperatura interior constante. La habilidad de utilizar las aportaciones interiores (ocupación, equipos, radiaciones solares) depende del tipo de sistema de emisión de calor y del método de control. El cálculo de las necesidades de energía se basa en una temperatura interior constante ($T_{loc,ini}$), mientras la temperatura actual de la zona ($T_{loc,real}$) variará de acuerdo con el concepto de control y las variaciones en las cargas interiores.

¹³ Consultar página 22 de la Guía de Eficiencia Energética Documento Reconocido del RITE sobre *Instalaciones centralizadas de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS) en edificios de viviendas* que se encuentra en el Registro de Documentos Reconocidos del RITE en la página web del Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, <http://www.minetad.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Paginas/IndexDocumentosReconocidos.aspx>.

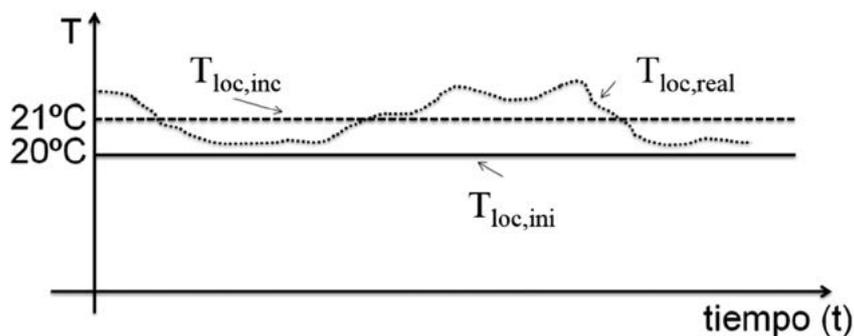


Imagen 5.3. Pérdidas de emisión por control $Q_{CLF,ems,ctr}$

Los tres tipos de pérdidas energéticas del sistema de emisión de calor se pueden calcular [5.1] utilizando uno de los dos métodos, el método de las eficiencias o el método basado en la temperatura interior equivalente que corrija estas pérdidas ($T_{loc,inc}$).

Estas dos aproximaciones pueden no proporcionar exactamente los mismos resultados, pero proporcionan la misma tendencia relativa; por lo tanto, no deben mezclarse.

5.1.2.1. Método a partir del uso de indicadores de eficiencia

El cálculo de las pérdidas térmicas se desarrolla sobre un periodo de tiempo mensual $Q_{CLF,ems,prd,mns}$ utilizando valores dependientes del periodo (o basado en otros intervalos de tiempo) como sigue:

$$Q_{CLF,ems,prd,mns} = \left(\frac{f_{CLF,ems,hdr} \cdot f_{CLF,ems,intr} \cdot f_{CLF,ems,rdc}}{\eta_{CLF,emsr}} - 1 \right) \cdot Q_{CLF,mns} \tag{5-10}$$

donde

- $Q_{CLF,ems,prd,mns}$ Pérdidas térmicas mensuales del sistema de emisión (kWh).
- $Q_{CLF,mns}$ Demanda energética mensual (kWh).
- $f_{CLF,ems,hdr}$ Factor para el equilibrio hidráulico. Tablas 5.5, 5.8, 5.10, 5.12, 5.14 y 5.16 (-).
- $f_{CLF,ems,intr}$ Factor para el funcionamiento intermitente (opción dependiente del tiempo para la reducción de temperatura para cada local individual). Tablas 5.5, 5.8, 5.10, 5.12, 5.14 y 5.16 (-).
- $f_{CLF,ems,rdc}$ Factor del efecto radiación (relevante para sistemas de calefacción radiante). Tablas 5.5, 5.8, 5.10, 5.12, 5.14 y 5.16 (-).
- $\eta_{CLF,emsr}$ Nivel de eficiencia total del emisor de calor en el local (-).

Hay que darse cuenta que en la anterior fórmula cuanto mayor sea el $\eta_{CLF,emsr}$ menores serán las pérdidas térmicas del subsistema de emisión y por tanto mejor será la eficiencia del sistema de

calefacción. Más adelante se realizará un análisis de este nivel de eficiencia en función del sistema de calefacción y parámetros de control seleccionados.

El nivel de eficiencia total $\eta_{CLF,emsr}$ está determinado por:

$$\eta_{CLF,emsr} = \frac{1}{\left(4 - \left(\eta_{CLF,ems,str} + \eta_{CLF,ems,psc} + \eta_{CLF,ems,cntr}\right)\right)} \quad 5-11$$

donde

- $\eta_{CLF,ems,str}$ Nivel de eficiencia parcial para un perfil de temperatura de aire vertical. Tablas 5.4, 5.6, 5.13, 5.15.
- $\eta_{CLF,ems,cntr}$ Nivel de eficiencia parcial del control de la temperatura del recinto. Tablas 5.4, 5.6, 5.13, 5.15.
- $\eta_{CLF,ems,psc}$ Nivel de eficiencia parcial para pérdidas específicas de los componentes externos (sistemas empotrados). Tablas 5.4, 5.6, 5.13, 5.15.

En el caso de calefacción eléctrica y edificios terciarios con una altura inferior a 4 metros, las normas CEN proponen un valor directo para $\eta_{CLF,emsr}$ (tablas 5.9 y 5.11).

El consumo anual para las pérdidas térmicas debidas a las emisiones de calor en el local se calcula por:

$$Q_{CLF,ems,prd,anl} = \sum Q_{CLF,ems,prd,mns} \quad 5-12$$

donde

- $Q_{CLF,ems,prd,anl}$ Pérdidas térmicas anuales del sistema de emisión de calor (kWh)

Se indican a continuación los niveles de eficiencia parcial $\eta_{CLF,ems,i}$ y factores $f_{CLF,ems,i}$ en la citada norma diferenciando entre la unidad emisora y el tipo de espacio.

Las soluciones del sistema no cubiertas por las siguientes tablas se pueden obtener por interpolación.

Para $\eta_{CLF,ems,str}$ se toma un valor medio a partir de los datos $\Delta T_{CLF,ems,dsñ}$ (segunda fila de la tabla 5.4) y posición del radiador (tercera fila de la tabla 5.4).

$$\eta_{CLF,ems,str} = \frac{\eta_{CLF,ems,str1} + \eta_{CLF,ems,str2}}{2} \quad 5-13$$

Parámetros	Eficiencias			
	$\eta_{CLF,ems,str}$	$\eta_{CLF,ems,ctr}$	$\eta_{CLF,ems,pse}$	
Regulación de la temperatura del local	Sin regulación, con regulación de la temperatura de impulsión central		0,80	
	Local principal		0,88	
	Controlador-P (2 K)*		0,93	
	Controlador-P (1 K)		0,95	
	Controlador-PI		0,97	
	Controlador-PI (con función de optimización, por ejemplo gestión de presencia, controlador adaptativo)		0,99	
$\Delta T_{CLF,ems,dsh}$ (referencia $T_{int,rfr} = 20^\circ C$)	$\Delta Tln_{CLF,ems,dsh} = (T_{ems,imp,dsh} + T_{ems,rtr,dsh})/2 - T_{i,rfr}^{nt}$ **	$\eta_{CLF,ems,str1}$	$\eta_{CLF,ems,str2}$	
	60 K ($T_{ems,imp,dsh} = 90^\circ C / T_{ems,rtr,dsh} = 70^\circ C$)	0,88		
	42,5 K (70 °C /55 °C)	0,93		
	30 K (55 °C /45 °C)	0,95		
Posición del radiador (AC=área acristalada)	Posición del radiador en pared interna		0,87	1
	Posición del radiador en pared externa:			
	AC sin protección de radiación		0,83	1
	AC con protección de radiación		0,88	1
	Pared externa normal		0,95	1

a: La protección de la radiación necesita prevenir un 80% de las pérdidas de radiación del cuerpo emisor de calor al área de la superficie acristalada por medio de aislamiento.

* Para completar información sobre control ver DTIE 11.02 Regulación y control en instalaciones de climatización

** $T_{ems,imp,dsh}$ Temperatura de impulsión de diseño; $T_{ems,rtr,dsh}$ Temperatura de retorno de diseño; $T_{int,rfr}$ Temperatura interior de diseño o referencia; $\Delta Tln_{CLF,ems,dsh}$ Salto medio logarítmico de la temperatura de diseño del radiador

Tabla 5.4. RADIADOR (superficies de calefacción libres). Altura de la zona $h \leq 4m$. Eficiencias.

Parámetros	$f_{CLF,ems,hdr}$	$f_{CLF,ems,intr}$	$f_{CLF,ems,rad}$
Sistemas no equilibrados	1,03		
Más de 8 emisores por control automático de presión diferencial o solo sistemas de equilibrio estático	1,01	0,97	1,00
Máximo 8 emisores por control automático de presión diferencial	1,00		

Tabla 5.5. RADIADOR. Altura de zona $h \leq 4m$. Valores de los factores $f_{CLF,ems,i}$

Parámetros	Eficiencias parciales			
	$\eta_{CLF,ems,str}$	$\eta_{CLF,ems,cntr}$	$\eta_{CLF,ems,psc}$	
Regulación de la temperatura del local	Calor transportado por medio del agua			
	no regulada		0,75	
	no regulada, con regulación de la temperatura de impulsión central		0,78	
	no regulada con formación de valor promedio de zonas		0,83	
	local principal		0,88	
	controladores de dos etapas/controlador-P		0,93	
	controlador PI		0,95	
	Calefacción eléctrica			
	controlador de dos etapas		0,91	
	controlador-PI		0,93	
Sistema	Calefacción de suelo		$\eta_{CLF,ems,psc1}$	$\eta_{CLF,ems,psc2}$
	con agua	1	0,93	
	con resistencia eléctrica	1	0,96	
	con resistencia eléctrica de baja cobertura	1	0,98	
	Calefacción de pared	0,96	0,93	
	Calefacción de techo	0,93	0,93	
Pérdidas específicas de calor a través de las superficies contiguas	Calefacción por paneles sin aislamiento mínimo, de acuerdo con la Norma UNE EN 1264 [5.5]			0,86
	Calefacción por paneles con aislamiento mínimo, de acuerdo con la Norma UNE EN 1264 [5.5]			0,95
	Calefacción por paneles con un 100% de aislamiento mejor que el requerido por la Norma UNE EN 1264 [5.5]			0,99

Tabla 5.6. SUPERFICIES RADIANTES $h \leq 4m$. Eficiencias parciales

	Habitación calentada inferiormente	Habitación no calentada o calentada internamente por debajo o directamente en el terreno*	Temperatura del aire exterior debajo		
			Temperatura exterior de diseño o nominal $T \geq 0^\circ C$	Temperatura exterior de diseño o nominal $0^\circ C > T \geq -5^\circ C$	Temperatura exterior de diseño o nominal $-5^\circ C > T \geq -15^\circ C$
Resistencia térmica m^2k/W	0,75	1,25	1,25	1,75	2,00

* Con nivel freático de agua $\leq 5m$ por debajo de la base del soporte el valor debería aumentarse.

Tabla 5.7. Resistencia térmica mínima de las capas de aislamiento (m^2k/W) debajo del sistema de calefacción por suelo radiante

Para $\eta_{CLF,ems,psc}$ se crea un valor medio a partir de los datos de sistema (segunda fila de la tabla 5.6) y pérdidas específicas de calor a través de las superficies contiguas (tercera fila de la tabla 5.6).

$$\eta_{CLF,ems,psc} = \frac{\eta_{CLF,ems,psc1} + \eta_{CLF,ems,psc2}}{2}$$

5-14

Parámetros	$f_{CLF,ems,hdr}$	$f_{CLF,ems,intr}$	$f_{CLF,ems,rad}$
Sistemas no equilibrados	1,03		
Más de 8 emisores por control automático de presión diferencial o solo sistemas de equilibrio estático	1,01	0,98	1,00
Máximo 8 emisores por control automático de presión diferencial	1,00		

Tabla 5.8. SUPERFICIES RADIANTES $h \leq 4m$. Valores de los factores $f_{CLF,ems,i}$

Parámetros		$\eta_{CLF,emsr}$
Pared externa	Controlador-P (1 K) de calefacción directa - E	0,91
	Controlador-PI de calefacción directa - E (con optimización)	0,94
	Calefacción por acumulación no regulada independiente de la temperatura exterior en la carga y descarga estática/dinámica	0,78
	Controlador -P (1 K) de calefacción por acumulación con carga dependiente de la temperatura externa y descarga estática/dinámica	0,88
	Controlador-PID de calefacción por acumulación con optimización con carga dependiente de la temperatura externa y descarga dinámica continua	0,91
Pared interna	Controlador-P (1 K) de calefacción directa - E	0,88
	Controlador-PI de calefacción directa - E (con optimización)	0,91
	Calefacción por acumulación no regulada independiente de la temperatura exterior en la carga y descarga estática/dinámica	0,75
	Controlador -P (1 K) de calefacción por acumulación con carga dependiente de la temperatura externa y descarga estática/dinámica	0,85
	Controlador-PID de calefacción por acumulación con optimización con carga dependiente de la temperatura externa y descarga dinámica continua	0,88

Tabla 5.9. CALEFACCIÓN ELÉCTRICA. Altura de la zona $h \leq 4m$. Eficiencias parciales

Parámetros	$f_{CLF,ems,hdr}$	$f_{CLF,ems,intr}$	$f_{CLF,ems,rad}$
Calefacción eléctrica	1	0,97	1

Tabla 5.10. CALEFACCIÓN ELÉCTRICA. Altura de la zona $h < 4m$. Valores de los factores $f_{CLF,ems,i}$

Configuración del sistema	Parámetro de control	$\eta_{CLF,emsr}$	
		Control fino	Control basto
Calefacción adicional en el aire entrante (calefactor adicional)	Temperatura del local	0,82	0,87
	Temperatura del local (control en cascada de la temperatura del aire entrante)	0,88	0,90
	Temperatura del aire de extracción	0,81	0,85
Calefacción de aire de recirculación (equipo de inducción, convectores ventiladores)	Temperatura del local	0,89	0,93

Tabla 5.11. Edificios terciarios. Altura de la zona $h \leq 4m$. Eficiencias parciales

Parámetros de influencia	$f_{CLF,ems,hdr}$	$f_{CLF,ems,intr}$	$f_{CLF,ems,rad}$
Calefacción eléctrica	1	1	1

Tabla 5.12. Edificios terciarios. Altura de la zona $h \leq 4m$. Valores de los factores $f_{CLF,ems,i}$

Parámetros		Eficiencias parciales						
		$\eta_{CLF,ems,str}$				$\eta_{CLF,ems,cnt}$	$\eta_{CLF,ems,psc}$	
Altura en metros h		4	6	8	10			
Regulación de la temperatura del local	No regulada					0,80		
	Controlador de dos etapas					0,93		
	Controlador-P (2 K)					0,93		
	Controlador-P (1 K)					0,95		
	Controlador-PI					0,97		
	Controlador-PI con optimización					0,99		
Sistemas de calefacción	Radiadores	0,98	0,94	0,88	0,83		1	
	Sin recirculación vertical adicional	Aire caliente Salida horizontal	0,98	0,94	0,88	0,83		1
		Aire caliente Salida vertical	0,99	0,96	0,91	0,87		1
	Con recirculación vertical adicional	Aire caliente Salida horizontal	0,99	0,97	0,94	0,91		1
		Aire caliente Salida vertical	0,99	0,98	0,96	0,93		1
	Paneles de agua caliente	1,00	0,99	0,97	0,96		1	
	Calentadores de tubo radiante	1,00	0,99	0,97	0,96		1	
	Calentadores luminosos	1,00	0,99	0,97	0,96		1	
	Calefacción de suelo (nivel alto de protección térmica)	1,00	0,99	0,97	0,96			
	Calefacción de suelo por componente integrado						0,95	
Calefacción de suelo térmicamente disociada						1		

Tabla 5.13. GRANDES ESPACIOS INTERIORES. Alturas $4m < h \leq 10m$. Eficiencias parciales

Parámetros	$f_{CLF,ems,hdr}$	$f_{CLF,ems,intr}$	$f_{CLF,ems,rad}$
Grandes espacios	1	1	0,85

Tabla 5.14. GRANDES ESPACIOS INTERIORES. Alturas $4m < h \leq 10m$. Factores $f_{CLF,ems,r}$

Parámetros		Eficiencias parciales					
		$\eta_{CLF,ems,str}$			$\eta_{CLF,ems,cnt}$	$\eta_{CLF,ems,psc}$	
Altura en metros h		12	15	20			
Regulación de la temperatura del local	No regulada				0,80		
	Controlador de dos etapas				0,93		
	Controlador-P (2 K)				0,93		
	Controlador-P (1 K)				0,95		
	Controlador-PI				0,97		
	Controlador-PI con optimización				0,99		
Sistemas de calefacción	Aire caliente <u>Sin</u> recirculación vertical adicional	Salida horizontal	0,78	0,72	0,63		1
		Salida vertical	0,84	0,78	0,71		1
	Aire caliente <u>Con</u> recirculación vertical adicional	Salida horizontal	0,88	0,84	0,77		1
		Salida vertical	0,91	0,88	0,83		1
	Paneles de agua caliente		0,94	0,92	0,89		1
	Calentadores de tubo radiante		0,94	0,92	0,89		1
	Calentadores luminosos		0,94	0,92	0,89		1
	Calefacción de suelo (nivel alto de protección térmica)		0,94	0,92	0,89		
	Calefacción de suelo por componente integrado						0,95
	Calefacción de suelo térmicamente disociada						1

Tabla 5.15. GRANDES ESPACIOS INTERIORES. Alturas $h > 10m$. Eficiencias parciales.

Parámetros	$f_{CLF,ems,hdr}$	$f_{CLF,ems,intr}$	$f_{CLF,ems,rad}$
Grandes espacios	1	1	0,85

Tabla 5.16. GRANDES ESPACIOS INTERIORES. Alturas $h > 10m$. Factores $f_{CLF,ems,r}$

Se analiza a continuación los valores de eficiencia del sistema de emisión para el caso de radiadores y de suelo radiante por ser los dos tipos de emisores de calor más utilizados en nuestro país para abastecer la demanda de calefacción en edificios de viviendas.

En el primero de los emisores, radiadores, se analiza para tres tipos diferentes de temperaturas de impulsión y retorno (impulsión/retorno) de diseño 70/55 °C, 55/45 °C y 50/35 °C (en todas las temperaturas interiores se considera de 20°C) y tres tipos de regulación de la temperatura del local, controlador P (2K), controlador P (1K) y controlador PI.

Utilizando los valores de la tabla 5.4 los resultados de la eficiencia en la emisión son los siguientes:

Temperatura imp/rtr/local	Control	$\Delta T_{CLF,ems,dsñ}^{\circ C}$	$\eta_{CLF,ems,str1}$	$\eta_{CLF,ems,str2}$	$\eta_{CLF,ems,psc}$	$\eta_{CLF,ems,ctr}$	$\eta_{CLF,ems,str}$	$\eta_{CLF,emsr}$
Caldera 90/70/20 °C	P(2K)	60	0,88	0,95	1	0,93	0,915	0,87
	P(1K)					0,95		0,88
	PI					0,97		0,90
Caldera 80/60/20 °C	P (2K)	50	0,90(*)	0,95	1	0,93	0,925	0,87
	P (1K)					0,95		0,89
	PI					0,97		0,90
Bomba de calor 60/50/20 °C	P (2K)	35	0,94(*)	0,95	1	0,93	0,945	0,89
	P (1K)					0,95		0,90
	PI					0,945		0,92

* Valor interpolado.

Tabla 5.17. Sensibilidad de las pérdidas energéticas en radiadores

Como se puede apreciar en el caso de los radiadores (a igualdad del sistema de control) se tendrán menos pérdidas energéticas (mejor valor de $\eta_{CLF,emsr}$) cuanto más baja sea la temperatura de impulsión del agua al emisor¹⁴ y mayor sea la temperatura de retorno, es decir, mayor sea la superficie de intercambio del radiador. En definitiva todos los parámetros que disminuyan $\Delta T_{CLF,ems,dsñ}$. Evidentemente cuanto más sensible sea el sistema de control menos pérdidas energéticas existirán.

Se representan a continuación los valores de la tabla 5.17.

¹⁴ Además esto permitiría utilizar generadores de calor que no puedan impulsar agua a temperaturas muy altas, bombas de calor, y aprovechar mejor la técnica de la condensación de humos en las calderas de condensación (si se impulsa agua a temperaturas más bajas las temperaturas de retorno serán también más bajas y se llegara más fácilmente a la temperatura de rocío de los humos).

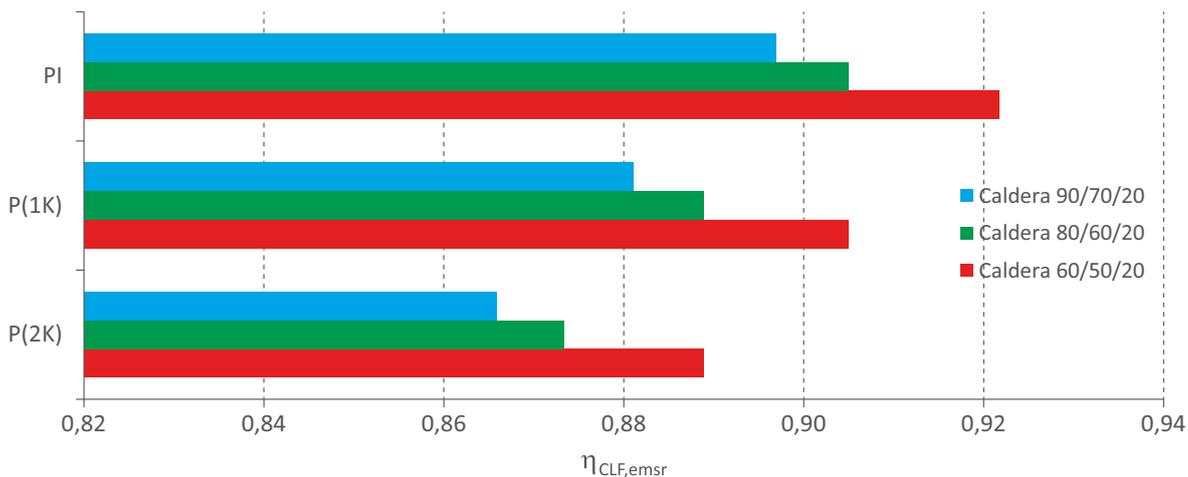


Imagen 5.4. Pérdidas de emisión por control en radiadores

En el caso de suelo radiante se analiza, como en el caso anterior, la sensibilidad del sistema de control de la temperatura del local y las pérdidas específicas de calor a través de las superficies contiguas en función del aislamiento establecido por la norma UNE EN 1264 [5.5].

Utilizando los valores de la tabla 5.6 los resultados de la eficiencia en la emisión son los siguientes:

Aislamiento	Control	$\eta_{CLF,ems,psc1}$	$\eta_{CLF,ems,psc2}$	$\eta_{CLF,ems,psc}$	$\eta_{CLF,ems,ctr}$	$\eta_{CLF,ems,str}$	$\eta_{CLF,emsr}$
Suelo radiante	P-control	0,93	0,86	0,90	0,93	1	0,85
	PI-control				0,95		0,87
Suelo radiante muy aislado	P-control	0,93	0,95	0,94	0,93	1	0,88
	PI-control				0,95		0,90
Suelo radiante sin pérdidas	P-control	0,93	0,99	0,96	0,93	1	0,90
	PI-control				0,95		0,92

Tabla 5.18. Sensibilidad de las pérdidas energéticas en suelo radiante

Como se puede observar las conclusiones en cuanto al nivel de control son las mismas que las señaladas para radiadores, cuanto más exacto sea el nivel de control menos pérdidas, y evidentemente cuanto mejor esté aislado el suelo radiante menores pérdidas se van a producir.

Se representan a continuación los valores de la tabla 5.18.

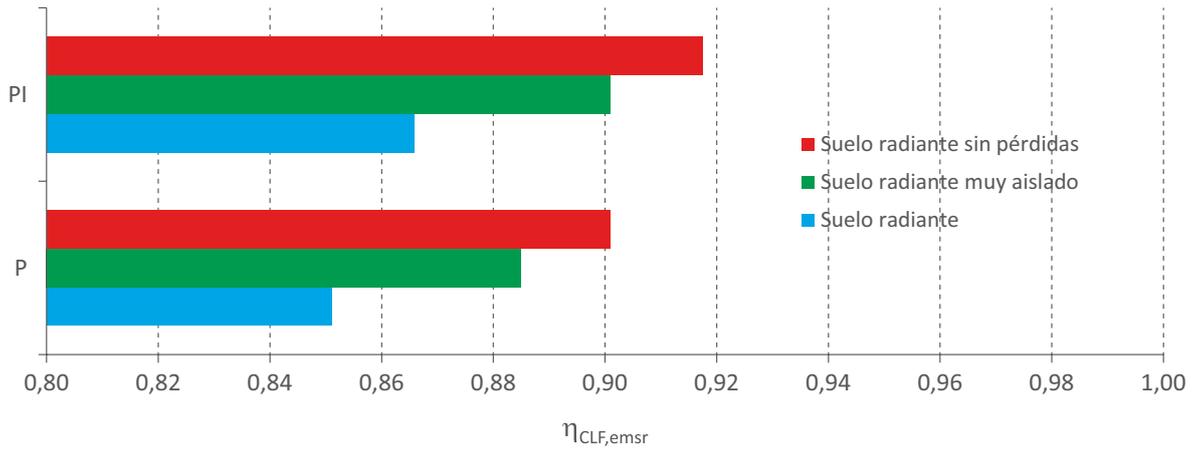


Imagen 5.5. Pérdidas de emisión por control en suelo radiante

Para completar el estudio del suelo radiante se compara la distribución por suelo y pared evidenciando que no es muy eficiente un emisor de calor ubicado en los techos.

Suelo radiante muy aislado	Posición	$\eta_{CLF,ems,psc1}$	$\eta_{CLF,ems,psc2}$	$\eta_{CLF,ems,psc}$	$\eta_{CLF,ems,cntr}$	$\eta_{CLF,ems,str}$	$\eta_{CLF,emsr}$
	Suelo	0,93	0,95	0,94	0,93	1	0,88
	Techo	0,93	0,95	0,94	0,93	0,93	0,83

Tabla 5.19. Sensibilidad de las pérdidas energéticas con respecto a la situación en suelo radiante.

Se representan a continuación los valores de la tabla 5.19.

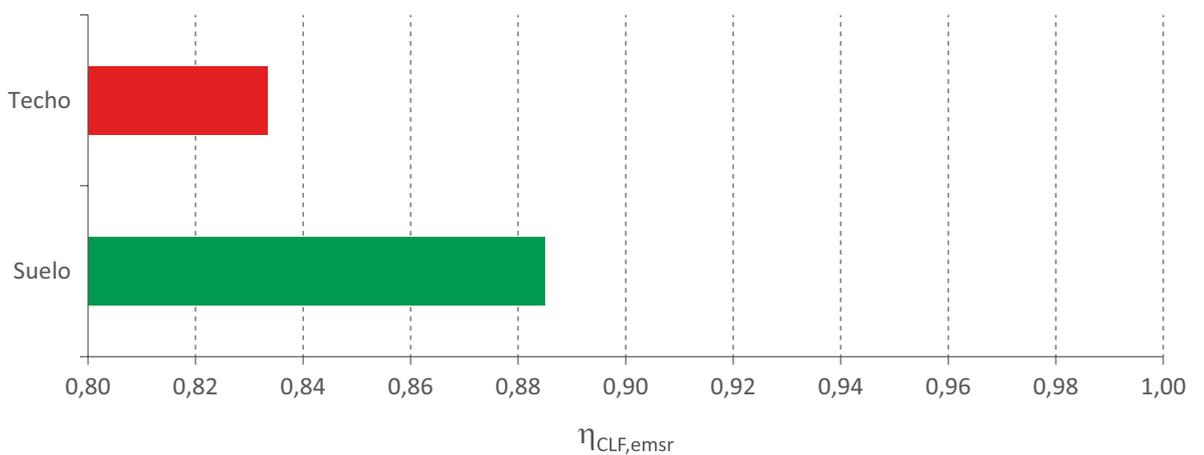


Imagen 5.6. Pérdidas de emisión por posición en suelo radiante

Conforme a lo indicado y como muestra la comparativa de las imágenes 5.4, 5.5 y 5.6, la elección del sistema de emisión de calor es importante de cara a valorar las pérdidas térmicas de la instalación

del sistema de calefacción por la emisión. Los gráficos muestran que a igualdad de la sensibilidad del sistema de control y temperaturas de impulsión y retorno (no es un dato de la tabla 5.6 aunque quizás debiera de serlo como en la tabla 5.4) es mucho mejor la eficiencia en la emisión de superficies radiantes colocadas en el suelo que de los radiadores. Como se aprecia también en las tablas, se consigue mejor estratificación del aire en las zonas con los sistemas radiantes por suelo que los radiadores, consiguiendo un grado mayor de satisfacción térmica provocada por asimetría radiante entre techos y suelo.

5.1.2.2. Método a partir del incremento de la temperatura interior

El cálculo de la pérdida térmica del subsistema de emisión $Q_{CLF,ems,prd}$ se puede determinar a partir del incremento de la temperatura interior $T_{loc,inc}$ (ver imagen 5.3). Este aumento de la temperatura interior se debe a:

- Variación espacial debida a la estratificación, dependiendo del emisor(es) de calor $\Delta T_{CLF,ems,str}$ (°C).
- Variación dependiendo del control para asegurar una temperatura uniforme y constante $\Delta T_{CLF,ems,ctr}$ (°C).

A partir de los dos anteriores términos y la temperatura interior inicial ($T_{int,ini}$) de cálculo se obtiene la temperatura interior incrementada $T_{int,inc}$ mediante:

$$T_{loc,inc} = T_{loc,ini} + \Delta T_{CLF,ems,str} + \Delta T_{CLF,ems,ctr} \tag{5-15}$$

$$\Delta T_{loc,inc} = T_{loc,inc} - T_{loc,ini} = \Delta T_{CLF,ems,str} + \Delta T_{CLF,ems,ctr} \tag{5-16}$$

Las tablas 5.20, 5.21 y 5.22 proporcionan las clases de variación espacial de la temperatura de acuerdo con el tipo de emisor de calor y del control para diferentes tipos de emisores.

También se proporcionan valores para la carga térmica nominal y mínima porque la variación de la temperatura debida a la estratificación y al control puede depender de la carga térmica.

Clase de variación espacial	Emisor de calor	$\Delta T_{CLF,ems,str}$ (°C)			
		h < 4 m	4-6 m	6-8 m	h > 8 m
A	Suelo radiante	0	0	0	0
B	Aire con retorno de aire < 3 m	0,2	0,8	1,2	1,6
	Emisores radiantes				
	Emisores de baja temperatura				
	Paneles de techo radiantes				
	Ventiloconvectores con descarga inferior				
C	Otros emisores	0,4	1,2	2	2,8

Tabla 5.20. Variación espacial por tipo de emisor de calor a carga nominal en función de la altura del techo

Temperatura interior de consigna: 20° C	Variación espacial de la temperatura dependiendo de la carga térmica $\Delta T_{CLF,ems,str}$ (°C)	
	Apagado	Carga nominal
$\Delta T_{CLF,ems,dstn} > 40$ K	0	0,4
$\Delta T_{CLF,ems,dstn} \leq 40$ K	0	0,2

Tabla 5.21. Variación espacial RADIADORES en función de la temperatura del agua y de la carga térmica

Emisor de calor y control asociado	Referencia a la norma	$\Delta T_{CLF,ems,ct}$ (°C)	
		Apagado	Carga térmica nominal ^c
Emisor eléctrico directo con controlador integrado	UNE EN 60675 [5.6]	0,4	0,9
Válvula de radiador termostático	UNE EN 215 [5.7]	0,45-histéresis	0,45· (histéresis+efecto de la temperatura del agua) ^a
Equipo de control individual de zona	UNE EN 15500 [5.8]	0,5 CA	CA ^b (definido en la norma y certificado)
Otro controlador si la emisión puede pararse totalmente		0,9	1,8
Sin control		2	4

^a Con valores de histéresis y efecto de la temperatura del agua del informe de prueba de la válvula termostática de acuerdo con la norma UNE EN 215. La histéresis no debe ser superior a 1 K y el efecto de la temperatura no debe ser superior a 1,5 K para válvulas termostáticas con sensor incorporado y 0,75 K con sensor remoto [5.7].

^b La exactitud de control (CA) del controlador se obtiene de la norma UNE EN 15500. Nunca superior a 2 K [5.8].

^c Valores intermedios se obtienen por interpolación.

Tabla 5.22. Variación debida al control en función del tipo de emisor de calor y de la carga térmica

Conocido $\Delta T_{int,inc}$ las pérdidas térmicas del sistema de emisión de calor se obtienen de cualquiera de las dos siguientes maneras:

- Multiplicando la demanda calculada de calor del edificio, Q_{CLF} , con un factor basado en el cociente entre el incremento equivalente de temperatura interior ($\Delta T_{loc,inc} = T_{loc,inc} - T_{loc,ini}$) y la diferencia de temperatura media exterior para el periodo de cálculo y temperatura interior del local:

$$Q_{CLF,ems,prd} = \frac{\Delta T_{loc,inc}}{T_{loc,ini} - T_{ext,med}} \cdot Q_{CLF} \quad 5-17$$

- Recalculando la demanda del edificio utilizando la temperatura interior incrementada $T_{int,inc}$ como temperatura de consigna de la zona acondicionada (esta segunda aproximación proporciona mayor exactitud):

$$Q_{CLF,ems,prd} = Q_{CLF}(T_{loc,inc}) - Q_{CLF}(T_{loc,ini}) \quad 5-18$$

Donde la demanda energética con la nueva consigna $T_{loc,inc}$, $Q_{CLF}(T_{loc,inc})$, se obtiene con el mismo procedimiento (programa de simulación computacional) con el que se haya obtenido la demanda inicial $Q_{CLF}(T_{loc,ini})$.

5.2. Subsistemas de distribución

La energía suministrada por el subsistema de distribución es la misma que el consumo energético del subsistema de emisión y por tanto será un dato de partida para el subsistema de distribución. Como se señaló, los datos energéticos que se tienen que obtener del subsistema de emisión de calor, incluyendo el control, serán:

- Energía suministrada por el subsistema $Q_{CLF,dst,sld} = Q_{CLF,ems,ent}$
- Consumo de energía auxiliar $W_{CLF,dst,aux}$ y cuánto de este es recuperable como energía térmica $Q_{CLF,dst,aux,rcb}$ y cuánta recuperada $Q_{CLF,dst,aux,rcp}$
- Pérdidas térmicas del sistema $Q_{CLF,dst,prd}$ y cuánto de este es recuperable $Q_{CLF,dst,prd,rcb}$
- Consumo energético del subsistema $Q_{CLF,dst,ent}$

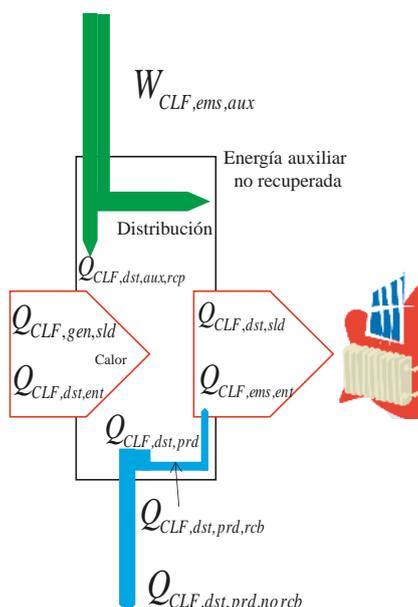


Imagen 5.7. Aproximación simplificada. Subsistema de distribución

La eficiencia energética del subsistema de distribución de calefacción se calcularía aplicando la fórmula 4-3 (todos los términos en kWh):

$$\eta_{CLF,dst} = \frac{Q_{CLF,dst,sld}}{f_y \cdot Q_{CLF,dst,ent} + f_z \cdot W_{CLF,dst,aux}}$$

La energía térmica requerida para la emisión de calor es

$$Q_{CLF,dst,ent} = Q_{CLF,dst,sld} + Q_{CLF,dst,prd,norcb} - Q_{CLF,dst,prd,rcb} - Q_{CLF,ems,aux,rcp} \quad 5-20$$

Se expone la forma de cálculo propuesta por la norma UNE EN 15316 [5.2] para la obtención de los anteriores datos para los subsistemas de distribución tanto para los circuitos primarios como secundarios de calefacción.

La subdivisión del sistema de calefacción en circuitos primarios y secundarios se consigue mediante un separador hidráulico, que puede ser un elemento de almacenamiento con un gran volumen o un colector con un pequeño volumen.

Las fórmulas tienen que aplicarse para cada uno de los circuitos primarios y secundarios teniendo en cuenta los valores característicos de cada uno.

5.2.1. Energía auxiliar

El consumo de energía auxiliar de los circuitos hidráulicos depende del caudal distribuido, la caída de presión y el modo de funcionamiento de la bomba de circulación. Mientras el caudal y la caída de presión de diseño son importantes para determinar el tamaño de la bomba, el estado de carga determina el consumo energético.

5.2.1.1. Cálculo de la energía auxiliar en los subsistemas de distribución

La potencia hidráulica en el punto de diseño puede calcularse a partir de principios físicos, sin embargo el cálculo de la potencia hidráulica durante el funcionamiento debiera obtenerse por simulación. En la norma [5.2] se proponen factores de corrección basados en multitud de simulaciones, que representan las influencias a carga parcial, controles y criterios de diseño.

Para el cálculo del consumo de energía auxiliar para este subsistema se realizan los cálculos anuales y luego, en caso de que se necesite, se corrigen para obtener los valores en periodos mensuales.

El consumo de energía auxiliar anual para las bombas de circulación se calcula mediante la ecuación 5-21:

$$W_{CLF,dst,aux,anl} = W_{CLF,dst,hdr,anl} \cdot e_{CLF,dst} \quad 5-21$$

donde

- $W_{CLF,dst,aux,anl}$ Consumo de energía auxiliar anual (kWh/año).
- $W_{CLF,dst,hdr,anl}$ Demanda de energía hidráulica anual (kWh/año).
- $e_{CLF,dst}$ Factor de energía consumida para el funcionamiento de la bomba (-).

Cuando es necesario la demanda de energía auxiliar mensual se calcula mediante

$$W_{CLF,dst,aux,mns} = W_{CLF,dst,aux,anl} \cdot \frac{\beta_{CLF,dst,mns} \cdot t_{CLF,ON-OFF,mns}}{\beta_{CLF,dst,anl} \cdot t_{CLF,ON-OFF,anl}} \quad 5-22$$

donde

- $\beta_{CLF,dst,mns}$ Carga parcial media de la distribución en un mes
- $t_{CLF,ON-OFF,mns}$ Horas de calefacción al mes (h/mes)
- $\beta_{CLF,dst,anl}$ Carga parcial media de la distribución en un año
- $t_{CLF,ON-OFF,anl}$ Horas de calefacción al año (h/año)

A continuación se analiza cómo se obtienen los dos factores de la ecuación 5-21 $W_{CLF,dst,hdr,anl}$ (demanda de energía hidráulica anual (kWh/año)) y $e_{CLF,dst}$ (factor de energía consumida para el funcionamiento de la bomba (-)).

5.2.1.2. Demanda de energía hidráulica anual $W_{CLF,dst,hdr,anl}$

La demanda de energía hidráulica de las bombas de circulación en los sistemas de calefacción ($W_{CLF,dst,hdr,anl}$) se determina a partir de la potencia hidráulica en el punto de diseño ($P_{CLF,hdr,dsñ}$), la carga parcial media de la distribución ($\beta_{CLF,dst,anl}$), las horas de calefacción en el periodo de tiempo ($t_{CLF,ON-OFF,anl}$) y una serie de factores de corrección:

$$W_{CLF,dst,hdr,anl} = \frac{P_{CLF,hdr,dsñ}}{1.000} \cdot \beta_{CLF,dst,anl} \cdot t_{CLF,ON-OFF,anl} \cdot f_{CLF,Timp} \cdot f_{CLF,red,hdr} \cdot f_{CLF,A,emsr} \cdot f_{CLF,eql,hdr} \cdot f_{CLF,gnr,bmb,int} \quad 5-23$$

donde

- $P_{CLF,hdr,dsñ}$ Potencia hidráulica en el punto de diseño (W).
- $f_{CLF,Timp}$ Factor de corrección para la temperatura del flujo de impulsión.
- $f_{CLF,red,hdr}$ Factor de corrección para redes hidráulicas.
- $f_{CLF,A,emsr}$ Factor de corrección del dimensionamiento de la superficie de calefacción.
- $f_{CLF,eql,hdr}$ Factor de corrección para el balance hidráulico.
- $f_{CLF,gnr,bmb,int}$ Factor de corrección para los generadores con control de bomba integrado.

Los factores de corrección $f_{CLF,Timp}$, $f_{CLF,red,hdr}$ y $f_{CLF,A,emsr}$ incluyen los parámetros más importantes relacionados con el diseño del sistema de calefacción. El factor $f_{CLF,bln,hdr}$ tiene en cuenta el equilibrado hidráulico del sistema de distribución. El factor de corrección $f_{CLF,gnr,bmb,int}$ para generadores con control de bombas integrado, tiene en cuenta la reducción del tiempo de funcionamiento en relación con el tiempo de calefacción.

Los factores de corrección se basan, como se apuntó, en un amplio rango de simulaciones de diferentes redes de distribución. A continuación se analiza como se obtienen los distintos factores de la ecuación 5-23. Puntos a), b), c), d), e), f) y g) siguientes.

a) Cálculo de la potencia hidráulica de diseño $P_{CLF,hdr,dstñ}$

La potencia hidráulica en el punto de diseño ($P_{CLF,hdr,dstñ}$) viene dada por (W):

$$P_{CLF,hdr,dstñ} = \frac{1.000}{3.600} \cdot V_{CLF,dstñ} \cdot \Delta p_{CLF,dstñ} \quad 5-24$$

donde

- $V_{CLF,dstñ}$ Caudal en el punto de diseño (m^3/h).
- $\Delta p_{CLF,dstñ}$ Presión diferencial en el punto de diseño (kPa).

El caudal en el punto de diseño se calcula a partir de la carga de calor de la zona $\Phi_{CLF,ems}$ (kW) y la diferencia de temperatura de diseño entre impulsión y retorno del sistema de distribución.

$$V_{CLF,dstñ} = \frac{3.600 \cdot \Phi_{CLF,ems}}{C_{e,agua} \cdot \rho_{agua} \cdot \Delta T_{CLF,dst,dstñ}} \quad 5-25$$

- $C_{e,agua}$ Capacidad calorífica específica del agua¹⁵ (kJ/kgK).
- ρ_{agua} Densidad del agua¹⁶ (kg/m^3).
- $\Delta T_{CLF,dst,dstñ}$ Diferencia de temperatura de diseño (K).

La presión diferencial para una zona en el punto de diseño $\Delta P_{dstñ}$ se determina por la resistencia hidráulica en las tuberías (incluyendo los componentes) y las resistencias adicionales:

$$\Delta p_{CLF,dstñ} = (1 + f_{CLF,cmp}) \cdot R_{CLF,hdr} \cdot L_{CLF,dst,max} + \Delta p_{emsr} + \Delta p_{vc} + \Delta p_{vz} + \Delta p_{CLF,gnr} + \Delta p_{CLF,vrs} \quad 5-26$$

donde (por zona),

- $f_{CLF,cmp}$ Índice de pérdida de presión adicional para componentes.
- $R_{CLF,hdr}$ Pérdida de presión por m (kPa/m).
- $L_{CLF,dst,max}$ Longitud máxima de tubería del circuito de calefacción (m).
- Δp_{emsr} Presión diferencial de la superficie de calefacción (kPa).
- Δp_{vc} Presión diferencial de válvula de control de la superficie de calentamiento (kPa).
- Δp_{vz} Presión diferencial de las válvulas de la zona (kPa).
- $\Delta p_{CLF,gnr}$ Presión diferencial del suministro de calor (kPa).
- $\Delta p_{CLF,vrs}$ Presión diferencial de las resistencias adicionales (kPa).

¹⁵ El calor específico del agua se define como la cantidad de energía necesaria para elevar su temperatura, en un grado Celsius, un gramo de agua en condiciones estándar y es igual a 4,184 kJ/kgK. Para los cálculos de esta guía se supone que no varía ni con la presión ni con la temperatura.

¹⁶ Para los cálculos de esta guía se toma el valor de 1 kg/l.

La norma UNE EN 15316 [5.2] propone una aproximación¹⁷ para el cálculo de la presión diferencial en el punto de diseño $\Delta p_{CLF,dsñ}$ fijando una pérdida de presión por longitud del circuito de calefacción ($R_{CLF,hdr}=0,1$ kPa/m) y un índice de pérdida de presión adicional para componentes de $f_{CLF,cmp} = 0,3$.

$$\Delta p_{CLF,dsñ} \approx 0,13 \cdot L_{CLF,dst,max} + \Delta p_{CLF,pln} + \Delta p_{CLF,gnr} + 2 \tag{5-27}$$

donde

- $\Delta p_{CLF,pln}$ Pérdida de presión para los sistemas de calefacción por planta (kPa). Incluye emisores, válvulas y demás resistencias adicionales.

Así las variables para determinar la presión diferencial en el punto de diseño son solo la longitud máxima del circuito de calefacción en la zona y las pérdidas de presión del sistema de calefacción por planta.

Esta aproximación es aplicable al circuito de calefacción primario, así como al circuito de calefacción secundario. Si los datos del fabricante para $\Delta p_{CLF,pln}$ y/o $\Delta p_{CLF,gnr}$ no están disponibles se aplican un valor por defecto de $\Delta p_{CLF,pln}=25$ kPa (incluyendo válvulas y emisor) y $\Delta p_{CLF,gnr}$ se obtiene de la tabla 5-23:

Tipo de generador de calor		$\Delta p_{CLF,gnr}$ (kPa)
Generador con contenido de agua > 0,3 l/kW		1
Generador con contenido de agua ≤ 0,3 l/kW	$\Phi_{gnr,max} < 35$ kW	$20 \cdot (V_{gnr,dsñ})^2$
	$\Phi_{gnr,max} \geq 35$ kW	80

$\Phi_{gnr,max}$ es la carga de calor máxima; $V_{gnr,dsñ}$ es el caudal de diseño del generador (m³/h).

Tabla 5.23. Pérdida de presión de los generadores de calor

La longitud máxima del circuito de calefacción en una zona puede calcularse aproximadamente a partir de las dimensiones exteriores de la zona:

$$L_{CLF,dst,max} = 2 \cdot \left(L_{lrg} + \frac{L_{anch}}{2} + n_{pln} \cdot h_{pln} + L_{CLF,otr} \right) \tag{5-28}$$

donde

- L_{lrg} Largo de la zona (parte del edificio) (m).
- L_{anch} Anchura de la zona (parte del edificio) (m).
- n_{pln} Número de plantas calentadas en la zona (parte del edificio) (-).

¹⁷ Extraña el valor numérico constante 2 de la fórmula 5-27 que en ningún momento dentro de las normas se explica.

- h_{pln} Altura media de las plantas en la zona (parte del edificio) (m).
- $L_{oCLF,otr}$ 10 m para sistemas de calefacción bitubulares; $L_{lrg} + L_{anch}$ para sistemas de calefacción monotubo.

b) Cálculo de carga parcial media de distribución por zona

La carga parcial media de distribución anual viene dada por:

$$\beta_{CLF,dst,anl} = \frac{Q_{CLF,dst,sld}}{\Phi_{CLF,ems} \cdot t_{CLF,ON-OFF,anl}} \tag{5-29}$$

- $Q_{CLF,dst,sld}$ Energía térmica producida del sistema de distribución por intervalo de cálculo (kWh).
- $\Phi_{CLF,ems}$ Potencia nominal de los emisores instalados por zona o carga de calor de diseño (kW).
- $t_{CLF,ON-OFF,anl}$ Horas de calefacción en la zona por intervalo de cálculo (h).

c) Corrección del control de temperatura de impulsión $f_{CLF,Timp}$

Para sistemas con temperatura de impulsión variable (por ejemplo como control sobre la temperatura exterior) este valor vale 1, $f_{CLF,Timp} = 1$.

Para caso contrario $f_{CLF,Timp}$, sistemas con temperatura de impulsión constante (o también para sistemas con temperatura de impulsión muy superior a la necesaria) se estima en función del área de la zona (A_{zon}).

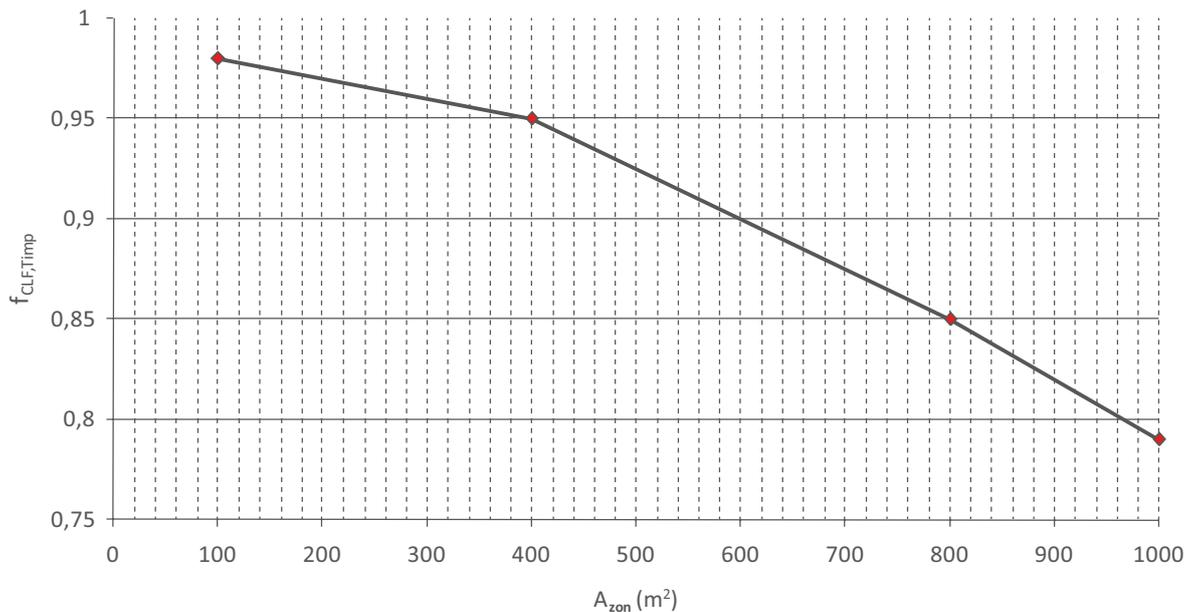
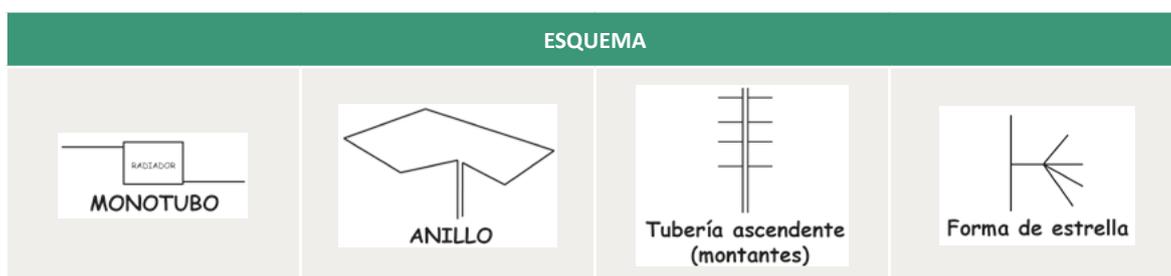


Imagen 5.8. Factor de corrección con control de la temperatura de impulsión constante

d) Factor de corrección para redes hidráulicas $f_{CLF,red,hdr}$

Este factor sólo es necesario para distinguir entre sistemas de calefacción monotubo y bitubo.

Diseño de la red		Vivienda unifamiliar	Bloque de edificios
Monotubo		0,96	
Bitubo	Anillo	1,0	1,0
	Tubería ascendente	0,93	0,92
	Forma de estrella	0,98	0,98



Nota: El diseño de red en forma de estrella es también válido para sistemas de calefacción de suelo.

Tabla 5.24. Factor de corrección para redes hidráulicas $f_{CLF,red,hdr}$

e) Corrección dimensionamiento del área de calefacción $f_{CLF,A,emsr}$

Para dimensiones de acuerdo con la carga de calor de diseño este valor vale uno, $f_{CLF,A,emsr} = 1$, y en caso de sobredimensionado adicional de la superficie de calefacción $f_{CLF,A,emsr} = 0,96$. No se indica en la norma cómo estimar si un diseño ha sido sobredimensionado o no, pero se propone que si el cálculo se realiza con un programa que considere la inercia de los muros a través de funciones de transferencia estaría no sobredimensionado y en caso contrario sobredimensionado.

f) Factor de corrección para el equilibrio hidráulico $f_{CLF,eq,hdr}$

Para sistemas con equilibrado hidráulico este valor vale uno $f_{CLF,eq,hdr} = 1$ y para sistemas no equilibrados hidráulicamente $f_{CLF,eq,hdr} = 1,15$.

g) Corrección con generadores con control de bomba integrado $f_{CLF,gnr,bmb,int}$

Para generador estándar controlado por temperatura exterior este valor vale uno, $f_{CLF,gnr,bmb,int} = 1$, para generador colgado de pared controlado por temperatura exterior $f_{CLF,gnr,bmb,int} = 0,75$ y para generador colgado de pared controlado por temperatura del recinto $f_{CLF,gnr,bmb,int} = 0,45$

En este factor es donde mayores cambios hay en función de la tipología del sistema, dándole relativa importancia por tanto al modo de control y premiando el control en función de la temperatura interior.

5.2.1.3. Factor de energía consumida para el funcionamiento de la bomba $e_{CLF,dst}$

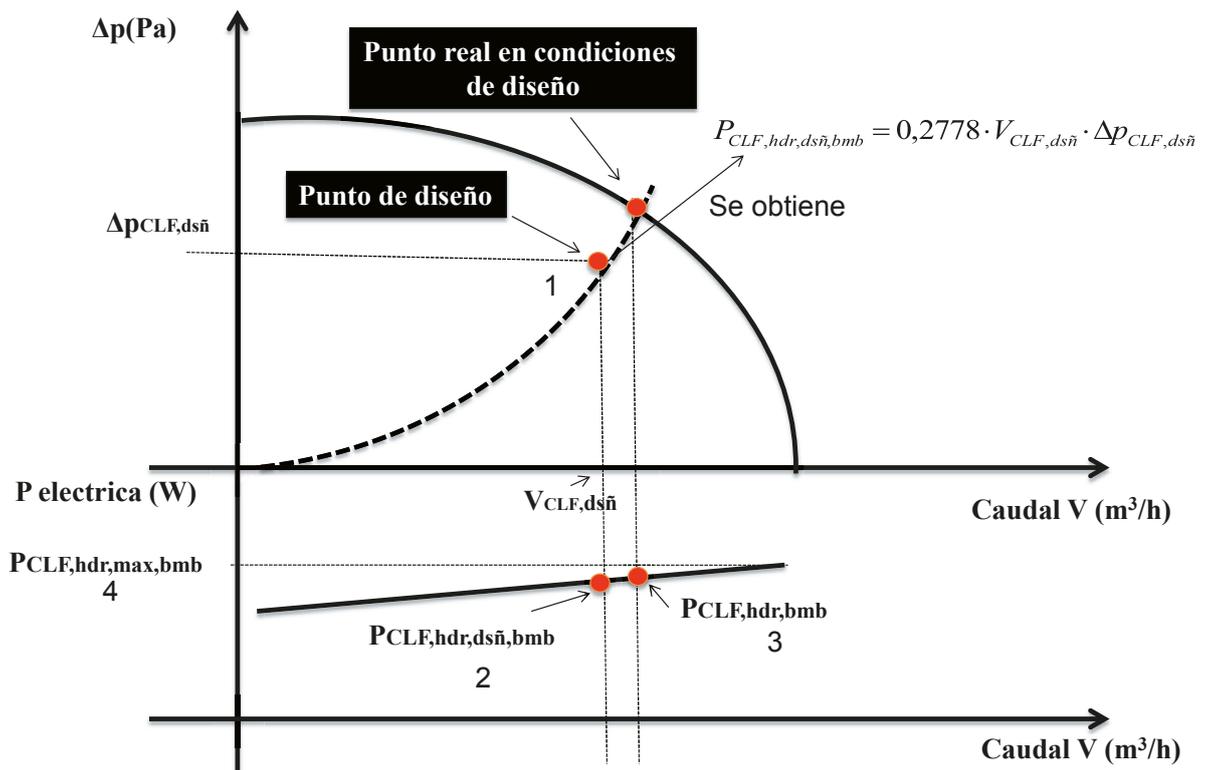
Para la evaluación de las condiciones de carga parcial y prestaciones de control del funcionamiento de la bomba de circulación, el factor de energía consumida se determina por:

$$e_{CLF,dst} = f_{CLF,dst,cntr} \cdot f_{CLF,dst,fcP} \cdot f_{CLF,dst,\eta} \cdot f_{CLF,dst,dsñ} \tag{5-30}$$

donde

- $f_{CLF,dst,cntr}$ Factor de corrección para el control.
- $f_{CLF,dst,fcP}$ Factor de corrección para la carga parcial.
- $f_{CLF,dst,\eta}$ Factor de corrección para la eficiencia.
- $f_{CLF,dst,dsñ}$ Factor de corrección para la selección del punto de diseño.

Con estos cuatro factores de corrección, el factor de energía consumida ($e_{CLF,dst}$) tiene en cuenta las influencias más importantes del consumo energético, dependiente del diseño $f_{CLF,dst,dsñ}$, la eficiencia de la bomba $f_{CLF,dst,\eta}$, la carga parcial $f_{CLF,dst,fcP}$ y el control $f_{CLF,dst,cntr}$.



Leyenda

- $P_{CLF,hdr,bmb}$ Potencia eléctrica real de la bomba (W). Punto 3 en la imagen 5.9.
- $P_{CLF,hdr,dsñ,bmb}$ Potencia eléctrica de referencia de la bomba, punto 2 en la imagen 5.9, obtenida a través de la potencia hidráulica en el punto de diseño, punto 1 en la imagen 5.9 (W).
- $P_{CLF,hdr,max,bmb}$ Potencia de entrada de referencia real de la bomba en el punto máximo (W). Punto 4 en la imagen 5.9.

Imagen 5.9. Factor de energía consumida

a) Factor de corrección para el control de la bomba $f_{CLF,dst,ctr}$

El factor de corrección para el control de la bomba $f_{CLF,dst,ctr}$ para bombas no controladas vale uno $f_{CLF,dst,ctr} = 1$ y para bombas controladas (bombas con variador de velocidad) hay que obtenerlo de la siguiente imagen en función de que el control de la bomba sea a presión diferencial constante ($\Delta p = cte$) o variable ($\Delta p = vbl$). Si no se tienen datos se toma $P_{CLF,hdr,bmb,max} / P_{CLF,hdr,bmb} = 1,1$

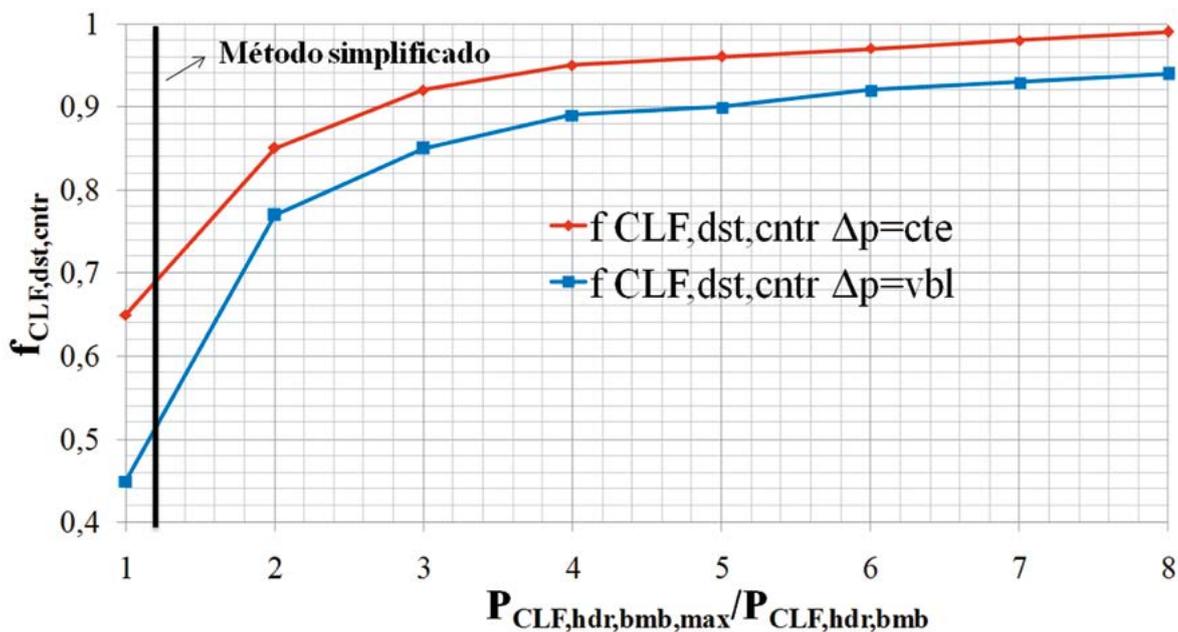


Imagen 5.10. Factor de corrección para el control de la bomba

El empleo de variadores de frecuencia para la regulación de las bombas es cada vez más habitual. Muchos fabricantes han incorporado el variador de frecuencia en algunos de sus modelos de bombas, siendo esta opción muy adecuada en sistemas de caudal variable. La regulación se suele hacer:

- Variación de la velocidad de giro manteniendo la presión diferencial constante.
- Variación de la velocidad de giro con presión diferencial variable.

En la regulación, manteniendo la presión diferencial constante (parte superior de la imagen 5.11), tal y como su nombre indica, el variador ajusta su frecuencia de salida de forma que la altura manométrica suministrada por la bomba sea constante. El variador de frecuencia acoplado a la bomba regula su régimen de giro de forma que se mantiene constante la presión diferencial entre impulsión y aspiración de la bomba. En un circuito a caudal variable, en primer lugar se ajustará la bomba para la situación de caudal nominal (máximo). En este punto se le indica al sistema de regulación que mantenga constante la altura proporcionada. De esta forma, al cerrarse las válvulas de regulación del sistema (radiadores, fan-coils, etc.), la bomba mantendrá la altura, reduciendo el caudal de suministro, con las siguientes ventajas:

- El caudal disminuye significativamente al aumentar las pérdidas de presión, reduciéndose la velocidad en las tuberías y los posibles problemas de ruido por exceso de caudal.

- La energía consumida disminuye significativamente en los sistemas de climatización donde la demanda es muy variable.

Los circuitos con variación de la velocidad de giro con presión diferencial variable son una modificación del sistema anterior. En circuitos de recirculación, la resistencia hidráulica del circuito aumenta a medida que cierran las válvulas de control de dos vías de los elementos terminales: radiadores, fan-coils, baterías, etc. Una vez puesta en marcha la bomba y ajustada la altura suministrada por la bomba, la regulación del régimen de giro de la bomba se realiza de forma automática. A medida que se vayan cerrando las válvulas de control, el caudal suministrado por la bomba disminuirá significativamente según las curvas resistentes representadas a modo (parte posterior) de ejemplo en la imagen 5-11.

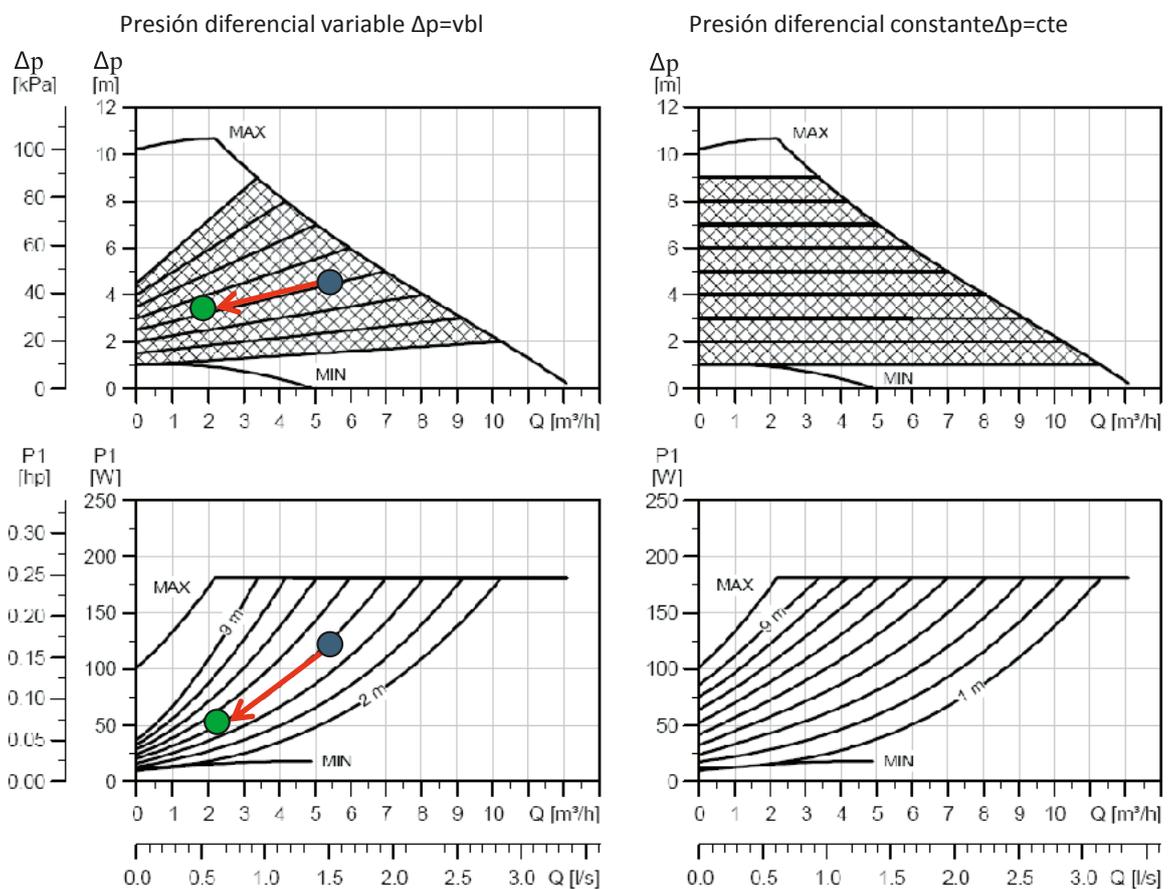


Imagen 5.11. Diferentes controles para las bombas de circulación. Gráficos de la izquierda presión diferencial variable $\Delta p=vbl$. Gráficos de la derecha presión diferencial constante $\Delta p=cte$

b) Factor de corrección para la carga parcial $f_{CLF,dst,FCP}$

El factor de corrección para carga parcial $f_{CLF,dst,fc}$ tiene en cuenta la reducción de la eficiencia de la bomba en función del estado de carga de la misma mediante la carga parcial media de la distribución $\beta_{CLF,dst}$.

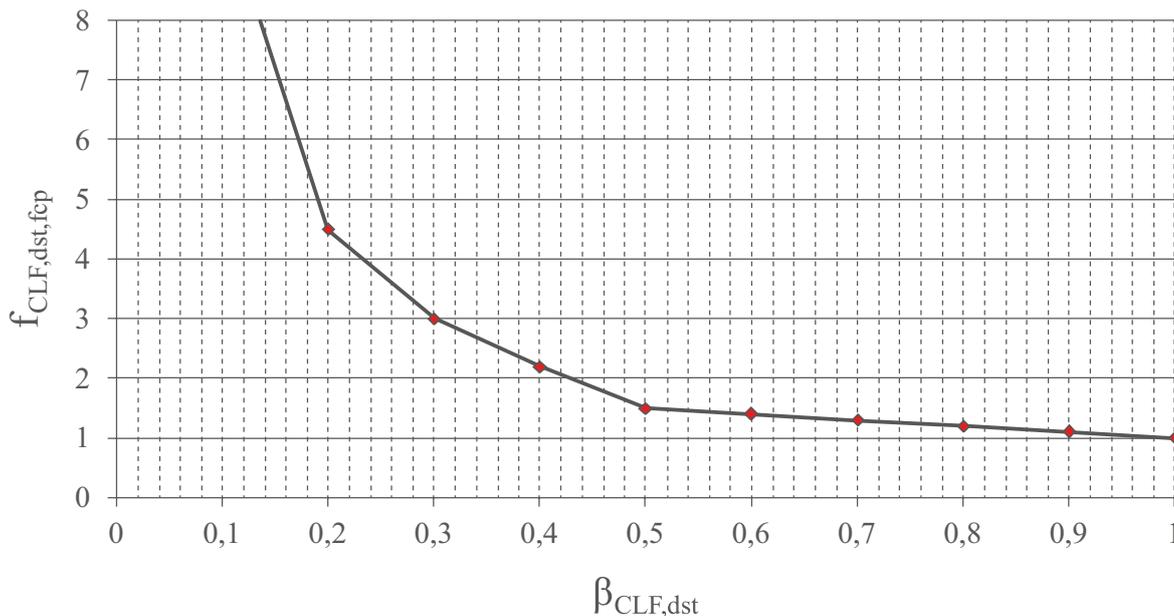


Imagen 5.12. Factor de corrección para carga parcial

c) Factor de corrección para la eficiencia $f_{CLF,dst,\eta}$

El factor de corrección para la eficiencia $f_{CLF,dst,\eta}$ viene dado por la relación entre la potencia de entrada de referencia en el punto de diseño ($P_{CLF,hdr,dst,\eta,bmb}$ dependiente de las características hidráulicas de la bomba, ver imagen 5.9) y la potencia hidráulica en el punto de diseño ($P_{CLF,hdr,dst,\eta}$):

$$f_{CLF,dst,\eta} = \frac{P_{CLF,hdr,dst,\eta,bmb}}{P_{CLF,hdr,dst,\eta}} = \frac{P_{CLF,hdr,dst,\eta} \cdot \left(1,25 + \left(\frac{200}{P_{CLF,hdr,dst,\eta}} \right)^{0,5} \right)}{P_{CLF,hdr,dst,\eta}} = 1,25 + \left(\frac{200}{P_{CLF,hdr,dst,\eta}} \right)^{0,5} \quad 5-31$$

d) Factor de corrección para el punto de diseño $f_{CLF,dst,dst,\eta}$

El factor de corrección para la selección del punto de diseño $f_{CLF,dst,dst,\eta}$ viene dado por la relación entre la potencia real de entrada de la bomba ($P_{CLF,hdr,bmb}$ ver imagen 5.9) y la potencia de entrada de referencia en el punto de diseño ($P_{CLF,hdr,dst,\eta,bmb}$ ver imagen 5.9):

$$f_{CLF,dst,dst,\eta} = \frac{P_{CLF,hdr,bmb}}{P_{CLF,hdr,dst,\eta,bmb}} \approx 1,5 \cdot b \quad 5-32$$

donde

- b Factor adimensional: 1 edificios nuevos y 2 existentes.

De forma simplificada, el factor de energía consumida se calcula de la forma siguiente:

$$e_{CLF,dst} = f_{CLF,dst,contr} \cdot f_{CLF,dst,fc} \cdot f_{CLF,dst,\eta} \cdot f_{CLF,dst,dst} = \left(C_{p1} + C_{p2} \cdot \frac{1}{\beta_{CLF,dst}} \right) \cdot f_{CLF,dst,efc} \tag{5-33}$$

donde

- C_{p1}, C_{p2} Constantes, de acuerdo con la tabla siguiente:

Control de bomba	C_{p1}	C_{p2}
Bomba no controlada	0,25	0,75
Δp_{cte}	0,75	0,25
Δp_{vrb}	0,90	0,10

Tabla 5.25. Constantes C_{p1}, C_{p2} para el cálculo del factor de energía consumida

- $f_{CLF,dst,efc}$ Factor de eficiencia, que viene dado por:

$$f_{CLF,dst,efc} = f_{CLF,dst,\eta} \cdot f_{CLF,dst,dst} = \frac{P_{CLF,hdr,bmb}}{P_{CLF,hdr,dst}} = \left(1,25 + \left(\frac{200}{P_{CLF,hdr,dst}} \right)^{0,5} \right) \cdot 1,5 \cdot b \tag{5-34}$$

donde $b=1$ para edificios nuevos y $b=2$ para edificios ya existentes y $P_{CLF,hdr,dst}$ se expresa en W.

Si se representa la ecuación 5-35 para edificios nuevos y edificios existentes se comprueba que el factor de energía consumida $e_{CLF,dst}$ es mucho menor cuanto más exacto sea el control de la bomba de circulación (mejor el control del caudal por presión diferencial variable) y también es menor para valores menores de la carga parcial media del subsistema de distribución $\beta_{CLF,dst}$.

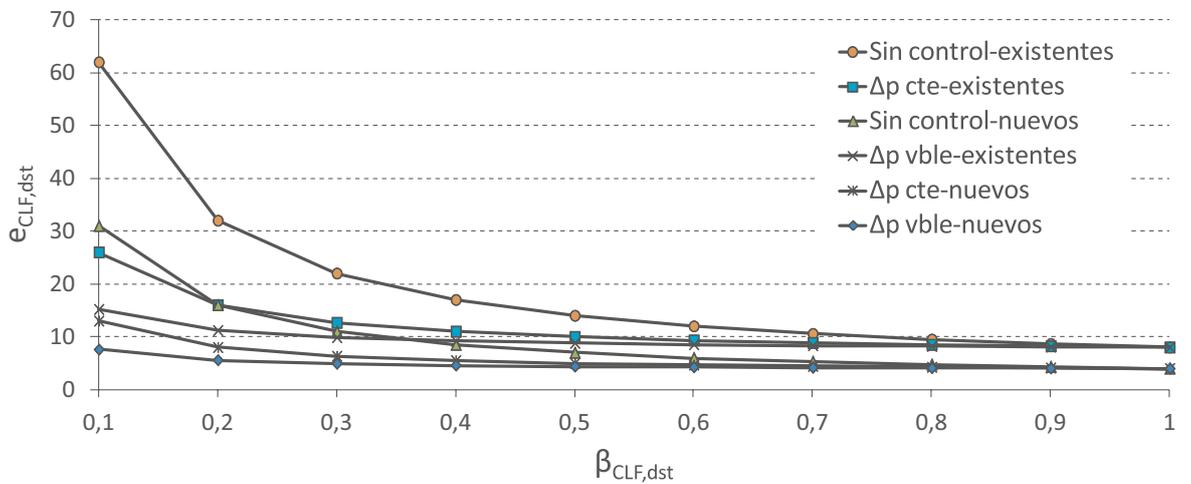


Imagen 5.13. Factor de energía consumida $e_{CLF,dst}$

5.2.1.4. Funcionamiento intermitente de las bombas

Se describe en este apartado el método propuesto por las normas para estimar el consumo de energía eléctrica de las bombas de impulsión del sistema de distribución de calefacción cuando no está trabajando en régimen continuo. Se distinguen tres fases diferentes para el funcionamiento intermitente:

- Periodo de parada $W_{CLF,dst,aux,prd}$
- Periodo de arranque $W_{CLF,dst,aux,arn}$
- Periodo funcionamiento ordinario $W_{CLF,dst,aux,ord}$

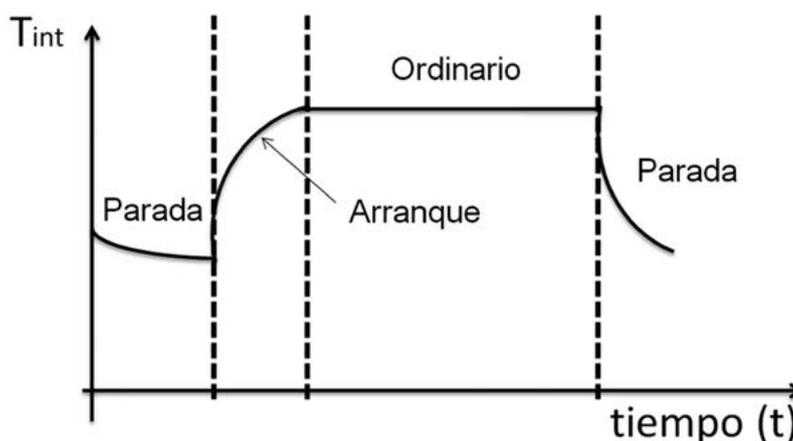


Imagen 5.14. Funcionamiento intermitente

El consumo de energía auxiliar anual para el funcionamiento intermitente ($W_{CLF,dst,aux,intr}$) viene dado por la suma del consumo de energía auxiliar para cada periodo:

$$W_{CLF,dst,aux,intr} = W_{CLF,dst,aux,ord} + W_{CLF,dst,aux,arn} + W_{CLF,dst,aux,prd} \tag{5-35}$$

Para el **periodo ordinario** de funcionamiento, el consumo de energía auxiliar se determina mediante la fórmula 3.24 multiplicada por un factor de tiempo para el tiempo proporcional del funcionamiento en modo ordinario, $k_{CLF,ord}$:

$$W_{CLF,dst,aux,ord} = k_{CLF,ord} \cdot W_{CLF,dst,hdr} \cdot e_{CLF,dst} \tag{5-36}$$

Los factores $k_{CLF,ord}$, $W_{CLF,dst,hdr}$ y $e_{CLF,dst}$ se obtienen de las ecuaciones 5-40, 5-21 y 5-30 respectivamente.

Para lo que se ha denominado **periodo de parada** pueden ocurrir tres situaciones:

- Modo apagado, para el cual la demanda de energía auxiliar de la bomba es cero $W_{CLF,dst,aux,prd} = 0$.
- La bomba no se llega a parar y se mantiene la velocidad mínima de la bomba. Cuando la bomba funciona a mínima velocidad, la potencia se considera constante como un 30% de la máxima y la

demanda de energía auxiliar se determina multiplicando por un factor de tiempo para el tiempo proporcional de funcionamiento de reinicio:

$$W_{CLF,dst,aux,prd} = k_{CLF,prd} \cdot \frac{0,3 \cdot P_{CLF,hdr,bmb,max}}{1.000} \cdot t_{CLF,ON-OFF} \quad 5-37$$

El factor $k_{CLF,prd}$ se obtiene de la ecuación 5-42. El valor de $P_{CLF,hdr,bmb,max}$ es un dato de la bomba.

- La bomba no se llega a parar. En este caso el caudal compensa la baja temperatura de impulsión y la demanda de energía auxiliar no se reduce. Para este tipo de operación de reinicio, la demanda de energía auxiliar se calcula como para el funcionamiento en modo ordinario.

$$W_{CLF,dst,aux,prd} = k_{CLF,prd} \cdot W_{CLF,dst,hdr} \cdot e_{CLF,dst} \quad 5-38$$

En este caso, el factor de corrección para el control a aplicar es $f_{CLF,dst,contr} = 1$ en caso de control de la temperatura del recinto con valor constante (sin cambios entre el modo ordinario y el modo de reinicio). En caso del control de la temperatura del recinto con reinicio, $f_{CLF,dst,contr}$ depende del tipo de control de la bomba (consultar gráfico imagen 5.10).

Para el **periodo de arranque**, la potencia es igual a la potencia en el punto de diseño $P_{CLF,hdr,dsñ,bmb}$ y por tanto la energía auxiliar se determina multiplicando por un factor de tiempo para el tiempo proporcional de funcionamiento en el modo de impulsión, $k_{CLF,arrn}$, calculado según la ecuación 5-41:

$$W_{CLF,dst,aux,arrn} = \frac{k_{CLF,arrn} \cdot P_{CLF,hdr,dsñ,bmb}}{1.000} \cdot t_{CLF,ON-OFF} \quad 5-39$$

Los factores de tiempo pueden calcularse de acuerdo con los coeficientes de los periodos de tiempo. El factor de tiempo en modo ordinario, $k_{CLF,ord}$, expresa el número de horas de funcionamiento en modo ordinario $t_{CLF,ord}$ por el número total de horas por periodo de tiempo $t_{CLF,ON-OFF}$ (el periodo puede ser un día, una semana, un mes o un año):

$$k_{CLF,ord} = \frac{t_{CLF,ord,i} \Big|_{i=día,semana,año}}{t_{CLF,ON-OFF,i} \Big|_{i=día,semana,año}} \quad 5-40$$

El factor de tiempo en modo de arranque, $k_{CLF,arrn}$, expresa el número de horas de funcionamiento en modo de arranque por el número total de horas por periodo de tiempo $t_{CLF,ON-OFF}$. El número de horas del modo del funcionamiento de arranque es típicamente un 3% del tiempo total de calefacción:

$$k_{CLF,arrn} = \frac{t_{CLF,arrn,i} \Big|_{i=día,semana,año}}{t_{CLF,ON-OFF,i} \Big|_{i=día,semana,año}} \approx 0,03 \quad 5-41$$

El factor de tiempo en modo apagado, $k_{CLF,prd}$ expresa el número de horas del modo de funcionamiento por el número total de horas por periodo de tiempo $t_{CLF,ON-OFF}$ y se determina a partir de $k_{CLF,arrn}$ y $k_{CLF,ord}$:

$$k_{CLF,prd} = 1 - k_{CLF,ord} - k_{CLF,arrn} \quad 5-42$$

Si se considera el factor de tiempo en el modo de impulsión $k_{CLF,arn}$ como 3% la norma [5.2] propone una expresión más sencilla para el cálculo de la demanda de energía auxiliar anual:

$$W_{CLF,dst,aux,intr} = W_{CLF,dst,aux} \cdot (k_{CLF,ord} + 0,6 \cdot k_{CLF,apg} + 0,03) \quad 5-43$$

La diferencia entre la unidad y la expresión entre paréntesis representa el índice de ahorro energético mediante el funcionamiento intermitente $f_{CLF,dst,intr}$.

5.2.1.5. Valores tabulados de energía auxiliar

La norma [5.2] propone unos valores de demanda de energía auxiliar tabulados. Los valores tabulados han sido calculados a partir del método descrito tomando las simplificaciones propuestas con algunas hipótesis adicionales:

- Carga parcial media de distribución $\beta_{CLF,dst} = 0,4$.
- Horas de calefacción $t_{CLF,ON-OFF,anl} = 5.000$ h al año.
- Carga térmica de diseño $\Phi_{CLF,ems} = 40$ W/m² (edificios nuevos).
- A_{zon} m² de la zona calentada (1 bomba para un máximo de 1.000 m² por zona).
- $L_{lrg} = 11,4 + 0,0059A_{zon}$ (función del área de la planta).
- $L_{anch} = 2,72 \ln(A_{zon}) + 6,62$ (función del área de la planta).
- Número de plantas en la zona: $n_{pln} = A_{zon} / (L_{lrg} \cdot L_{anch})$.
- Altura de la planta $h_{pln} = 3$ m.

Para un número de horas de calefacción al año diferente al indicado en la tabla, la demanda de energía auxiliar anual $W_{CLF,dst,aux}$ se determina a partir de los valores mediante la multiplicación por un factor $f = t_{CLF,ON-OFF,anl} / 5000$ donde $t_{CLF,ON-OFF,anl}$ es el número de horas de calefacción al año.

Para tener en cuenta la calefacción intermitente, se determina la demanda de energía auxiliar anual $W_{CLF,dst,aux}$ a partir de los valores tabulados en la tabla mediante la multiplicación por un factor $f_{CLF,dst,intr}$ del modo siguiente:

- Modo ordinario de 06:00–22:00 h todos los días y modo de reinicio durante el tiempo restante: $f_{CLF,dst,intr} = 0,87$.
- Si la bomba está apagada durante el modo de reinicio: $f_{CLF,dst,intr} = 0,69$.
- Modo ordinario de 06:00–22:00 h de lunes a viernes y modo de reinicio durante el tiempo restante: $f_{CLF,dst,intr} = 0,87$.
- Si la bomba está apagada durante el modo de reinicio: $f_{CLF,dst,intr} = 0,60$.

Demanda de energía auxiliar anual, $W_{dst,aux,anl}$ (kWh/año) ($t_{CLF,ON-OFF,anl} = 5.000$ h de calefacción)						
Sistema de dos tuberías con radiadores						
A_{zon} (m ²)	Generadores con un contenido de agua mayor de 0,3 l/kW			Generadores con un contenido de agua menor de 0,3 l/kW		
	no controlada	Δp_{cte}	Δp_{vrb}	no controlada	Δp_{cte}	Δp_{vrb}
100	99	64	53	105	68	57
150	126	82	68	151	98	82
200	151	98	82	206	134	112
300	196	127	106	349	226	189
400	238	154	129	544	352	294
500	278	180	150	799	517	432
600	316	205	171	915	592	495
700	354	229	192	1.021	661	553
800	391	253	211	1.125	728	609
900	427	276	231	1.226	794	664
1.000	463	299	250	1.326	858	718
Sistema de dos tuberías suelo radiante						
A_{zon} (m ²)	no controlada	Δp_{cte}	Δp_{vrb}	no controlada	Δp_{cte}	Δp_{vrb}
100	193	125	105	198	128	107
150	246	159	133	263	170	142
200	294	190	159	333	215	180
300	379	245	205	497	322	269
400	458	296	248	709	459	384
500	532	344	288	979	634	530
600	602	390	326	1.122	726	607
700	671	434	363	1.254	812	679
800	738	477	399	1.384	895	749
900	803	520	435	1.510	977	817
1.000	867	561	469	1.635	1.058	885
Sistema de una tubería con radiadores						
A_{zon} (m ²)	no controlada	Δp_{cte}	Δp_{vrb}	no controlada	Δp_{cte}	Δp_{vrb}
100	109	–	–	115	–	–
150	141	–	–	164	–	–
200	170	–	–	222	–	–
300	224	–	–	369	–	–
400	274	–	–	568	–	–
500	323	–	–	827	–	–
600	370	–	–	950	–	–
700	417	–	–	1.063	–	–
800	463	–	–	1.174	–	–
900	509	–	–	1.283	–	–
1.000	554	–	–	1.390	–	–

Tabla 5.26. Demanda de energía auxiliar anual, método de cálculo tabulado

5.2.1.6. Energía auxiliar recuperable del subsistema de distribución

Para bombas en funcionamiento en circuitos de calefacción, parte del consumo de energía auxiliar se convierte en energía térmica. De esta parte, algo se recupera en el sistema de distribución, como calor transferido al agua y otra parte se recupera para la calefacción del local, como calor transferido al aire ambiente.

Energía auxiliar recuperada en el sistema de distribución:

$$Q_{CLF,dst,aux,rcr} = f_{CLF,aux,rcp} \cdot W_{CLF,dst,aux} \quad 5-44$$

Energía recuperable para la calefacción del local:

$$Q_{CLF,dst,aux,rcb} = (1 - f_{CLF,aux,rcp}) \cdot W_{CLF,dst,aux} \quad 5-45$$

donde $f_{CLF,aux,rcp}$ es el factor de energía auxiliar recuperable, 0,90 bomba aislada y 0,75 bomba no aislada (valor que se toma por defecto si no se conoce). Si se considera el modo intermitente se sustituye $W_{CLF,dst,aux}$ por $W_{CLF,dst,aux,intr}$.

5.2.2. Cálculo de la pérdida térmica

La pérdida térmica del sistema de distribución depende de la temperatura media de impulsión y retorno en el periodo considerado y de la temperatura en los alrededores. Evidentemente el tipo de aislamiento tiene una importante influencia en la pérdida térmica del sistema.

Las pérdidas térmicas de todas las tuberías j en un periodo de tiempo vienen dadas por:

$$Q_{CLF,dst,prd} = \sum_j \Psi_j \cdot (T_{CLF,dst,med}(\beta_{CLF,dst}) - T_{alr,j}) \cdot L_{CLF,j} \cdot t_{CLF,ON-OFF} \quad 5-46$$

donde

- Ψ Transmitancia térmica lineal de las tuberías en W/mK.
- $T_{CLF,dst,med}(\beta_{CLF,dst})$ Media de la temperatura del agua de la tubería del sistema de distribución °C.
- $T_{alr,j}$ Temperatura de los alrededores en °C.
- $L_{CLF,j}$ Longitud de la tubería en m.
- j Índice para tuberías con las mismas condiciones límite.

Para partes del sistema de distribución con la misma transmitancia térmica lineal, la misma temperatura media y la misma temperatura de los alrededores, las pérdidas térmicas vienen dadas por un término más corto:

$$k_{CLF,prd} = 1 - k_{CLF,ord} - k_{CLF,arm} \quad 5-47$$

donde $q_{CLF,dst,prd,j}$ es la pérdida térmica por longitud de la tubería dependiendo de Ψ , $T_{CLF,dst,med}(\beta_{CLF,dst})$ y T_{air} .

$$q_{CLF,dst,prd,j} = \psi_j \cdot (T_{CLF,dst,med}(\beta_{CLF,dst}) - T_{air,j}) \quad 5-48$$

Lo habitual es que las tuberías del subsistema de distribución discurren por solo dos tipos de locales, calefactados (zonas interiores) o zonas no calefactadas (cuartos técnicos, guardillas, trasteros,...).

En este caso la pérdida térmica por longitud de la tubería de locales calefactados se puede expresar como:

$$q_{CLF,dst,prd,clf,j} = \psi_{clf,j} \cdot (T_{CLF,dst,med}(\beta_{CLF,dst}) - T_{int,j}) \quad 5-49$$

De esta forma las pérdidas térmicas en locales no calentados se dan como una función de las pérdidas térmicas en los locales calentados (de tal modo que las pérdidas térmicas de las tuberías tienen que calcularse solo una vez para partes con las mismas condiciones límite) y de un factor, que contiene la relación entre $\Delta T_{clf-no\ clf}$ y $\Psi_{no\ clf}$:

$$q_{CLF,dst,prd,no\ clf} = q_{CLF,dst,prd,clf} \cdot \left(\frac{\Psi_{no\ clf}}{\Psi_{clf}} + \Psi_{no\ clf} \cdot \frac{\Delta T_{clf-no\ clf}}{q_{CLF,dst,prd,clf}} \right) = q_{CLF,dst,prd,clf} \cdot f_{no\ clf} \quad 5-50$$

Para poder utilizar las ecuaciones 5-49 y 5-50 por tanto se debe de conocer y cumplir:

- Temperatura de impulsión constante $T_{CLF,dst,med}(\beta_{CLF,dst})$ independiente de la carga parcial media de distribución.
- Conocer la diferencia de temperatura dada entre un local calentado y no calentado $\Delta T_{clf-no\ clf}$.
- Conocer la transmitancia térmica lineal Ψ_{clf} y $\Psi_{no\ clf}$ por longitud de las tuberías en los locales calefactados y no calefactados.

Para el cálculo de la longitud de las tuberías la norma propone aproximaciones basadas en la longitud (L_{lrg}) y anchura (L_{anch}) del edificio o zona, la altura de la planta (h_{pln}) y el número de plantas (n_{pln}) tipificando tres tipos de tubería:

- $L_{CLF,gnr}$ Longitud de la tubería entre el generador y los ejes verticales. Estas tuberías (horizontales) pueden estar en locales no calentados (sótanos, áticos) o en locales calentados.
- $L_{CLF,edf}$ Longitud de la tubería en los ejes (por ejemplo: vertical). Estas tuberías están bien en locales calentados, en paredes exteriores o en el interior del edificio.
- $L_{CLF,cnx}$ Longitud de las tuberías de conexión. Estas tuberías discurren desde la general (si existe $L_{CLF,edf}$) y los elementos de emisión. Siempre por el interior de los locales.

En función del sistema de distribución elegido, monotubo o bitubo, y ubicación de los tramos de distribución general ($L_{CLF,edf}$) la norma propone las hipótesis que se recogen en las tablas 5-27 y 5-28:

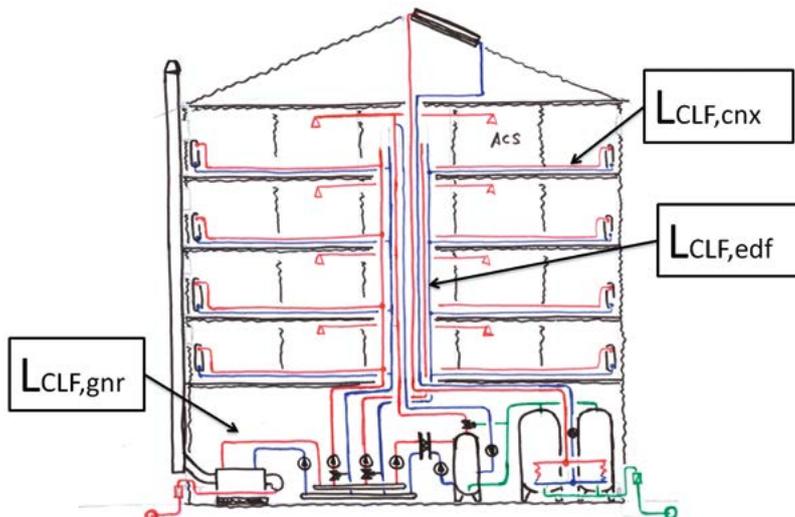


Imagen 5.15. Aproximaciones de las longitudes de las tuberías

Valores		Unidad	$L_{CLF,gnr}$	$L_{CLF,edf}$	$L_{CLF,cnx}$
Temperatura media de los alrededores	$T_{alr,j}$	°C	13 ó 20 (*)	20	20
Ejes en paredes exteriores	$L_{CLF,j}$	m	$2L_{lrg} + 0,01625L_{lrg}L_{anch}^2$	$0,025L_{lrg}L_{anch}h_{pln}n_{pln}$	$0,55L_{lrg}L_{anch}n_{pln}$
Ejes dentro del edificio	$L_{CLF,j}$	m	$2L_{lrg} + 0,0325L_{lrg}L_{anch} + 6$		

* Depende de si la caldera está en el exterior (13 °C) o interior (20 °C).

Tabla 5.27. Aproximación de las longitudes de las tuberías (sistemas de calefacción bitubo)

Valores		Unidad	$L_{CLF,gnr}$	$L_{CLF,edf}$	$L_{CLF,cnx}$
Ejes dentro del edificio	$L_{CLF,j}$	m	$2L_{lrg} + 0,0325L_{lrg}L_{anch} + 6$	$0,025L_{lrg}L_{anch}h_{pln}n_{pln} + 2(L_{lrg} + L_{anch})h_{pln}$	$0,1L_{lrg}L_{anch}n_{pln}$

Tabla 5.28. Aproximación de la longitud de la tubería (sistemas de calefacción monotubo)

La pérdida térmica del subsistema de distribución no viene dada únicamente por las pérdidas térmicas de las tuberías también son importantes las pérdidas térmicas de los accesorios: soportes y válvulas.

Para tener en cuenta las pérdidas térmicas de los soportes, puede utilizarse como una aproximación una longitud de tubería adicional del 15%. Si se utilizan soportes para tubería aislados especialmen-

te, con resistencia térmica igual a la del aislamiento de la tubería, las pérdidas térmicas adicionales debidas a los soportes no deberían tenerse en cuenta.

Para tener en cuenta las pérdidas térmicas de las válvulas se obtiene la longitud equivalente, incluyendo las bridas, de la siguiente tabla:

Válvulas incluyendo las bridas	Longitud equivalente en m (diámetro $d \leq 100$ mm)	Longitud equivalente en m (diámetro $d > 100$ mm)
No aisladas	4,0	6,0
Aisladas	1,5	2,5

Tabla 5.29. Longitud equivalente (m) de las válvulas (es de todas las válvulas no por válvula)

Para estimar el cálculo de transmitancia térmica lineal de las tuberías es necesario conocer su diámetro (interior y exterior), si están empotradas o al aire, la conductividad de su aislamiento y material y los coeficientes de convección y radiación considerados.

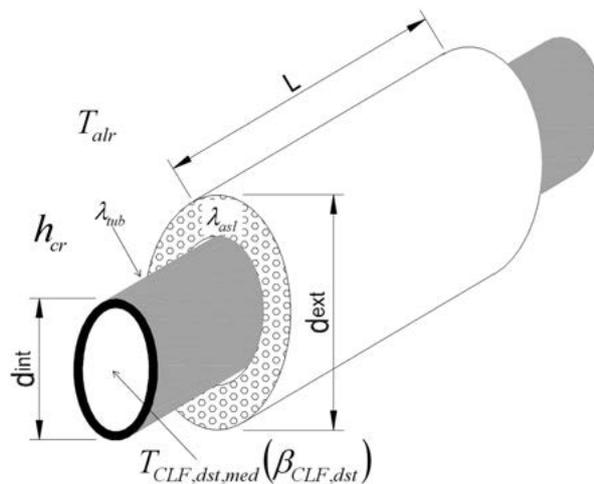


Imagen 5.16. Parámetros para el cálculo de la transmitancia térmica lineal para tuberías

El cálculo de la transmitancia térmica lineal para tuberías aisladas en aire $\Psi_{CLF,asl}$ con coeficiente de transferencia de calor total incluyendo la convección y la radiación (h_{cr}) en el exterior viene dado por:

$$\Psi_{CLF,asl} = \frac{\pi}{\left(\frac{1}{2 \cdot \lambda_{asl}} \cdot \ln \frac{d_{in}}{d_{ext}} + \frac{1}{h_{cr} \cdot d_{in}} \right)} \tag{5-51}$$

donde

- d_{in}, d_{ext} Diámetro interior (sin aislamiento), exterior (con aislamiento) (m).

- h_{cr} Coeficiente de transferencia de calor de la superficie total exterior (convección y radiación) (W/m²K). Si no se conoce el dato puede tomarse 8 para tuberías aisladas y 14 para no aisladas.
- λ_{asl} Conductividad térmica del aislamiento (material) (W/mK).

El RITE [5.9] define el nivel de aislamiento del tubo que puede utilizarse y de esta forma determinar los coeficientes de transferencia de calor.

Para tuberías empotradas la transmitancia térmica lineal $\Psi_{CLF,emp}$ viene dada por:

$$\Psi_{CLF,emp} = \frac{\pi}{2 \left(\frac{1}{\lambda_{asl}} \cdot \ln \frac{d_{in}}{d_{ext}} + \frac{1}{\lambda_{emp}} \cdot \ln \frac{4 \cdot Z}{d_{in}} \right)} \tag{5-52}$$

donde

- Z Profundidad de la tubería desde la superficie.
- λ_{emp} Conductividad térmica del material empotrado (W/mK).

Para tuberías no aisladas y despreciando el coeficiente de convección interior, la transmitancia térmica $\Psi_{CLF,no\ asl}$ viene dada por:

$$\Psi_{CLF,no\ asl} = \frac{\pi}{\left(\frac{1}{2 \cdot \lambda_{tub}} \cdot \ln \frac{d_{in}}{d_{ext}} + \frac{1}{h_{cr} \cdot d_{in}} \right)} \approx h_{cr} \cdot \pi \cdot d_{in} \tag{5-53}$$

donde

- λ_{tub} Conductividad térmica de la tubería (material) (W/mK).

Estos valores transmitancia térmica lineal si no son conocidos pueden tomarse de la tabla 5.30:

Ψ (W/mK)	Partes de distribución		
	$L_{CLF,gnr}$	$L_{CLF,edf}$	$L_{CLF,cnx}$
Edad o clase de edificio			
Desde 1995 se asume que el espesor del aislamiento es aproximadamente igual al diámetro externo de la tubería	0,2	0,3	0,3
De 1980 a 1995 se asume que el espesor del aislamiento es aproximadamente igual a la mitad diámetro externo de la tubería	0,3	0,4	0,4

Tabla 5.30. Valores por defecto de la transmitancia térmica lineal para edificios nuevos y ya existentes

5.2.2.1. Valores tabulados de pérdidas térmicas en el subsistema de distribución

La norma 15316-2-3 propone para la demanda de energía auxiliar anual valores tabulados. Los valores tabulados han sido calculados a partir del método descrito tomando las simplificaciones propuestas con algunas hipótesis adicionales:

- Carga parcial media de distribución $\beta_{CLF,dst} = 0,4$.
- Horas de calefacción $t_{CLF,ON-OFF,año} = 5.000$ h al año.
- Carga térmica de diseño $\Phi_{CLF,ems'sld} = 40$ W/m² (edificios nuevos).
- A_{zon} m² de la zona calentada (1 bomba para un máximo de 1.000 m² por zona).
- $L_{lrg} = 11,4 + 0,0059A_{zon}$ (función del área de la planta).
- $L_{anch} = 2,72 \cdot \ln(A_{zoa}) + 6,62$ (función del área de la planta).
- Número de plantas en la zona: $n_{pln} = A_{zon} / (L_{lrg} \cdot L_{anch})$.
- Altura de la planta $h_{pln} = 3$ m.
- Valor Ψ para tuberías de parte del generador ($L_{CLF,gnr}$) del sistema de distribución, en locales no calentados $\Psi_{no\ cf} = 0,2$ W/mK.
- Valor Ψ para ejes y tuberías de conexión ($L_{CLF,cnx}$) del sistema de distribución, en locales calentados $\Psi_{cf} = 0,255$ W/mK.
- Ejes dentro de la zona.

Área calentada A_{zon} (m ²)	Pérdida térmica anual del sistema en kWh/año ($t_{CLF,ON-OFF,año} = 5.000$ h de calefacción)							
	Temperatura de diseño (impulsión/retorno)							
	90 / 70 °C		70 / 55 °C		55 / 45 °C		35 / 28 °C	
	LOCAL CALENTADO							
	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ
100	1.133	2.375	865	1 681	674	1.187	388	446
150	1.265	3.562	966	2 522	753	1.781	433	669
200	1.383	4.749	1.056	3 363	823	2.375	473	893
300	1.592	7.124	1.216	5 044	948	3.562	545	1.339
400	1.783	9.499	1.362	6 726	1.061	4.749	611	1.785
500	1.964	11. 873	1.499	8 407	1.169	5.937	672	2.231
600	2.138	14.248	1.632	10.088	1.272	7.124	732	2.678
700	2.308	16.623	1.762	11.770	1.373	8.311	790	3.124
800	2.475	18.998	1.890	13.451	1.473	9.499	847	3.570
900	2.641	21.372	2.016	15.133	1.572	10.686	904	4.016
1.000	2.805	23.747	2.142	16.814	1.669	11.873	961	4.463

Tabla 5.31. Pérdida térmica anual del sistema en kWh/año a la temperatura de diseño

Para un número de horas de calefacción al año diferente al indicado en la tabla, la demanda de energía auxiliar anual $Q_{CLF,dst,prd}$ se determina a partir de los valores mediante la multiplicación por un factor $f = t_{CLF,ON-OFF,año} / 5000$ donde $t_{CLF,ON-OFF,año}$ es el número de horas de calefacción al año.

5.2.2.2. Pérdidas térmicas recuperables y no recuperables del subsistema de distribución

En recintos calentados, las pérdidas térmicas de las tuberías pueden recuperarse para el calentamiento del local y son entonces recuperables. En recintos no calentados, las pérdidas térmicas de las tuberías no son recuperables.

Dada la suma de la longitud de la tubería $L_{CLF,clf,j}$ en locales calentados, la pérdida térmica recuperable para la calefacción del local en un periodo de tiempo se calcula por:

$$Q_{CLF,dst,prd,rcb} = \sum_j q_{CLF,dst,prd,clf,j} \cdot L_{CLF,clf,j} \cdot t_{CLF,ON-OFF} \tag{5-54}$$

Dada la suma de la longitud de la tubería $L_{CLF,no\,clf}$ en locales no calentados o sin control, la pérdida térmica del sistema no recuperable de un periodo de tiempo se calcula por:

$$Q_{CLF,dst,prd,no\,rcb} = \sum_j q_{CLF,dst,prd,no\,clf,j} \cdot L_{CLF,no\,clf,j} \cdot t_{CLF,ON-OFF,j} \tag{5-55}$$

La pérdida térmica total del sistema viene dada por (valor que debe de coincidir evidentemente con la ecuación 5-48):

$$Q_{CLF,dst,prd} = Q_{CLF,dst,prd,rcb} + Q_{CLF,dst,prd,no\,rcb} \tag{5-56}$$

5.2.3. Cálculo de la temperatura de impulsión, retorno y media

Se pueden presentar tres casos para el cálculo de la temperatura media de impulsión y retorno de los emisores de calor y media del subsistema de distribución dependiendo de la carga parcial media de distribución:

1. Control continuo dependiendo de la temperatura exterior (caudal constante, temperatura de impulsión variable).
2. Control continuo con válvulas termostáticas (caudal variable, temperatura de impulsión fija).
3. Funcionamiento encendido-apagado (control termostático del recinto).

La temperatura media del emisor se calcula de acuerdo con la producción de calor y el tipo del emisor. El caudal y temperatura de retorno se calculan teniendo en cuenta la estrategia de control.

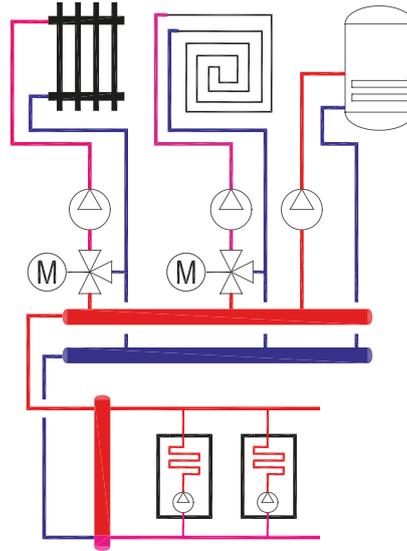


Imagen 5.17. Subsistemas de emisión y distribución

Para subsistemas de emisión con **caudal constante y temperatura de impulsión variable** dependiente de la temperatura exterior, la temperatura de impulsión $T_{ems,imp,med}$ y la temperatura de retorno $T_{ems,rtr,med}$, así como la temperatura media del sistema de emisión $T_{ems,med}$, se expresan como funciones de la carga parcial media de distribución en cada subsistema de distribución (zona).

$$T_{ems,med}(\beta_{CLF,dst}) = \Delta T \ln_{CLF,ems,dst} \cdot \beta_{CLF,dst}^{1/n} + T_{loc} \quad 5-57$$

$$T_{ems,imp,med}(\beta_{CLF,dst}) = (T_{ems,imp,dst} - T_{int}) \cdot \beta_{CLF,dst}^{1/n} + T_{loc} \quad 5-58$$

$$T_{ems,rtr,med}(\beta_{CLF,dst}) = (T_{ems,rtr,dst} - T_{int}) \cdot \beta_{CLF,dst}^{1/n} + T_{loc} \quad 5-59$$

donde

- $\Delta T \ln_{CLF,ems,dst}$ Diferencia de temperatura en °C entre la temperatura media de diseño del sistema de emisión y la temperatura del recinto

$$\Delta T \ln_{CLF,ems,dst} = \frac{T_{ems,imp,dst} + T_{ems,rtr,dst}}{2} - T_{loc} \quad 5-60$$

- n °Exponente del sistema de emisión (1,33 radiadores y 1,1 suelo radiante).
- $T_{CLF,imp,dst}$ Temperatura de impulsión de diseño en °C.
- $T_{CLF,rtr,dst}$ Temperatura de retorno de diseño en °C.
- T_{loc} Temperatura del local en °C.

Los sistemas de emisión pueden también estar conectados a través de válvulas de tres vías (mezcladora) típico para sistemas centrales (el caudal antes de la válvula mezcladora es menor que en el emisor).

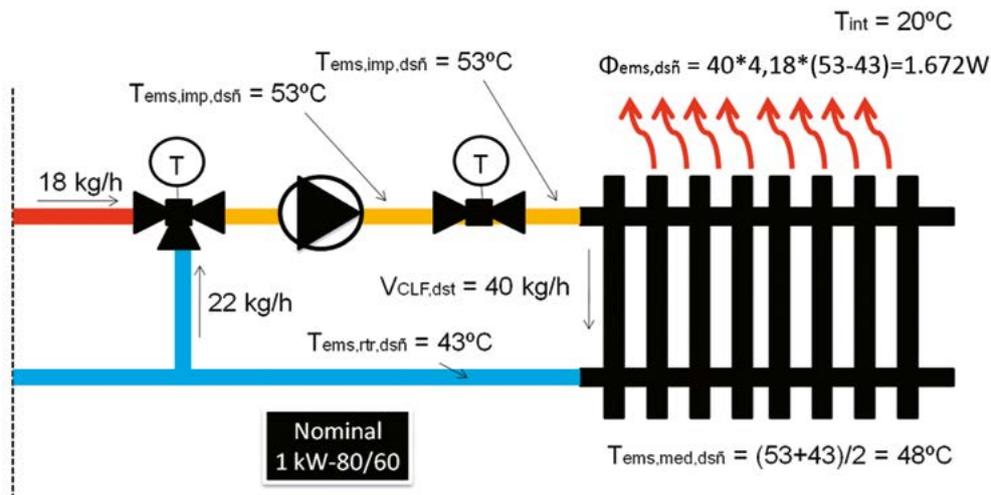


Imagen 5.18. Caudal constante y temperatura de impulsión variable. Condiciones de diseño (válvula mezcladora). $T_{loc} = 20^{\circ}\text{C}$.

En estos casos las temperaturas medias del subsistema de distribución coinciden con las temperaturas medias del subsistema de emisión.

$$T_{CLF,dst,med}(\beta_{CLF,dst}) = T_{ems,med}(\beta_{CLF,dst}) \tag{5-61}$$

$$T_{CLF,dst,imp,med}(\beta_{CLF,dst}) = T_{ems,imp,med}(\beta_{CLF,dst}) \tag{5-62}$$

$$T_{CLF,dst,rtr,med}(\beta_{CLF,dst}) = T_{ems,rtr,med}(\beta_{CLF,dst}) \tag{5-63}$$

La válvula mezcladora también puede estar conectada en los emisores y no en el circuito de distribución.

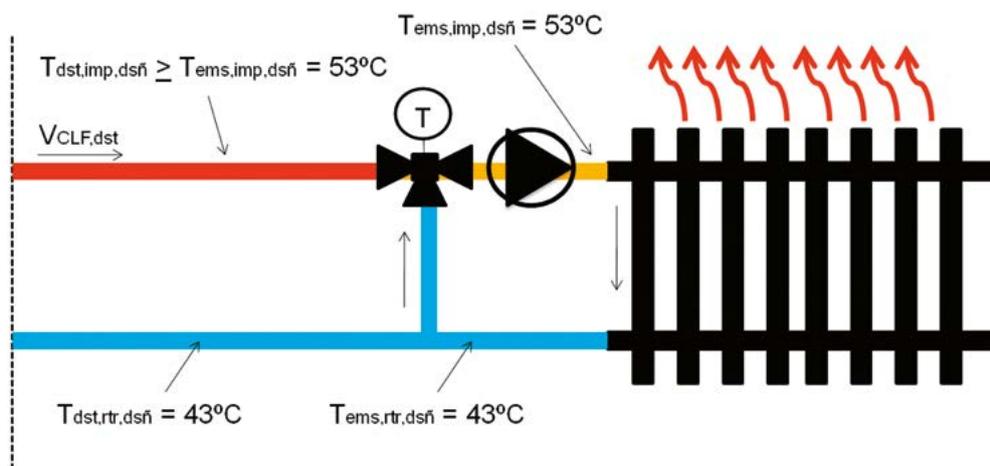


Imagen 5.19. Caudal constante y temperatura de impulsión variable. Válvula mezcladora conectada en el subsistema de emisión. $T_{loc} = 20^{\circ}\text{C}$

En este caso la temperatura de retorno del circuito de distribución $T_{CLF,dst,rtr,med}$ sigue siendo la misma que la temperatura de retorno del emisor de calor $T_{ems,rtr,med}$ (ecuación 5-63), pero en cambio puede suceder (por las conexiones del emisor [5.2]) que la temperatura de impulsión del circuito de distribución $T_{CLF,dst,imp,med}$ (la misma que la de las tuberías principales) sea superior o igual a la temperatura de impulsión de los emisores de calor $T_{imp,ems,med}$.

$$T_{CLF,dst,imp,med}(\beta_{CLF,dst}) \geq T_{ems,imp,med}(\beta_{CLF,dst}) \quad 5-64$$

El caudal del circuito de distribución $V_{CLF,dst}$ (impulsado desde las tuberías principales) viene dado por ($\Phi_{CLF,dst,ent}$ expresado en kW):

$$V_{CLF,dst} = \frac{\Phi_{CLF,dst,ent} \cdot \frac{3600s}{1h}}{(T_{CLF,dst,imp,med} - T_{CLF,dst,rtr,med}) \cdot 1.000 \frac{kg}{m^3} \cdot 4,186 \frac{kJ}{kgK}} = \frac{\Phi_{CLF,dst,ent} \cdot 0,86}{(T_{CLF,dst,imp,med} - T_{CLF,dst,rtr,med})} \quad 5-65$$

donde $V_{CLF,dst}$ es el caudal másico y por tanto está expresado en m^3/h .

Para subsistemas de emisión con **temperatura fija y caudal variable (válvulas termostáticas, dos vías)** la temperatura de impulsión $T_{ems,imp,med}$ y la temperatura de retorno $T_{ems,rtr,med}$ así como la temperatura media del sistema de emisión $T_{ems,med}$ se expresan como funciones de la carga parcial media de distribución en cada subsistema de distribución (zona).

$$T_{ems,med}(\beta_{CLF,dst}) = \Delta T \ln_{CLF,ems,dst} \cdot \beta_{CLF,dst}^{\frac{1}{n}} + T_{loc} \quad 5-66$$

$$T_{ems,rtr,med}(\beta_{CLF,dst}) = \max \left[2 \cdot T_{ems,med}(\beta_{CLF,dst}) - T_{ems,imp,med}(\beta_{CLF,dst}); T_{loc} \right] \quad 5-67$$

$$T_{ems,imp,med}(\beta_{CLF,dst}) = T_{ems,imp,dst}(\text{fijada}) \quad 5-68$$

Cuando el subsistema de emisión no está conectado a ninguna válvula de tres vías (mezcladora o desviadora) las temperaturas medias del subsistema de distribución coinciden con las temperaturas medias del subsistema de emisión.

$$T_{CLF,dst,med}(\beta_{CLF,dst}) = T_{ems,med}(\beta_{CLF,dst}) \quad 5-69$$

$$T_{CLF,dst,imp,med}(\beta_{CLF,dst}) = T_{ems,imp,med}(\beta_{CLF,dst}) \quad 5-70$$

$$T_{CLF,dst,rtr,med}(\beta_{CLF,dst}) = T_{ems,rtr,med}(\beta_{CLF,dst}) \quad 5-71$$

Pero los subsistemas de emisión pueden estar conectados a través de bypass como por ejemplo la conexión de intercambiadores de calor en climatizadoras. Las pérdidas en la distribución de red aumentan cuando el poder emisor se reduce. El caudal en la red es mayor que lo requerido por los emisores causando mayores consumos de energía auxiliar.

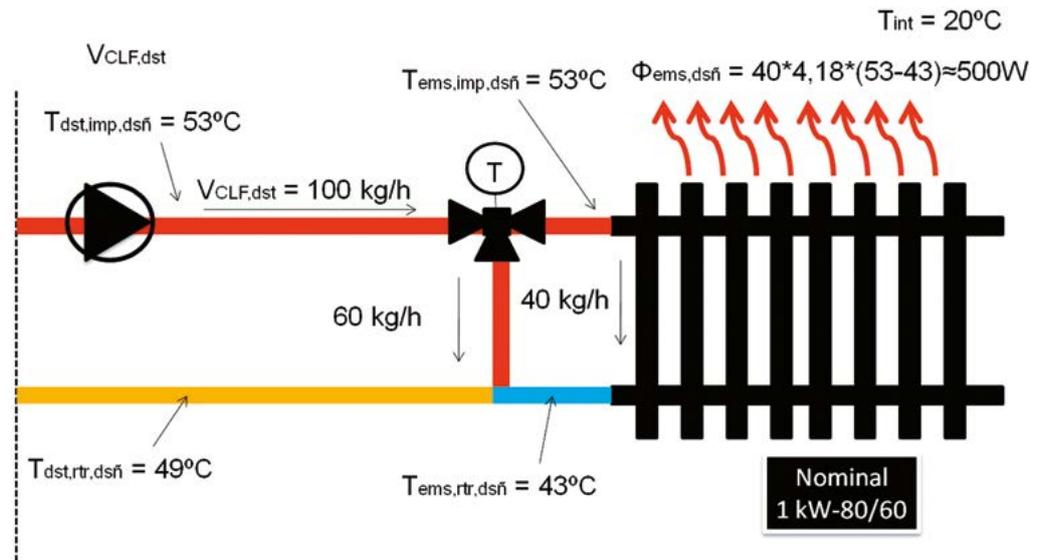


Imagen 5.20. Caudal variable y temperatura de impulsión fija (válvula desviadora). $T_{loc} = 20^\circ\text{C}$.

En este caso la temperatura de retorno del circuito de distribución $T_{CLF,dst,rtr,med}$ es generalmente superior que la del emisor de calor y viene dada por:

$$T_{CLF,dst,rtr,med}(\beta_{CLF,dst}) = T_{CLF,dst,imp,med}(\beta_{CLF,dst}) - \frac{\Phi_{CLF,dst,ent} \cdot 0,86}{V_{CLF,dst}} \geq T_{ems,rtr,med}(\beta_{CLF,dst}) \quad 5-72$$

donde $V_{CLF,dst}$ es el caudal del circuito de distribución o el valor de diseño o el valor de consigna en m^3/h .

La temperatura de impulsión del circuito de distribución es la misma que la del emisor de calor (ecuación 5-70).

En el caso de **control de encendido-apagado** con termostato en el recinto, las condiciones de funcionamiento son las mismas que las condiciones de diseño¹⁸, lo que significa

$$T_{CLF,dst,med}(\beta_{CLF,dst}) = T_{ems,med}(\beta_{CLF,dst}) = T_{ems,med,dsñ} = \frac{T_{ems,imp,dsñ} + T_{ems,rtr,dsñ}}{2} \quad 5-73$$

$$T_{CLF,dst,imp,med}(\beta_{CLF,dst}) = T_{ems,imp,med}(\beta_{CLF,dst}) = T_{ems,imp,dsñ} \quad 5-74$$

$$T_{CLF,dst,rtr,med}(\beta_{CLF,dst}) = T_{ems,rtr,med}(\beta_{CLF,dst}) = T_{ems,rtr,dsñ} \quad 5-75$$

¹⁸ Las condiciones de diseño pueden variar de acuerdo con el intervalo de cálculo.

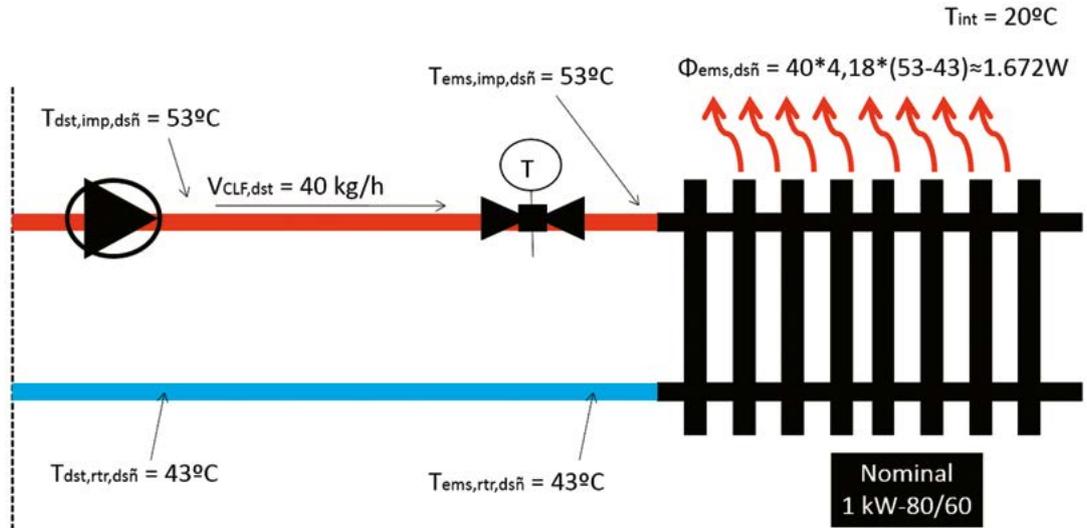


Imagen 5.21. Control termostático. $T_{loc} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

En este caso la conexión es directa. Los emisores de calor están unidos hidráulicamente a los colectores de la sala de calderas. La distribución de temperatura en la red, por tanto, es la misma que en los emisores. El caudal en la red de distribución es el mismo que en los emisores. Situación típica para válvulas termostáticas.

Si hay varios circuitos de distribución conectados en paralelo, el caudal resultante y la temperatura de retorno se calculan como sigue:

- La temperatura de impulsión es la misma para todos los circuitos de distribución.
- El caudal total es la suma de los caudales de los circuitos de distribución.
- La temperatura de retorno resultante T_{rtr} viene dada por:

$$T_{rtr,dst} = T_{imp,dst} - \frac{\Phi_{ems} \cdot 0,86}{V_{dst}} \tag{5-76}$$

Donde Φ_{ems} es la potencia térmica de los emisores.

Para sistemas de calefacción, cuando la temperatura del sistema desacoplado o de los recipientes de acumulación no depende de la temperatura de impulsión del sistema de emisión, las pérdidas térmicas de las tuberías entre el generador de calor y el recipiente de acumulación tienen que calcularse con los valores de diseño. El valor de diseño puede ser un valor variable.

5.3. Subsistemas de generación. Calderas

Dentro de la norma UNE EN 15316-4 se abordan todos los sistemas de generación térmica que puedan instalarse en un edificio. Atendiendo al contexto de esta guía se abordan solo la generación de calor por combustión (calderas) [5.10 y 5.11] y el aprovechamiento de la energía térmica por paneles solares fototérmicos [5.12].

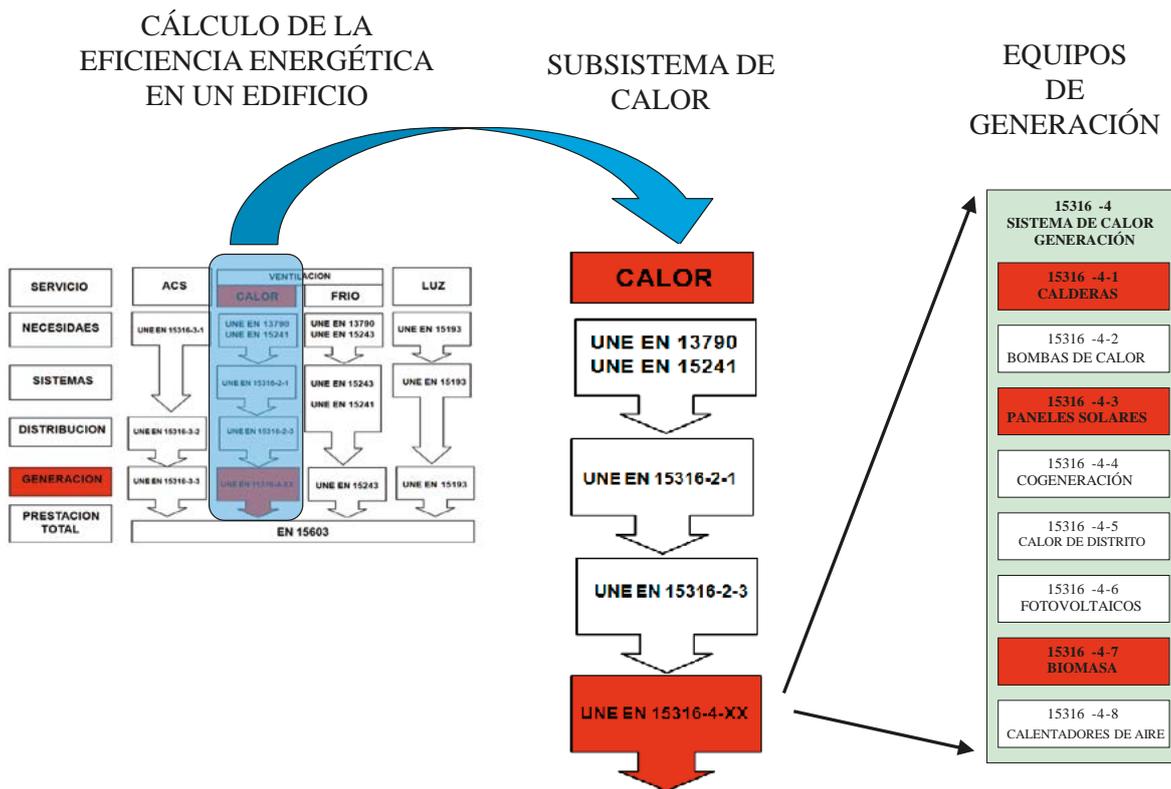


Imagen 5.22. Situación de la generación por calderas y paneles solares dentro de las normas CEN.

Se exponen a continuación los límites dentro del sistema de calefacción del subsistema de generación.

Los límites entre el subsistema de generación y de distribución quedan definidos de acuerdo con las siguientes tres imágenes. Si el subsistema de generación incluye solo el generador (es decir, no hay bomba dentro del generador), el límite con el subsistema de distribución se representa mediante la conexión hidráulica de la caldera (solo se incluye el generador imagen 5.23):

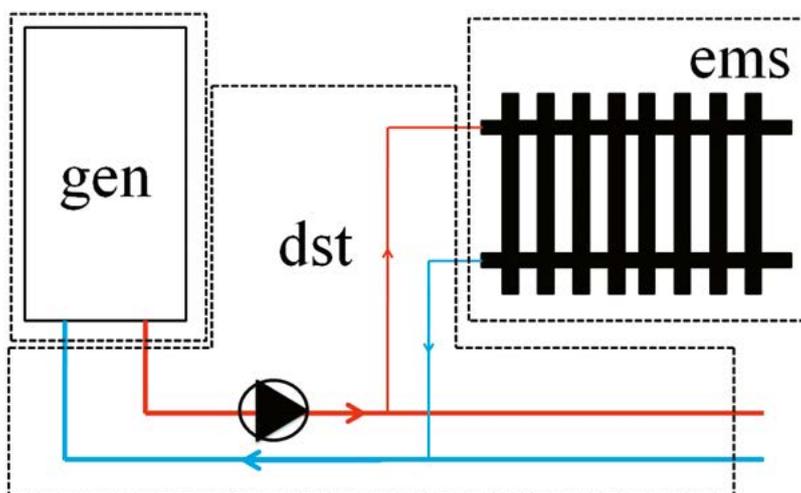


Imagen 5.23. Subsistema de generación incluye solo el generador

Si existe una bomba físicamente dentro de la caldera se considera parte del subsistema de distribución si contribuye al caudal del medio de calefacción hacia los emisores (imagen 5.24).

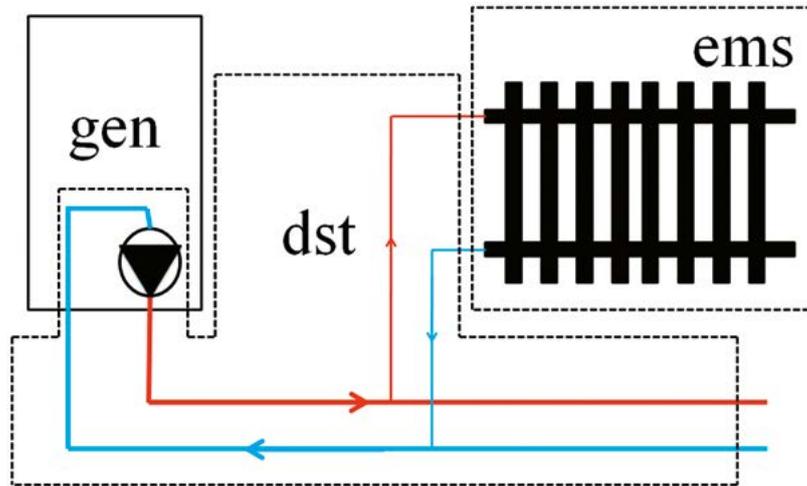


Imagen 5.24. Bomba físicamente dentro de la caldera

Solo las bombas dedicadas a los requisitos del generador pueden considerarse dentro del subsistema de generación, bombas de circulación nominal o circulación mínima [5.13] (sistemas primarios).

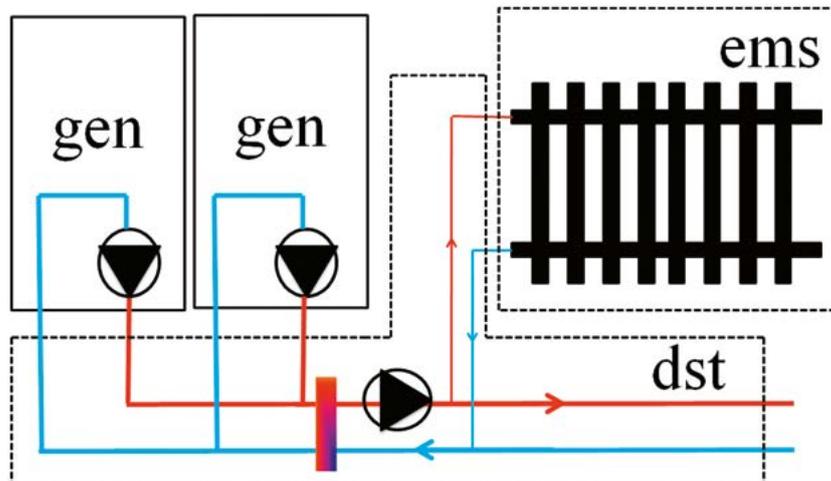


Imagen 5.25. Bombas dedicadas a los requisitos del generador

La norma UNE EN 15316 4-1 [5.10] plantea tres métodos de cálculo que difieren con respecto a:

- Los datos de entrada requeridos.
- Las condiciones de operación tenidas en cuenta.
- Las etapas de cálculo aplicadas.

El método de cálculo a aplicar se elige en función de los datos disponibles y de los objetivos de cálculo.

El primer y segundo método se basan en los datos relativos a la Directiva del Consejo 92/42/CEE sobre Eficiencia de Calderas¹⁹ [5.14].

Para el segundo método además se necesitan datos adicionales para tener en cuenta las condiciones de operación específicas de la instalación. Considera que la etapa de cálculo puede ser la estación de calefacción o también puede ser un periodo más corto.

El tercer método distingue de forma más explícita las pérdidas de un generador que se producen durante el ciclo de la caldera (disposición: arranques, paradas y funcionamiento). Este método se adapta bien a los edificios existentes (pueden medirse *in situ* algunos de los parámetros) y tiene en cuenta la recuperación del calor de condensación de acuerdo con las condiciones de operación.

5.3.1. Cálculo de las pérdidas térmicas basado en la tipología del generador

En este método la etapa de cálculo considerada es la estación de calefacción. El cálculo de la eficiencia (rendimiento) se basa en los datos relativos a la Directiva 92/42/CEE [5.14].

En este método se asumen una serie de condiciones como son:

- Las condiciones climáticas (zona climática).
- Los modos de operación.
- Los patrones de ocupación típicos del sector del edificio correspondiente (en los países que está desarrollado sólo para edificios de viviendas).

El método convierte los resultados de ensayo normalizados de la eficiencia de la caldera (Directiva 92/42/CEE) en una eficiencia (rendimiento) estacional mediante varias etapas:

- a) Adaptar los resultados de ensayo para uniformizarlos, teniendo en cuenta el tipo de caldera, combustible y condiciones específicas para ensayo impuestos por la Directiva 92/42/CEE y por las normas correspondientes.
- b) Ajustar al comportamiento anual en las condiciones de instalación, teniendo en cuenta la zona climática, los modos de operación y los patrones típicos de ocupación del sector del edificio correspondiente.
- c) Realizar los cálculos y determinar el requisito energético del combustible, la pérdida térmica total de generación (como un valor absoluto), la pérdida térmica recuperable de generación, la energía auxiliar, la energía auxiliar recuperable.

Para aclarar este procedimiento se expone la metodología para determinar la eficiencia estacional de calderas de combustible gaseoso y líquido instaladas en el sector de la vivienda del Reino Unido [5.15]²⁰. No puede utilizarse este método para España porque se fijan muchas variables independientes.

¹⁹ Actualmente en revisión. ISO/TC 205 Heating and cooling systems in buildings. Method and design for calculation of the system energy performance. Combustion systems (boilers).

²⁰ Se denomina SEDB_UK: Eficiencia estacional de calderas domésticas en Reino Unido.

Este método de cálculo se aplica solo a calderas para las que estén disponibles los valores de eficiencia a plena carga y de eficiencia a carga parcial del 30%, obtenidos por los métodos que se estime satisfacen la Directiva 92/42/CEE.

Para los fines de este método (SEDB_UK), se definen las siguientes tipologías de calderas:

- Caldera regular: caldera que no tiene capacidad de proporcionar agua caliente sanitaria directamente (es decir, no es una caldera mixta).
- Caldera mixta: caldera con la capacidad de proporcionar agua caliente sanitaria directamente, en algunos casos conteniendo un depósito de agua caliente interior.
- Caldera mixta instantánea: caldera mixta sin acumulación de agua caliente interior o con un almacenamiento de agua caliente interior de capacidad inferior a los 15l.
- Caldera mixta de acumulación: caldera mixta con un almacenamiento de agua caliente interior de capacidad al menos de 15 l pero menor de 70 l, o una caldera mixta con un almacenamiento de agua caliente interior de capacidad al menos de 70 l, en la que el suministro al circuito de calefacción de locales no se toma directamente del depósito de almacenamiento. Si el almacenamiento es de al menos 70 l y el suministro al circuito de calefacción de locales se toma directamente del almacenamiento, se trata de una unidad de almacenamiento primaria combinada (UAPC).
- Unidad de Almacenamiento Primaria Combinada (UAPC): aparato individual diseñado para proporcionar calefacción de locales y agua caliente sanitaria, en el cual hay un quemador que calienta un almacenamiento térmico que contiene principalmente el agua primaria que tiene en común con el circuito de calefacción de locales. La capacidad de almacenamiento de agua caliente es de al menos 70 litros y el suministro al circuito de calefacción de locales se toma directamente del almacenamiento.
- Caldera todo/nada: caldera sin la capacidad de variar la velocidad de combustión del combustible mientras se mantiene el encendido ininterrumpido del quemador. Esto incluye las calderas con velocidades de combustión variables ajustadas una sola vez en el momento de la instalación.
- Caldera modulante: caldera con la capacidad de variar la velocidad de combustión del combustible mientras se mantiene el encendido ininterrumpido del quemador.
- Caldera de condensación: caldera diseñada para utilizar el calor latente cedido por la condensación del vapor de agua en los productos de salida de combustión. La caldera debe permitir que el condensado salga del cambiador de calor en forma de líquido mediante un drenaje de condensados. Las calderas no diseñadas así, o sin los medios para extraer el condensado en forma de líquido, se denominan «*de no condensación*».

En el procedimiento, los datos se convierten primero a la eficiencia neta máxima (valores de eficiencia referidos al poder calorífico superior) bajo las condiciones de ensayo y, a continuación, se convierten a una eficiencia estacional que se aplica bajo condiciones típicas de utilización en una vivienda, teniendo en cuenta las pérdidas estacionarias siguiendo los siguientes pasos:

- Se determina el combustible para el tipo de caldera. El combustible debe ser gas natural, GLP²¹ (butano o propano) o combustible líquido (queroseno o gasoil).

²¹ Gases licuados del petróleo.

- Se obtienen los datos de ensayo, a plena carga η_{Pn} y al 30% de carga parcial η_{Pint} . Los ensayos deben haberse realizado utilizando el mismo combustible que el combustible para el tipo de caldera.
- Se reduce cualquier valor de ensayo más alto que el valor máximo dado en la tabla 5.32 por el valor de la tabla (si $\eta_{gnr,Pn} > \eta_{gnr,Pn,max}$ entonces $\eta_{gnr,Pn} = \eta_{gnr,Pn,max}$ y si $\eta_{gnr,Pint} > \eta_{gnr,Pint,max}$ entonces $\eta_{gnr,Pint} = \eta_{gnr,Pint,max}$).

Tipo de caldera	Eficiencia a plena carga $\eta_{gnr,Pn,max}$ (%)	Eficiencia al 30% de carga $\eta_{gnr,Pint,max}$ (%)
Calderas de condensación	101	107
Calderas sin condensación	92	91

Tabla 5.32. Valores máximos de eficiencia neta (poder calorífico inferior)

- Se convierte la eficiencia a plena carga y la eficiencia al 30% de carga parcial a partir de los valores netos (poder calorífico inferior) a los valores corregidos (poder calorífico superior). Se utiliza la siguiente ecuación con el factor apropiado de la tabla.

$$\eta_{gnr,Pint,corr} = \eta_{gnr,Pint} \cdot f_{corr} \tag{5-77}$$

$$\eta_{gnr,Pn,corr} = \eta_{gnr,Pn} \cdot f_{corr} \tag{5-78}$$

Combustible	Factor de conversión de neto a bruto f_{corr}
Gas natural	0,901
GLP (propano o butano)	0,921
Combustible líquido (queroseno o gasoil)	0,937

Tabla 5.33. Factores de conversión de eficiencia

- Se categoriza la caldera:
 - Se selecciona la categoría apropiada para la caldera de acuerdo con las definiciones anteriores.
 - Para una caldera de gas o GLP, se determina si tiene un piloto encendido permanente o no:
 - Si tiene un piloto encendido permanente, se establece $f_{pit} = 1$.
 - Si no, se establece $f_{pit} = 0$.
 - Para una caldera con acumulación (tanto todo/nada como modulante), se determina a partir del informe del ensayo si las pérdidas del almacenamiento están incluidas o no en los valores de ensayo anotados (esto depende de si el almacenamiento estaba conectado o no a la caldera durante los ensayos):
 - Si la pérdida de almacenamiento está incluida, se establece $f_{acm} = 1$.
 - Si no, se establece $f_{acm} = 0$.

- Para una unidad de almacenamiento primaria combinada (UAPC, tanto todo/nada como modulante),
 - Se establece $f_{acm} = 1$.
- Para una caldera con acumulación o una UAPC, se obtiene el volumen de almacenamiento, V_{alm} , en litros a partir de la especificación del dispositivo y del factor de pérdida en espera H_{prd} , utilizando las siguientes ecuaciones:
 - Si $d_{int,acm} < 10$ mm entonces $H_{prd} = 0,0945 - 0,0055d_{int,acm}$.
 - Si $d_{int,acm} \geq 10$ mm entonces $H_{prd} = 0,394 / d_{int,acm}$.

Donde $d_{int,acm}$ es el espesor del aislamiento del acumulador en mm.

- Se calcula la eficiencia estacional.
 - Se utiliza la categoría de caldera y otras (sin condensación o de condensación, gas o GLP o combustible líquido, todo/nada o modulante) para buscar el número de la ecuación SEDB_UK apropiada, tabla 5.34.
 - Se sustituye la eficiencia corregida a plena carga $\eta_{gnr,Pn,corr}$ y la eficiencia corregida a carga parcial²² $\eta_{gnr,Pint,corr}$ y f_{plt} , f_{acm} , V_{acm} y H_{prd} en la ecuación hallada en el paso anterior para obtener $\eta_{est,corr}$. Tablas 5.35 y 5.36.
 - Se convierte la eficiencia estacional corregida (poder calorífico superior) a la eficiencia estacional neta utilizando (poder calorífico inferior):

$$\eta_{est} = \eta_{est,corr} \cdot \frac{1}{f_{corr}} \tag{5-79}$$

Tipo de caldera	Sin condensación				Temperatura baja	De condensación			
	Gas o GLP		Combustible líquido			Gas o GLP		Combustible líquido	
	Todo/nada	Modulante	Todo/nada	Modulante		Todo/nada	Modulante	Todo/nada	Modulante
Caldera regular	101	102	201	X	X	101	102	201	X
Caldera mixta instantánea	103	104	202	X	X	103	104	202	X
Caldera mixta con acumulación	105	106	209	X	X	105	106	203	X
Unidad de almacenamiento primaria combinada	107	107	X	X	X	105	106	X	X

Tabla 5.34. Número de ecuación para diferentes tipos de caldera

²² El método propone redondear el resultado a una cifra decimal, es decir, se aproxima al 0,1% más próximo.

Tipo de caldera de gas o GLP	Número de ecuación	Ecuación
Regular todo/nada	101	$\eta_{est,corr} = (\eta_{gnr,Pn,corr} + \eta_{gnr,Pint,corr} / 2) - 2,5 - 4f_{plt}$
Regular modulante	102	$\eta_{est,corr} = (\eta_{gnr,Pn,corr} + \eta_{gnr,Pint,corr} / 2) - 2 - 4f_{plt}$
Todo/nada mixta instantánea	103	$\eta_{est,corr} = (\eta_{gnr,Pn,corr} + \eta_{gnr,Pint,corr} / 2) - 2,8 - 4f_{plt}$
Modulante mixta instantánea	104	$\eta_{est,corr} = (\eta_{gnr,Pn,corr} + \eta_{gnr,Pint,corr} / 2) - 2,1 - 4f_{plt}$
Todo/nada de mixta con acumulación Unidad de almacenamiento primaria combinada todo/nada (solo de condensación)	105	$\eta_{est,corr} = (\eta_{gnr,Pn,corr} + \eta_{gnr,Pint,corr} / 2) - 2,8 + (0,209f_{acm} H_{prd} V_{acm} - 4f_{plt})$
Modulante de combinación de almacenamiento Unidad de almacenamiento primaria combinada modulante (solo de condensación)	106	$\eta_{est,corr} = (\eta_{gnr,Pn,corr} + \eta_{gnr,Pint,corr} / 2) - 1,7 + (0,209f_{acm} H_{prd} V_{acm} - 4f_{plt})$
Unidad de almacenamiento primaria combinada todo/nada (solo sin condensación) Unidad de almacenamiento primaria combinada modulante (solo sin condensación)	107	$\eta_{est,corr} = (\eta_{gnr,Pn,corr} + \eta_{gnr,Pint,corr} / 2) - (0,539f_{acm} H_{prd} V_{acm} - 4f_{plt})$

Tabla 5.35. Ecuaciones de cálculo para obtener $\eta_{est,corr}$ calderas de gas natural y GLP.

Tipo de caldera de combustible líquido	Número de ecuación	Ecuación
Regular	201	$\eta_{est,corr} = (\eta_{gnr,Pn,corr} + \eta_{gnr,Pint,corr} / 2)$
Combinación instantánea	202	$\eta_{est,corr} = (\eta_{gnr,Pn,corr} + \eta_{gnr,Pint,corr} / 2) - 2,8$
Combinación de almacenamiento	203	$\eta_{est,corr} = (\eta_{gnr,Pn,corr} + \eta_{gnr,Pint,corr} / 2) - 2,8 + 0,209f_{acm} H_{prd} V_{acm}$

Tabla 5.36. Ecuaciones de cálculo para obtener $\eta_{est,corr}$ calderas de combustible líquido.

- Se calcula la pérdida térmica de generación a partir de los valores obtenidos por el método SEDB_ UK [5.15] por el que se obtiene los valores de eficiencia de la caldera.

La pérdida térmica de generación total $Q_{CLF,gen,prd}$ se calcula mediante:

$$Q_{CLF,gen,prd} = Q_{CLF,gen,sld} \cdot \frac{1 - \eta_{est}}{\eta_{est}}$$

- Se calcula el requisito de calor del combustible.

$$E_{CLF,gen,ent} = \frac{Q_{CLF,gen,sld}}{\eta_{est}}$$

5-81

La energía auxiliar y la pérdida térmica total (y recuperable) se calculan con el método descrito en alguno de los dos siguientes apartados.

5.3.2. Cálculos basados en la eficiencia del generador

Este método está relacionado con la Directiva 92/42/CEE y se basa en los siguientes pasos:

- Los datos necesarios son para tres estados de carga o de potencia:
 - $\eta_{gnr,Pn}$ eficiencia (rendimiento) al 100% de carga del generador (caldera).
 - $\eta_{gnr,Pint}$ eficiencia (rendimiento) a carga intermedia.
 - $\Phi_{gnr,prd,P0}$ pérdidas al 0% de carga caldera parada.
- Los datos de eficiencia y pérdidas se corrigen de acuerdo con las condiciones de operación real de la caldera (temperatura).
- La potencia de pérdida a carga 100% $\Phi_{gnr,prd,Pn}$ y a carga intermedia $\Phi_{gnr,prd,Pint}$ se calculan de acuerdo con las eficiencias corregidas.
- Los cálculos de potencias de pérdidas correspondientes a la potencia real se realizan mediante interpolación lineal o polinómica entre las potencias de pérdidas para las tres potencias básicas.
- La energía auxiliar se calcula teniendo en cuenta la potencia real de la caldera.
- Las pérdidas térmicas recuperables de la envolvente del generador se calculan de acuerdo con una fracción tabulada de las pérdidas térmicas de espera y de la localización de la caldera.
- La energía auxiliar recuperable se suma a las pérdidas térmicas recuperables de la envolvente del generador para proporcionar las pérdidas térmicas recuperables totales.

La caldera se caracteriza por los siguientes valores que deben ser conocidos *a priori*:

- $\Phi_{gnr,Pn}$ Potencia de la caldera a plena carga Pn (kW).
- $\eta_{gnr,Pn}$ Eficiencia (rendimiento) de la caldera a plena carga (-).
- $T_{CLF,gnr,ens,Pn,med}$ Temperatura media del agua de la caldera en las condiciones de ensayo a plena carga (Pn).
- $f_{corr,Pn}$ Factor de corrección de eficiencia a plena carga (-).
- $\Phi_{gnr,Pint}$ Potencia de la caldera a carga intermedia Pint (kW).
- $\eta_{gnr,Pint}$ Eficiencia de la caldera a carga intermedia Pint (-).
- $T_{CLF,gnr,ens,Pint,med}$ Temperatura media del agua de la caldera en las condiciones de ensayo a carga intermedia Pint (°C).

- $f_{corr,Pint}$ Factor de corrección de eficiencia a carga intermedia Pint (-).
- $\Phi_{gnr,prd,P0}$ Potencia térmica de pérdidas en espera a la diferencia de temperatura de ensayo $\Delta T_{CLF,gnr,ens,P0}$
- $\Delta T_{CLF,gnr,ens,P0}$ Diferencia entre la temperatura media de la caldera y la temperatura de la sala de ensayo en las condiciones de ensayo.
- $P_{aux,gnr,Pn}$ Potencia eléctrica de los dispositivos auxiliares a plena carga (W).
- $P_{aux,gnr,Pint}$ Potencia eléctrica de los dispositivos auxiliares a carga intermedia (W).
- $P_{aux,gnr,P0}$ Potencia eléctrica de los dispositivos auxiliares en espera (W).
- $T_{CLF,gnr,min}$ Temperatura de operación mínima de la caldera (°C).

Los datos para caracterizar la caldera deben tomarse a partir de una de las siguientes fuentes, enumeradas en orden de prioridad²³:

- Datos de la caldera si se ha ensayado de acuerdo con las Normas UNE EN 297 [5.16], UNE EN 303-5 [5.17], UNE EN 304 [5.18], UNE EN 656 [5.19], UNE EN 15034 [5.20], UNE EN 15035 [5.21] y/o UNE EN 15456 [5.22] (datos de potencia auxiliar).
- Datos por defecto del anexo nacional correspondiente.
- Datos por defecto expuestos en la norma UNE EN 15316-4-1 reproducidos en este documento.

Para estimar el estado real del subsistema de generación se necesitan conocer las condiciones de operación reales que se caracterizan mediante los siguientes valores:

- $Q_{CLF,gen,sld}$ Potencia térmica hacia el(los) subsistema(s) de distribución.
- $T_{CLF,gnr,med}$ Temperatura media del agua en la caldera.
- $T_{CLF,gnr,rtr,med}$ Temperatura de retorno del agua hacia la caldera (para calderas de condensación).
- $T_{CLF,sdc}$ Temperatura de la sala de caldera.
- $f_{psc,sdc}$ Factor de reducción de temperatura dependiente de la localización del generador dentro de la sala de calderas.
- $\Phi_{CLF,gen,sld}$ Potencia media del subsistema de generación.
- $\beta_{CLF,gen}$ Factor de carga del subsistema de generación.

La potencia media del subsistema de generación $\Phi_{CLF,gen,sld}$ se calcula mediante:

$$\Phi_{CLF,gen,sld} = \Phi_{gnr,Pn} \cdot \beta_{CLF,gen} = \frac{Q_{CLF,gen,sld}}{t_{CLF,ON-OFF}} \Rightarrow \beta_{CLF,gen} = \frac{Q_{CLF,gen,sld}}{\Phi_{gnr,Pn} \cdot t_{CLF,ON-OFF}} \quad 5-82$$

donde $t_{CLF,ON-OFF}$ tiempo total de operación del (de los) generador(es).

²³ Debe registrarse si los valores de eficiencia incluyen la recuperación de energía auxiliar o no.

El factor de carga del subsistema de generación $\beta_{CLF,gen}$ se calcula en función del número de generadores que constituyen el subsistema de generación. Si solo hay instalado un generador, el factor de carga $\beta_{CLF,gen}$ se calcula mediante

$$\beta_{CLF,gen} = \frac{\Phi_{CLF,gen,sld}}{\Phi_{gnr,Pn}} \quad 5-83$$

Donde $\Phi_{gnr,Pn}$ potencia nominal del generador.

5.3.2.1. Generación con varios generadores

Si hay un subsistema de generación con varias calderas la distribución de la carga entre ellas depende del control entre ellas, si es con o sin prioridad.

Si las calderas son sin prioridad todos los generadores funcionan al mismo tiempo y, por tanto, el factor de carga $\beta_{CLF,gen}$ es el mismo para todas las calderas y se da mediante:

$$\beta_{CLF,gen} = \frac{\Phi_{CLF,gen,sld}}{\sum_i \Phi_{gnr,Pn,i}} \quad 5-84$$

donde $\Phi_{gnr,Pn,i}$ potencia nominal de la caldera i a plena carga.

Si las calderas son con prioridad las calderas con prioridad más alta funcionan primero. Una caldera dada, con un control con prioridad, funciona solo si las calderas de prioridad más alta están funcionando a plena carga ($\beta_{CLF,gnr,i} = 1$).

El número de generadores funcionando $n_{CLF,gnr,ON}$ se da mediante:

$$n_{CLF,gnr,ON} = \text{ent} \left(\frac{\Phi_{CLF,gen,sld}}{\sum_i \Phi_{gnr,Pn,i}} \right) \quad 5-85$$

Por otro lado, las calderas que funcionan tienen que determinarse de forma que $0 < \beta_{CLF,gen,j} < 1$ (véase la ecuación anterior).

El factor de carga $\beta_{gnr,j}$ para la caldera intermitente en funcionamiento se calcula mediante:

$$\beta_{CLF,gen,j} = \frac{\Phi_{CLF,gen,sld} - \sum_{i=1}^{n_{CLF,gnr,ON}} \Phi_{gnr,Pn,i}}{\Phi_{gnr,Pn,j}} \quad 5-86$$

donde

- $\Phi_{gnr,Pn,i}$ potencia nominal de la caldera i funcionando a plena carga.
- $\Phi_{gnr,Pn,j}$ potencia nominal de la caldera intermitente en funcionamiento.

5.3.2.2. Generadores mixtos

Durante la estación de calefacción, la caldera puede producir energía para la instalación de calefacción de locales y para la de agua caliente sanitaria (servicio mixto).

El cálculo de las pérdidas térmicas para un generador funcionando sólo para servicio de agua caliente sanitaria, se especifica en el siguiente capítulo de este documento (norma UNE EN 15316-3-3 [5.23]).

En el caso que el servicio de calefacción y agua caliente sanitaria esté abastecido por el mismo subsistema de generación, caldera de servicio mixto²⁴, la generación de agua caliente sanitaria puede influir en la parte de calefacción en relación a:

- Temperatura de funcionamiento de la caldera.
- Tiempo de funcionamiento.
- Estado de carga.

Este efecto se tiene en cuenta mediante el aumento de la carga del subsistema de generación durante el periodo considerado mediante:

$$Q_{ACS-CLF,gen,sld} = f_{ACS-CLF,ent} \cdot Q_{CLF,dst,ent} + Q_{ACS,dst,ent} \tag{5-87}$$

donde

- $f_{ACS-CLF,ent}$ Factor que tiene en cuenta las pérdidas del control de emisiones en calderas mixtas.

Tipo de generador	Tipo de control	$f_{ACS-CLF,ent}$
Caldera sobre el suelo	Temperatura exterior controlada	1,00
Caldera mural	Temperatura exterior controlada	1,03
	Temperatura de la sala controlada	1,06

Tabla 5.37. Valores por defecto para el factor de corrección a plena carga $f_{ACS-CLF,ent}$

Sin embargo, si el agua caliente sanitaria se produce solo durante modos de operación específicos (por ejemplo, solo durante el modo de operación normal o si se proporciona un control de prioridad), el cálculo puede realizarse independientemente para los dos modos de operación:

- Teniendo en cuenta $t_{CLF,ON-OFF}$ (tiempo de operación para calefacción de locales) y $\Phi_{gnr,Px}$ (calculada con $Q_{CLF,dst,ent}$ y $t_{CLF,ON-OFF}$) y las condiciones de operación para el servicio de calefacción de locales.
- Teniendo en cuenta $t_{ACS,ON-OFF}$ (tiempo de operación para producción de agua caliente sanitaria) y $\Phi_{gnr,Px}$ (calculada con $Q_{ACS,dst,ent}$ y $t_{ACS,ON-OFF}$) y las condiciones de operación para la producción de agua caliente sanitaria.

²⁴ El periodo de cálculo considerado es el mismo para la producción de agua caliente sanitaria y para la calefacción de locales.

5.3.2.3. Energía auxiliar total

En este método se propone realizar los cálculos de energía auxiliar cada mes. La energía auxiliar mensual total del subsistema de generación ($W_{CLF,gen,aux}$) constituido por una caldera coincide con el de la caldera ($W_{CLF,gr,aux}$):

$$W_{CLF,gen,aux} = W_{CLF,gr,aux} = P_{aux,gr,P\beta} \cdot t_{CLF,ON-OFF,mns} + P_{aux,gr,OFF} \cdot (t_{CLF,int,mns} - t_{CLF,ON-OFF,mns}) \quad 5-88$$

donde

- $P_{aux,gr,OFF}$ Potencia auxiliar cuando la caldera está parada. Si la caldera está eléctricamente aislada cuando está inactiva, $P_{aux,gr,OFF} = 0$. Si no, $P_{aux,gr,OFF} = P_{aux,gr,P0}$.
- $t_{CLF,ON,mns}$ Es el intervalo de cálculo. t_{CLF} si la caldera atiende solo al servicio de calefacción.
- $t_{CLF,int,mns}$ Tiempo del intervalo de cálculo. Generalmente $t_{CLF,ON-OFF,mns} = t_{CLF,int,mns}$.
- $P_{aux,gr,P\beta}$ Potencia auxiliar promedio. Se calcula mediante interpolación lineal, de acuerdo con la carga del subsistema de generación $\beta_{CLF,gen}$ entre:
 - $P_{aux,gr,Pn}$ Potencia auxiliar de la caldera a plena carga ($\beta_{CLF,gen} = 1$).
 - $P_{aux,gr,Pint}$ Potencia auxiliar de la caldera a carga intermedia ($\beta_{CLF,gen} = \beta_{CLF,int}$).
 - $P_{aux,gr,P0}$ Potencia auxiliar de la caldera en espera ($\beta_{CLF,gen} = 0$), medidas de acuerdo con la norma UNE EN 15456 [5.22].

Si no están disponibles datos declarados o medidos se dan valores por defecto a continuación.

$$P_{aux,gr,P\beta} = c_7 + c_8 \cdot \left(\frac{\Phi_{Pn}}{1.000} \right)^n \quad 5-89$$

Tipo de caldera	Estado de carga	c_7 W	c_8 W	n
Calderas de cambio de combustible	$P_{gr,Pn}$	0	45	48
	$P_{gr,Pint}$	0	15	48
	$P_{gr,P0}$	15	0	0
Caldera central alimentada de forma automática con pellet ¹	$P_{gr,Pn}$	40	2	1
	$P_{gr,Pint}$	40	18	1
	$P_{gr,P0}$	15	0	0
Caldera central alimentada de forma automática con virutas de madera ¹	$P_{gr,Pn}$	60	26	1
	$P_{gr,Pint}$	70	22	1
	$P_{gr,P0}$	15	0	0
Calderas estándar				
Calderas de gas atmosféricas	$P_{gr,Pn}$	40	148	1
	$P_{gr,Pint}$	40	148	1
	$P_{gr,P0}$	15	0	0

Tipo de caldera	Estado de carga	c_7 W	c_8 W	n
Calderas de calefacción con quemador de tiro forzado (combustible líquido/gaseoso)	$P_{gnr,Pn}$	0	45	48
	$P_{gnr,Pint}$	0	15	48
	$P_{gnr,PO}$	15	0	0
Calderas de baja temperatura				
Calderas de gas atmosféricas	$P_{gnr,Pn}$	40	148	1
	$P_{gnr,Pint}$	40	148	1
	$P_{gnr,PO}$	15	0	0
Calentadores de agua	$P_{gnr,Pn}$	0	45	48
	$P_{gnr,Pint}$	0	15	48
	$P_{gnr,PO}$	15	0	0
Calderas de calefacción con quemador de tiro forzado (combustible líquido/gaseoso)	$P_{gnr,Pn}$	0	45	48
	$P_{gnr,Pint}$	0	15	48
	$P_{gnr,PO}$	15	0	0
Calderas de condensación				
Calderas de condensación (combustible líquido/gaseoso)	$P_{gnr,Pn}$	0	45	48
	$P_{gnr,Pint}$	0	15	48
	$P_{gnr,PO}$	15	0	0

¹ Con la utilización del encendido con ayuda del ventilador, los valores para $P_{gnr,Pn}$ y $P_{gnr,Pint}$ deben incrementarse en un 40%.

Tabla 5.38. Parámetros para el cálculo del consumo de energía de los equipos auxiliares

La interpolación se realiza en función del estado de carga real $\beta_{CLF,gen}$ en función de los dos siguientes estados.

Si $0 \leq \beta_{CLF,gen} \leq \beta_{CLF,int} = 0,3$ entonces $P_{aux,gnr,Px}$ se da mediante:

$$P_{aux,gnr,P\beta} = P_{aux,gnr,PO} + \frac{\beta_{CLF,gen}}{\beta_{CLF,int}} \cdot (P_{aux,gnr,Pint} - P_{aux,gnr,PO}) \tag{5-90}$$

Si $\beta_{CLF,int} = 0,3 \leq \beta_{CLF,gen} \leq 1$ entonces $P_{aux,gnr,P\beta}$ se da mediante:

$$P_{aux,gnr,P\beta} = P_{aux,gnr,Pint} + \frac{\beta_{CLF,gen} - \beta_{CLF,int}}{1 - \beta_{CLF,int}} \cdot (P_{aux,gnr,Pn} - P_{aux,gnr,Pint}) \tag{5-91}$$

La energía auxiliar del subsistema de generación $W_{CLF,gen,aux}$ si hay más de una caldera se da mediante:

$$W_{CLF,gen,aux} = \sum_i W_{gnr,aux,i} \tag{5-92}$$

Para el cálculo de la energía auxiliar recuperable, se realiza una distinción entre:

- Energía auxiliar recuperable transmitida al medio de calefacción (generalmente agua).
- Energía auxiliar recuperable transmitida al local calentado.

La energía auxiliar recuperada transmitida al medio de calefacción $Q_{CLF,gen,aux,rcp}$ se calcula mediante:

$$Q_{CLF,gen,aux,rcp} = f_{CLF,gen,rcp,aux} \cdot W_{CLF,gen,aux} \tag{5-93}$$

donde

- $f_{CLF,gen,rcp,aux}$ Parte de la energía auxiliar transmitida al subsistema de distribución. En ausencia de valores se toma el valor de 0,75.

La energía auxiliar recuperada ya tenida en cuenta en los datos de eficiencia no debe calcularse de nuevo para la recuperación.

La energía auxiliar recuperable transmitida al local calentado $Q_{CLF,gen,aux,rcb}$ se calcula mediante

$$Q_{CLF,gen,aux,rcb} = f_{CLF,gen,rcb,aux} \cdot W_{CLF,ger,aux} \cdot (1 - b_{lcl}) \tag{5-94}$$

donde

- $f_{CLF,gen,rcb,aux}$ Parte de la energía auxiliar no transmitida al subsistema de distribución. La parte de la energía auxiliar transmitida al local calentado $f_{CLF,gen,rcb,aux}$ se calcula mediante:
 $f_{CLF,gen,rcb,aux} = 1 - f_{CLF,gen,rcp,aux}$
- b_{lcl} Factor de reducción de temperatura que depende de la localización del generador.

Localización del generador	b_{loc} (-)
Exterior	1
En la sala de caldera	0,3
Debajo del tejado	0,2
Dentro del local calentado	0

Tabla 5.39. Factor de reducción de temperatura

En ausencia de valores se supone que el 80% de la energía recuperable es verdaderamente recuperada:

$$Q_{CLF,gen,aux,rcp,rcb} = 0,8 \cdot Q_{CLF,gen,aux,rcb} \tag{5-95}$$

5.3.2.4. Pérdidas térmicas en el subsistema de generación

La pérdida térmica total del subsistema de generación $Q_{CLF,gen,prd}$ durante el tiempo de operación considerado $t_{CLF,ON}$ cuando existe una única caldera coincide con la pérdida térmica de la caldera $Q_{CLF,gnr,prd}$ y se calcula mediante:

$$Q_{CLF,gen,prd} = Q_{CLF,gnr,prd} = \Phi_{CLF,gnr,prd,P\beta} \cdot t_{CLF,ON} \tag{5-96}$$

donde $\Phi_{CLF,gnr,prd,P\beta}$ es la potencia térmica de pérdidas en función del estado real medio de la caldera $\Phi_{CLF,gen,sld}$. Ver imagen 5.26 y 5.27.

Si existiera más de una caldera las pérdidas térmicas totales del subsistema de generación son la suma de las pérdidas térmicas de cada caldera:

$$Q_{CLF,gen,prd} = \sum_i Q_{CLF,gnr,prd,i} \tag{5-97}$$

Para obtener la potencia térmica de pérdidas en el estado real medio de la caldera $\Phi_{CLF,gen,prd,P\beta}$ función de $\Phi_{CLF,gen,sld}$ hay que realizar una interpolación lineal en función de tres valores corregidos de estados de carga de la caldera, nominal $\Phi_{CLF,gnr,prd,Pn,corr}$, intermedio $\Phi_{CLF,gnr,prd,Pint,corr}$ y a carga cero $\Phi_{CLF,gnr,prd,P0,corr}$.

Si $0 < \Phi_{gnr,P\beta} < \Phi_{gnr,Pint}$ la pérdida térmica del generador $\Phi_{CLF,gen,prd,P\beta}$ se calcula mediante ($\Phi_{gnr,P\beta} = \Phi_{CLF,gen,sld} = Q_{CLF,gen,sld} / t_{CLF,ON-OFF}$):

$$\Phi_{CLF,gen,prd,P\beta} = \frac{\Phi_{gnr,P\beta}}{\Phi_{gnr,Pint}} \cdot (\Phi_{CLF,gnr,prd,Pint,corr} - \Phi_{CLF,gnr,prd,P0,corr}) + \Phi_{CLF,gnr,prd,P0,corr} \tag{5-98}$$

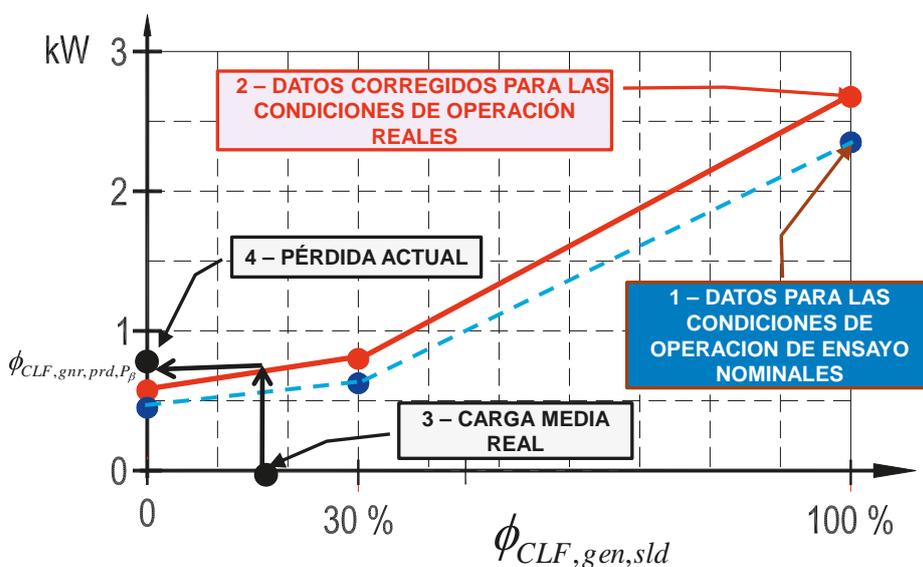


Imagen 5.26. Pérdida térmica del generador cuando $\Phi_{gnr,P\beta} < \Phi_{gnr,Pint}$

Si $\Phi_{gnr,Pint} < \Phi_{gnr,P\beta} < \Phi_{gnr,Pn}$ ($\beta_{CLF,gen} = 1$), la pérdida térmica del generador $\Phi_{CLF,gnr,prd,P\beta}$ se calcula mediante:

$$\Phi_{gnr,prd,P\beta} = \frac{\Phi_{P\beta} - \Phi_{Pint}}{\Phi_{Pn} - \Phi_{Pint}} \cdot (\Phi_{gnr,prd,Pn,corr} - \Phi_{gnr,prd,Pint,corr}) + \Phi_{gnr,prd,Pint,corr}$$

5-99

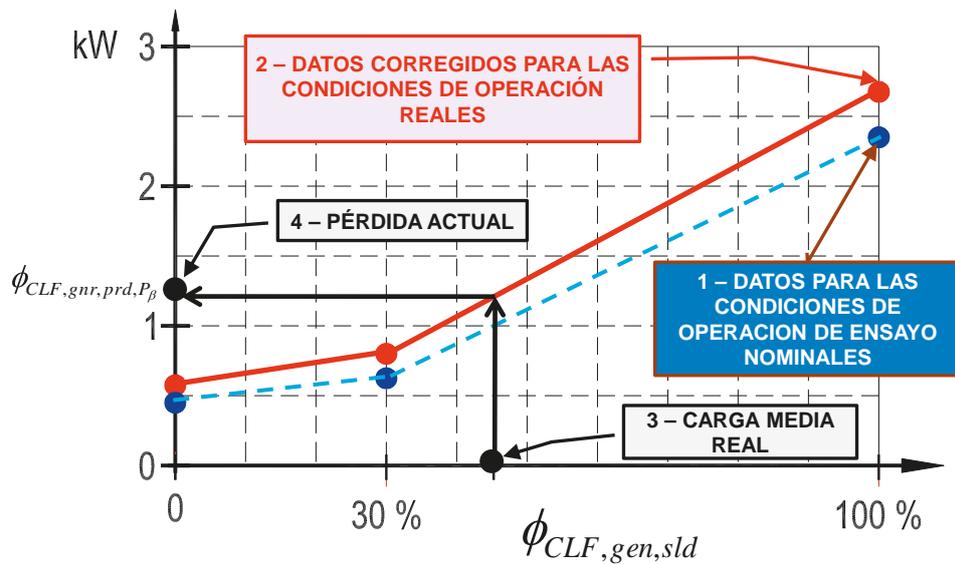


Imagen 5.27. Pérdida térmica del generador cuando $\Phi_{gnr,P\beta} > \Phi_{gnr,Pint}$

$\Phi_{CLF,gnr,prd,P\beta}$ puede también calcularse mediante un polinomio de interpolación de grado 2 sin diferenciar entre los dos estados mostrados.

$$\begin{aligned} \Phi_{CLF,gnr,prd,P\beta} &= \Phi_{gnr,prd,Po,corr} + (\Phi_{gnr,P\beta})^2 \cdot \\ &\cdot \frac{\Phi_{gnr,Pint} \cdot (\Phi_{gnr,prd,Pn,corr} - \Phi_{gnr,prd,Po,corr}) - \Phi_{gnr,Pn} \cdot (\Phi_{gnr,prd,Pint,corr} - \Phi_{gnr,prd,Po,corr})}{\Phi_{gnr,Pn} \cdot \Phi_{gnr,Pint} \cdot (\Phi_{gnr,Pn} - \Phi_{gnr,Pint})} + \Phi_{gnr,P\beta} \cdot (\Phi_{gnr,Pn})^2 \cdot \\ &\cdot \frac{\Phi_{gnr,Pint} \cdot (\Phi_{gnr,prd,Pint,corr} - \Phi_{gnr,prd,Po,corr}) - (\Phi_{gnr,Pint})^2 \cdot (\Phi_{gnr,prd,Pn,corr} - \Phi_{gnr,prd,Po,corr})}{\Phi_{gnr,Pn} \cdot \Phi_{gnr,Pint} \cdot (\Phi_{gnr,Pn} - \Phi_{gnr,Pint})} \end{aligned}$$

5-100

Para calcular la potencia térmica de pérdidas de la caldera corregida a plena carga $\Phi_{CLF,gnr,prd,Pn,corr}$ se necesita la eficiencia (rendimiento) a plena carga corregida $\eta_{gnr,Pn,corr}$:

$$\Phi_{gnr,prd,Pn,corr} = \frac{100 - \eta_{gnr,Pn,corr}}{\eta_{gnr,Pn,corr}} \cdot \Phi_{gnr,Pn}$$

5-101

Esta eficiencia (rendimiento) tiene que ajustarse (corregirse) a la temperatura media real del agua del generador de la instalación $T_{CLF,gnr,Pn,med,corr}$. Recordar que $\eta_{gnr,Pn}$ se mide a una temperatura media de referencia (ensayo) del agua de la caldera $T_{CLF,gnr,Pn,med,ens}$:

$$\eta_{gnr,Pn,corr} = \eta_{gnr,Pn} + f_{corr,Pn} \cdot (T_{CLF,gnr,Pn,med,ens} - T_{CLF,gnr,Pn,med,corr}) \tag{5-102}$$

donde

- $\eta_{gnr,Pn}$ Eficiencia del generador a plena carga. Si no se ha ensayado el rendimiento del generador de acuerdo con las normas UNE EN correspondientes se puede obtener a partir de la potencia nominal (si $\Phi_{gnr,Pn}$ es mayor de 400 kW se coloca 400 kW).

$$\eta_{gnr,Pn} = C_1 + C_2 \cdot \log\left(\frac{\Phi_{gnr,Pn}}{1.000}\right) \tag{5-103}$$

C_1 y C_2 se obtienen de la tabla 5.45.

- $f_{corr,Pn}$ Factor de corrección teniendo en cuenta la variación de la eficiencia a plena carga como una función de la temperatura media del agua del generador (tabla 5.40). El factor de corrección $f_{corr,Pn}$ puede también calcularse, utilizando los datos de eficiencia de los ensayos adicionales realizados a una temperatura media del agua más baja, utilizando la siguiente ecuación:

$$f_{corr,Pn} = \frac{\eta_{gnr,Pn} - \eta_{gnr,Pn,adc}}{T_{CLF,gnr,Pn,med,ens,adc} - T_{CLF,gnr,Pn,med,ens}} \tag{5-104}$$

donde $\eta_{gnr,Pn,adc}$ eficiencia a plena carga con la temperatura media del agua del ensayo adicional realizado *in situ* $T_{CLF,gnr,Pn,med,ens,adc}$

- $T_{CLF,gnr,Pn,med,ens}$ Temperatura media del agua del generador en las condiciones de ensayo a plena carga °C. Tabla 5.40:

Tipo de generador	$T_{CLF,gnr,Pn,med,ens}$	$f_{corr,Pn}$
Caldera estándar	70 °C	0,04%/°C
Caldera de baja temperatura		0,04%/°C
Caldera de condensación de gas		0,20%/°C
Caldera de condensación de combustible líquido		0,10%/°C

Tabla 5.40. Valores por defecto para el factor de corrección a plena carga $f_{corr,Pn}$

- $T_{CLF,gnr,Pn,med,corr}$ Temperatura de operación (media) en condiciones reales del generador a plena carga °C. Ver apartado 5.3.2.6.

Para el cálculo de la pérdida térmica de la caldera a carga intermedia corregida $\Phi_{CLF,gnr,prd,Pint,corr}$ se necesita la eficiencia (rendimiento) a carga intermedia corregida $\eta_{gnr,Pint,corr}$.

$$\Phi_{gnr,prd,Pint,corr} = \frac{100 - \eta_{gnr,Pint,corr}}{\eta_{gnr,Pint,corr}} \cdot \Phi_{gnr,Pint} \tag{5-105}$$

donde $\Phi_{gnr,Pint}$ potencia del generador a carga intermedia ($0,3 \Phi_{gnr,Pn}$).

Esta eficiencia (rendimiento) tiene que ajustarse (corregirse) a la temperatura media real del agua del generador de la instalación $T_{CLF,gnr,Pint,med,corr}$. Recordar que $\eta_{gnr,Pint}$ se mide a una temperatura media de referencia (ensayo) del agua de la caldera $T_{CLF,gnr,Pint,med,ens}$:

$$\eta_{gnr,Pint,corr} = \eta_{gnr,Pint} + f_{corr,Pint} \cdot (T_{CLF,gnr,Pint,med,ens} - T_{CLF,gnr,Pint,med,corr}) \tag{5-106}$$

donde

- $\eta_{gnr,Pint}$ Eficiencia del generador a carga intermedia. Si no se ha ensayado el rendimiento del generador de acuerdo con las normas UNE EN correspondientes se puede obtener a partir de la potencia nominal (si $\Phi_{gnr,Pn}$ es mayor de 400 kW se opera con 400 kW).

$$\eta_{gnr,Pint} = C_3 + C_4 \cdot \log\left(\frac{\Phi_{gnr,Pint}}{1.000}\right) \tag{5-107}$$

En caso de caldera de condensación de combustible líquido:

$$\eta_{gnr,Pint} = \frac{C_3 + C_4 \cdot \log\left(\frac{\Phi_{gnr,Pint}}{1000}\right)}{1,05} \tag{5-108}$$

C_3 y C_4 se obtienen de la tabla 5.45.

- $f_{corr,Pint}$ Factor de corrección teniendo en cuenta la variación de la eficiencia a plena carga como una función de la temperatura media del agua del generador (tabla 5.41). El factor de corrección $f_{corr,Pint}$ puede también calcularse, utilizando los datos de eficiencia de los ensayos adicionales realizados a una temperatura media del agua más baja, utilizando la siguiente ecuación:

$$f_{corr,Pint} = \frac{\eta_{gnr,Pint} - \eta_{gnr,Pint,adc}}{T_{CLF,gnr,Pint,med,ens,adc} - T_{CLF,gnr,Pint,med,ens}} \tag{5-109}$$

Donde $\eta_{gnr,Pint,adc}$ eficiencia a plena carga con la temperatura media del agua del ensayo adicional realizado *in situ* $T_{CLF,gnr,Pint,med,ens,adc}$

- $T_{CLF,gnr,Pint,med,ens}$ Temperatura media del agua del generador en las condiciones de ensayo a carga intermedia °C.

Tipo de generador	$T_{CLF,gnr,Pint,med,ens}$	$f_{corr,Pint}$
Estándar	50 °C	0,05%/°C
Baja temperatura	40 °C	0,05%/°C
Condensación de gas	30 °C (*)	0,20%/°C
Condensación de combustible líquido	30 °C (*)	0,10%/°C

* Temperatura de retorno. Para una caldera de condensación, los ensayos **no se realizan** con una temperatura media del agua del generador definida (media de la temperatura de suministro y retorno), pero sí con una temperatura de retorno de 30 °C. La eficiencia correspondiente a esta temperatura de retorno puede aplicarse para la temperatura media del agua del generador de 35 °C.

Tabla 5.41. Factor de corrección a carga intermedia $f_{corr,Pint}$

- $T_{CLF,gnr,Pint,med,corr}$ Temperatura de operación (media) en condiciones reales del generador a plena carga °C. Ver apartado 5.3.2.6.

La pérdida térmica del generador a la temperatura corregida al 0% de carga $\Phi_{gnr,prd,Po,corr}$ se calcula mediante

$$\Phi_{gnr,prd,Po,corr} = \left(\frac{T_{CLF,gnr,med} - T_{sdc}}{\Delta T_{gnr,Po,ens}} \right)^{1,25} \cdot \Phi_{gnr,prd,Po} \tag{5-110}$$

donde

- $\Phi_{gnr,prd,Po}$ Pérdida térmica en espera a carga 0% a la diferencia de temperatura de ensayo $\Delta T_{gnr,Po,ens}$ con las normas de ensayo correspondientes (normas UNE EN 297 [5.16], UNE EN 483/A2 [5.24], UNE EN 303-5 [5.17], UNE EN 13836 [5.25] y UNE EN 15043). Si no se tiene este valor se puede obtener en función de la potencia nominal:

$$\Phi_{gnr,prd,Po} = \Phi_{gnr,Pn} \cdot \frac{C_5}{100} \cdot (\Phi_{gnr,Pn})^{C_6} \tag{5-111}$$

C_5 y C_6 se obtienen de la tabla 5.43. $\Phi_{gnr,prd,Po}$ y $\Phi_{gnr,Pn}$ en kW.

- $T_{CLF,gnr,med}$ Temperatura media del agua del generador (o temperatura de retorno al generador para las calderas de condensación) como una función de las condiciones de operación (funcionamiento) específicas °C. Ver apartado 5.3.2.6.
- T_{sdc} Temperatura interior de la sala de caldera. Se dan valores por defecto en la tabla 5.42.

Localización del generador	T_{sdc} °C
Exterior	T_{ext}
En la sala de caldera	13
Debajo del tejado	5
Dentro del local calentado	20

Tabla 5.42. Temperatura de la sala de instalación por defecto

- $\Delta T_{gnr,ens,Po}$ Diferencia entre la temperatura media del agua del generador y la temperatura de la sala de ensayo a las condiciones de ensayo. Se dan valores por defecto en la tabla 5.43.

Tipo de caldera	Año de fabricación	c_5 (%)	c_6 (-)	$\Delta T_{gnr,ens,po}$ (°C)
Calderas de cambio de combustible	Hasta 1987	12,5	- 0,28	50
Calderas de combustible sólido	Antes de 1978	12,5	- 0,28	
	Entre 1978 y 1994	10,5	- 0,28	
	Después de 1994	8,0	- 0,28	
Calderas estándar				
Calderas de gas atmosféricas	Antes de 1978	8,0	- 0,27	50
	Entre 1978 y 1994	7,0	- 0,3	
	Después de 1994	8,5	- 0,4	
Calderas con quemador de tiro forzado (combustible líquido/gaseoso)	Antes de 1978	9,0	- 0,28	
	Entre 1978 y 1994	7,5	- 0,31	
	Después de 1994	8,5	- 0,4	
Calderas de baja temperatura				
Calderas de gas atmosféricas	Hasta 1994	7,5	- 0,30	50
	Después de 1994	6,5	- 0,35	
Calderas mixtas 11 kW, 18 kW y 24 kW	Hasta 1994	3,0	0	
Calderas mixtas KSp ^a	Después de 1994	3,0	0	
Calderas mixtas DL ^b	Después de 1994	2,4	0	
Calderas con quemador de tiro forzado (combustible líquido/gaseoso)	Hasta 1994	8,0	- 0,33	
	Después de 1994	5,0	- 0,35	
Calderas de condensación				
Calderas de condensación (combustible líquido/gaseoso)	Hasta 1994	8,0	- 0,33	50
	Después de 1994	4,8	- 0,35	
Caldera mixta KSp(11kW,18 kW 24kW) ^a	Después de 1994	3,0	0	
Caldera mixta DL (1kW, 18kW y 24kW) ^b	Después de 1994	2,4	0	

a KSp: Caldera con calentamiento de agua caliente sanitaria integrado operando con el principio instantáneo con volumen de almacenamiento pequeño ($2 < V_{gnr,acm} < 10$ l).

b DL: Caldera con calentamiento de agua caliente sanitaria integrado operando con el principio instantáneo con intercambiador de calor ($V_{gnr,acm} < 2$ l).

Tabla 5.43. Parámetros para el cálculo de las pérdidas de calor en espera

5.3.2.5. Pérdidas térmicas recuperables

Solo las pérdidas térmicas a través de la cubierta del generador se consideran como recuperables y se expresan como una fracción de las pérdidas de calor totales en espera.

Para un generador $Q_{gnr,prd,env,rcb}$ se calculan mediante:

$$Q_{CLF,gen,prd,env,rcb} = \phi_{gnr,prd,Po,corr} \cdot (1 - b_{loc}) \cdot f_{gnr,env} \cdot t_{CLF,ON-OFF} \tag{5-112}$$

donde

- $f_{gnr,env}$ Pérdidas térmicas a través de la cubierta del generador expresadas como una fracción de las pérdidas de calor totales en espera. A continuación se da un valor por defecto.

Tipo de quemador	$f_{gnr,env}$
Quemador atmosférico	0,50
Quemador con ayuda del ventilador. Forzado	0,75

Tabla 5.44. Parte de las pérdidas de calor en espera atribuidas a las pérdidas a través de la envolvente del generador

- b_{lcl} Factor de reducción de temperatura que depende de la localización del generador. Ver tabla 5.39.
- $t_{CLF,ON-OFF}$ Tiempo de operación de la caldera.

En ausencia de valores se supone que el 80% de la energía recuperable es verdaderamente recuperada:

$$Q_{CLF,gen,prd,env,rcb,rcp} = 0,8 \cdot Q_{CLF,gen,prd,env,rcb} \tag{5-113}$$

Estas pérdidas térmicas recuperables se deben sumar a las procedentes de la energía auxiliar y se obtendrían las necesidades energéticas totales:

$$E_{CLF,gen,ent} = Q_{CLF,gen,slid} + Q_{CLF,gen,prd} - Q_{CLF,gen,aux,rcp} - Q_{CLF,gen,prd,env,rcb,rcp} \tag{5-114}$$

En este caso $Q_{CLF,gen,env,rcb,rcp} = Q_{CLF,gen,prd,rcb}$.

5.3.2.6. Temperaturas de trabajo medias

La temperatura de operación del generador en condiciones reales depende del:

- Tipo de control. El efecto del control sobre la caldera es función de la temperatura media de los emisores de calor. Por tanto, se tienen en cuenta tres tipos de control de caldera, temperatura del

agua constante, temperatura del agua variable dependiendo de la temperatura interior y temperatura del agua variable dependiendo de la temperatura exterior.

- Límite técnico del generador (teniéndolo en cuenta por la limitación de temperatura).
- Temperatura del subsistema de distribución conectado al generador.

La temperatura de operación media corregida a la potencia P_x del generador se calcula mediante:

$$T_{CLF,gnr,corr,Px,med} = \max(T_{CLF,gnr,min}; T_{CLF,gnr,med}) \tag{5-115}$$

- $T_{CLF,gnr,min}$ Temperatura mínima de operación de la caldera para cada generador. Si la instalación se equipa con varios generadores, la limitación de temperatura de funcionamiento utilizada para el cálculo es el valor más alto de las limitaciones de temperatura de los generadores funcionando al mismo tiempo. Se dan valores por defecto en la tabla 5.45.
- $T_{CLF,gnr,med}$ Temperatura del agua media correspondiente durante el periodo considerado. Si se trata de una caldera de condensación se utiliza el valor de retorno del agua al generador. Si se conectan al generador diferentes subsistemas de distribución, se utiliza para el cálculo la temperatura más alta entre los subsistemas de distribución de calor o la media ponderada.

El cálculo de esta temperatura comienza desde el subsistema de emisión, teniendo en cuenta el diseño hidráulico y el funcionamiento del sistema de generación considerando el efecto del tipo de circuito de generación.

Un circuito de generación puede incluir conexiones de mezcla, recirculación o colector. Por tanto, el caudal y las temperaturas del circuito de generación²⁵ pueden diferir del caudal y las temperaturas del generador (caldera).

Tipo de caldera	Año de fabricación	C ₁ %	C ₂ %	C ₃ %	C ₄ %	T _{CLF,gnr,min} °C
Calderas de cambio de combustible	Antes de 1978	77	2	70	3	50 °C
	Entre 1978 y 1987	79	2	74	3	
Calderas de combustible sólido (combustible fósil)	Antes de 1978	78	2	72	3	
	Entre 1978 y 1994	80	2	75	3	
	Después de 1994	81	2	77	3	
Calderas estándar						
Calderas de gas atmosféricas	Antes de 1978	79,5	2	76	3	50 °C
	Entre 1978 y 1994	82,5	2	78	3	
	Después de 1994	85	2	81,5	3	

²⁵ gnr para los valores de la caldera (generador); gen para los valores del circuito de generación.

Tipo de caldera	Año de fabricación	C ₁ %	C ₂ %	C ₃ %	C ₄ %	T _{CLF,gnr,min} °C
Calderas de calefacción con quemador de tiro forzado	Antes de 1978	80	2	75	3	50 °C
	Entre 1978 y 1986	82	2	77,5	3	
	Entre 1987 y 1994	84	2	80	3	
	Después de 1994	85	2	81,5	3	
Sustitución del quemador (solo caldera de calefacción con quemador de tiro forzado)	Antes de 1978	82,5	2	78	3	
	Entre 1978 y 1994	84	2	80	3	
Calderas de baja temperatura						
Calderas de gas atmosféricas	Entre 1978 y 1994	85,5	1,5	86	1,5	35 °C
	Después de 1994	88,5	1,5	89	1,5	
Calentador de agua de circulación (11 kW, 18 kW y 24 kW)	Antes de 1987	86	0	84	0	
	Entre 1987 y 1992	88	0	84	0	
Calderas de calefacción con quemador de tiro forzado	Antes de 1987	84	1,5	82	1,5	
	Entre 1987 y 1994	86	1,5	86	1,5	
	Después de 1994	88,5	1,5	89	1,5	
Sustitución del quemador (solo caldera de calefacción con quemador de tiro forzado)	Antes de 1987	86	1,5	85	1,5	
	Entre 1987 y 1994	86	1,5	86	1,5	
Calderas de condensación						
Calderas de condensación	Antes de 1987	89	1	95	1	20 °C
	Entre 1987 y 1994	91	1	97,5	1	
	Después de 1994	92	1	98,0	1	
Calderas de condensación, mejoradas ¹	Desde 1999	94	1	10,3	1	

¹ Si los valores normalizados para «calderas de condensación mejoradas» se utilizan para los cálculos, el valor del producto para la caldera instalada debe presentar al menos la eficiencia dada anteriormente.

Tabla 5.45. Valores por defecto de C₁, C₂, C₃ y C₄

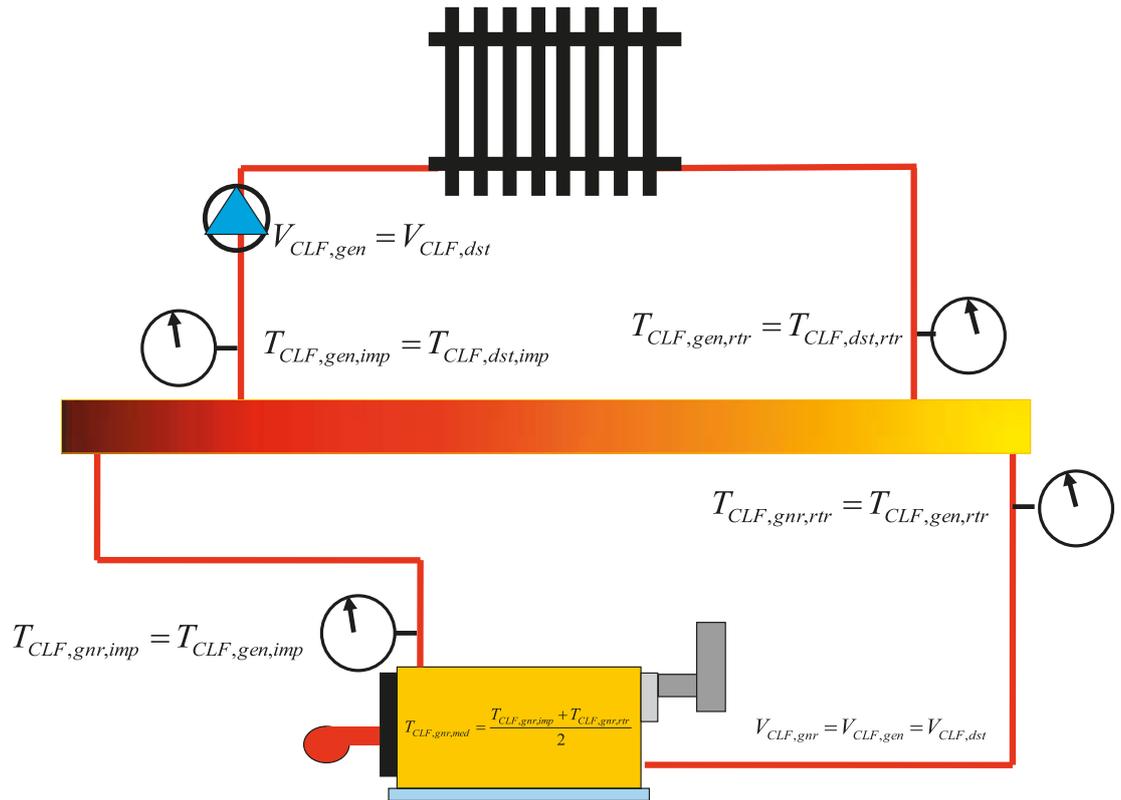
Si el caudal de la caldera V_{CLF,gnr} es el mismo que el caudal del circuito de generación V_{CLF,gen} entonces (V_{CLF,gnr} = V_{CLF,gen}):

$$V_{CLF,gnr} = V_{CLF,gen} = V_{CLF,dst} \tag{5-116}$$

$$T_{CLF,gnr,imp} = T_{CLF,gen,imp} = T_{CLF,dstimp} \tag{5-117}$$

$$T_{CLF,gnr,rtr} = T_{CLF,gen,rtr} = T_{CLF,dst,rtr} \tag{5-118}$$

$$T_{CLF,gnr,med} = \frac{T_{CLF,gnr,imp} + T_{CLF,gnr,rtr}}{2} \tag{5-119}$$



Leyenda

- gnr Generador (caldera).
- $T_{CLF,gen,imp}$ Temperatura de impulsión del circuito de generación que es la temperatura de impulsión de distribución $T_{dst,imp}$.
- $T_{CLF,gen,rtr}$ Temperatura de retorno del circuito de generación que es la temperatura de retorno de distribución $T_{dst,rtr}$.
- $V_{CLF,gen} = V_{CLF,dst}$ Caudal del circuito de generación que coincide con el caudal de distribución.
- $\Phi_{CLF,gen,sld}$ Potencia térmica del circuito de generación.
- $V_{CLF,gnr}$ Caudal de la caldera.
- $T_{CLF,gnr,imp}$ Temperatura de impulsión de la caldera.
- $T_{CLF,gnr,rtr}$ Temperatura de retorno de la caldera.
- $T_{CLF,gnr,med}$ Temperatura media del agua de la caldera.

Imagen 5.28. Temperatura impulsión, retorno y medias de generador (gnr) y sistema de generación (gen).

$$V_{CLF,gnr} = V_{CLF,gen}$$

Si el caudal de la caldera $V_{CLF,gnr}$ es mayor que el caudal del circuito de generación $V_{CLF,gen}$ entonces ($V_{CLF,gnr} > V_{CLF,gen}$):

$$T_{CLF,gnr,imp} = T_{CLF,gen,imp} = T_{CLF,dst,imp} \tag{5-120}$$

$$T_{CLF,gnr,rtr} = \max \left(T_{CLF,gen,rtr}; T_{CLF,gnr,imp} - \frac{\Phi_{gnr,sld}}{\rho_{agua} \cdot c_{e,agua} \cdot V_{CLF,gnr}} \right) \tag{5-121}$$

$$T_{CLF,gnr,med} = \frac{T_{CLF,gnr,imp} + T_{CLF,gnr,rtr}}{2} \tag{5-122}$$

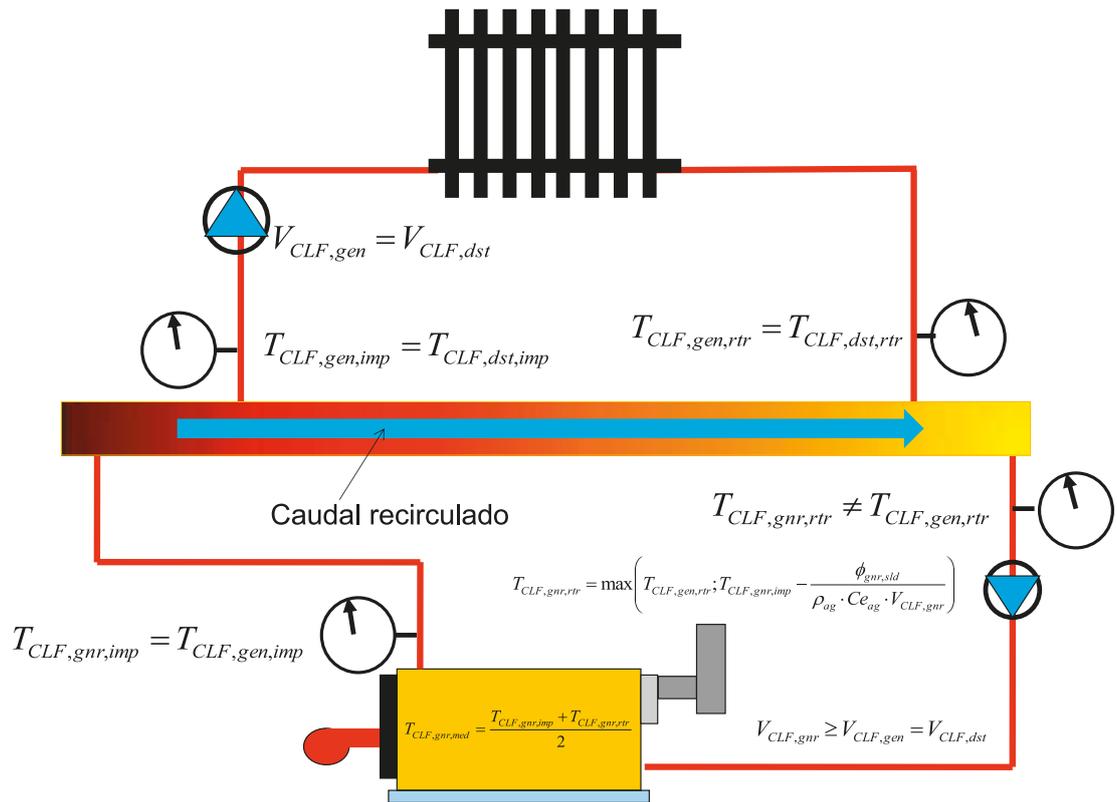


Imagen 5.29. Temperatura impulsión, retorno y medias de generador (gnr) y sistema de generación (gen).

$$V_{CLF,gnr} \geq V_{CLF,gen}$$

Si el caudal de la caldera $V_{CLF,gnr}$ es menor que el caudal del circuito de generación $V_{CLF,gen}$ entonces ($V_{CLF,gnr} < V_{CLF,gen}$):

$$T_{CLF,gnr,rtr} = T_{CLF,gen,rtr} = T_{CLF,dst,rtr} \quad 5-123$$

$$T_{CLF,gnr,imp} = \max\left(T_{CLF,gen,imp}; T_{CLF,gnr,rtr} - \frac{\Phi_{gnr,sld}}{\rho_{ag} \cdot Ce_{ag} \cdot V_{CLF,gnr}}\right) \quad 5-124$$

$$T_{CLF,gnr,med} = \frac{T_{CLF,gnr,imp} + T_{CLF,gnr,rtr}}{2} \quad 5-125$$

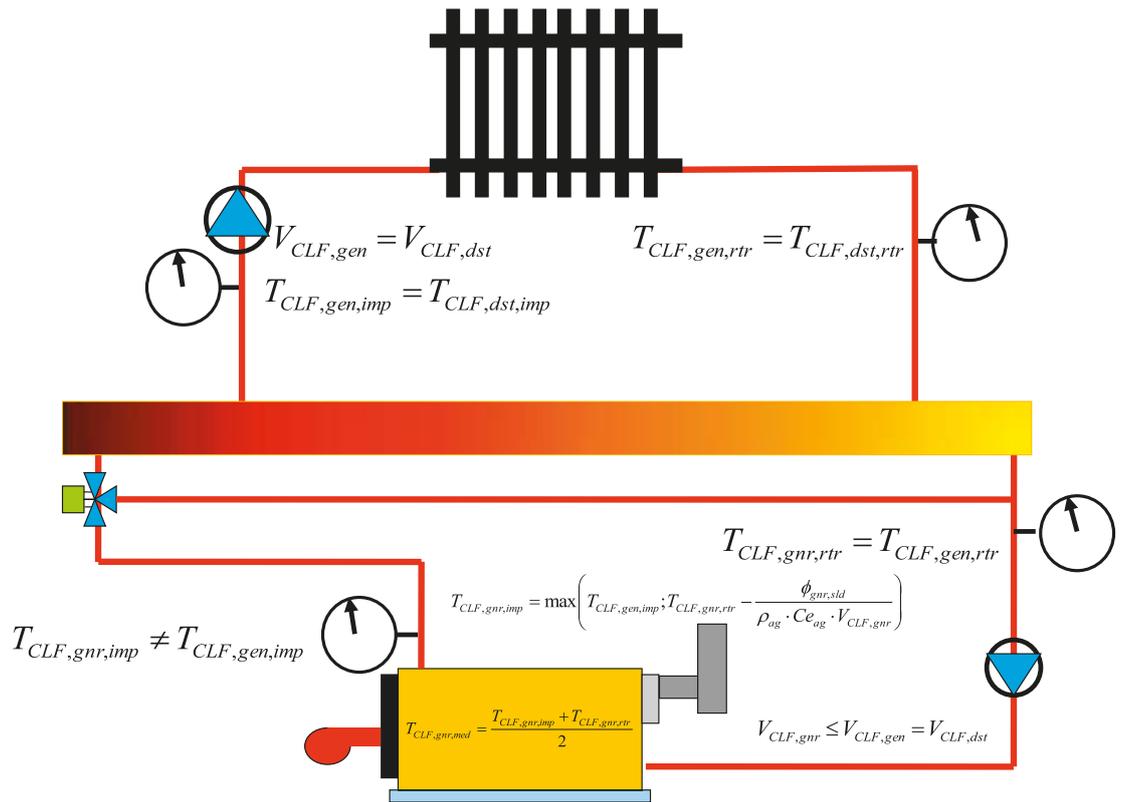


Imagen 5.30. Temperatura impulsión, retorno y medias de generador (gnr) y sistema de generación (gen).
 $V_{CLF,gnr} \leq V_{CLF,gen}$

Si más de una caldera está conectada en paralelo se calcula primero, como en el caso anterior, $T_{CLF,gnr,imp}$, $T_{CLF,gnr,rtr}$ utilizando el caudal total y la potencia térmica total. A continuación se calcula la temperatura de impulsión de cada caldera:

$$T_{CLF,gnr,imp,i} = T_{CLF,gnr,rtr} + \frac{\Phi_{gnr,sld,i}}{\rho_{agua} \cdot C_{e_{agua}} \cdot V_{CLF,gnr,i}} \tag{5-126}$$

$$T_{CLF,gnr,rtr,i} = T_{CLF,gnr,rtr} \tag{5-127}$$

donde

- ρ_{agua} Densidad del agua.
- $C_{e_{agua}}$ Calor específico del agua.
- $\Phi_{gnr,sld}$ Potencia térmica de la caldera.

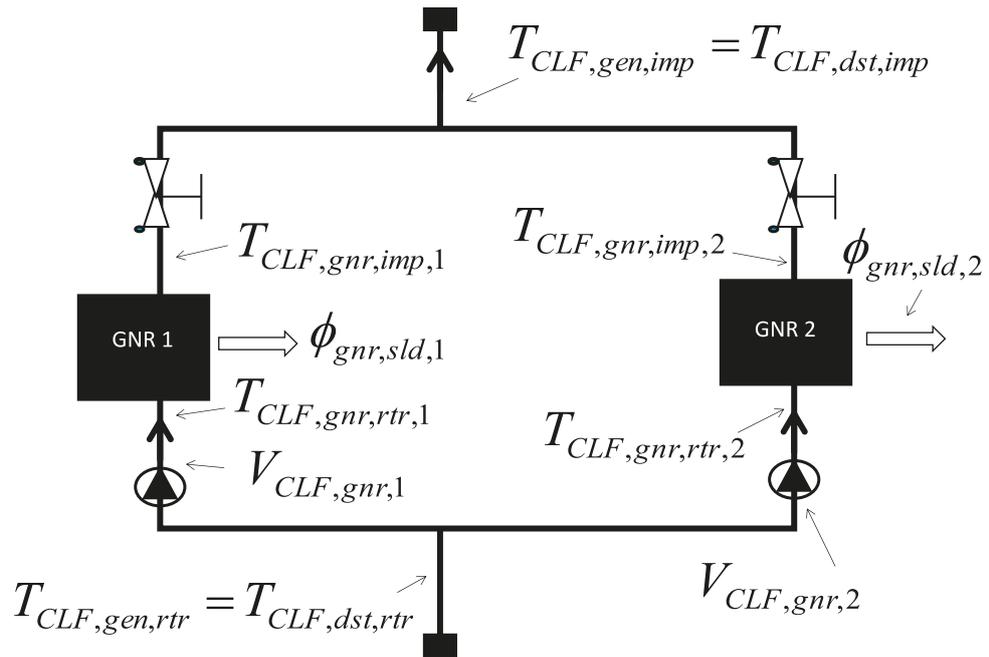


Imagen 5.31. Más de una caldera está conectada en paralelo

5.3.3. Método cíclico

Este tercer método distingue las pérdidas de un generador que se producen durante el periodo de disposición de la caldera que cubre los ciclos de funcionamiento y el periodo con el quemador apagado (arranques y paradas). Este método se adapta bien a los edificios existentes (pueden medirse *in situ* algunos de los parámetros) o a los edificios de nueva construcción (valores teóricos) y tiene en cuenta la recuperación del calor de condensación de acuerdo con las condiciones de operación reales.

En este método de cálculo se diferencian bien los periodos de cálculo cuando la caldera está encendida ($t_{CLF,ON}$) y cuando la caldera está parada pero en disposición de dar calor ($t_{CLF,OFF}$).

El balance energético del subsistema de generación es:

$$Q_{CLF,gen,sld} = Q_{CLF,cmb} + Q_{CLF,gen,aux,bmb,rcp} + Q_{CLF,gen,aux,qmd,rcp} - (Q_{CLF,chl,ON} + Q_{CLF,chl,OFF} + Q_{CLF,env}) \quad 5-128$$

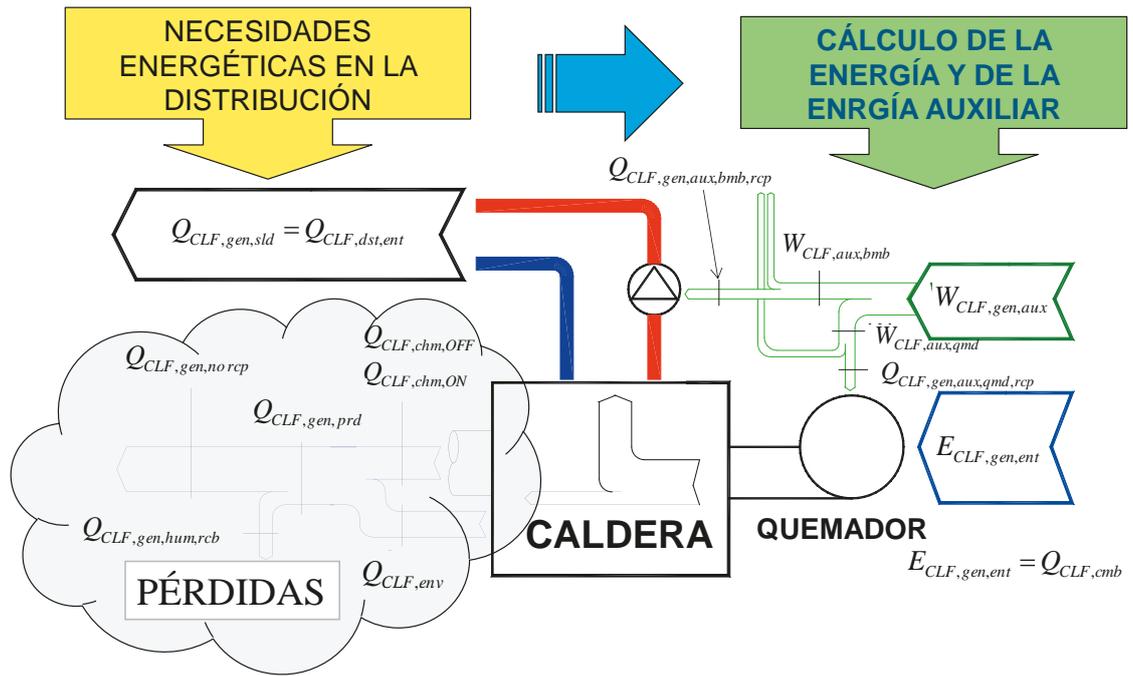


Imagen 5.32. Balance de energía en el ciclo de generación

Los datos deberían declararse por el fabricante o medirse, cuando sea aplicable. Si no están disponibles datos declarados o medidos, deben tomarse los facilitados por defecto. El generador de calor se caracteriza por los siguientes valores:

- $\Phi_{CLF,cmb}$ Potencia de combustión del generador, que es la potencia de referencia para $\alpha_{CLF,chn,ON}$ (tanto el valor de diseño como el real).
- $\Phi_{CLF,rfr}$ Potencia de referencia para los factores de pérdida de calor $\alpha_{CLF,chn,OFF}$ y $\alpha_{CLF,env}$ (normalmente²⁶ $\Phi_{CLF,rfr} = \Phi_{CLF,cmb}$).
- $\alpha_{CLF,chn,ON}$, $\alpha_{CLF,chn,OFF}$ y $\alpha_{CLF,env}$ factores de pérdida de calor en las condiciones de ensayo.
- $P_{CLF,qmd}$ Consumo de energía eléctrica de los aparatos auxiliares (antes del generador).
- $k_{CLF,qmd}$ Factor de recuperación de P_{qmd} .
- $P_{CLF,bmb}$ Consumo de energía eléctrica de los aparatos auxiliares (después del generador).
- $k_{CLF,bmb}$ Factor de recuperación de P_{bmb} .
- $T_{CLF,gnr,ens,med}$ Temperatura media del agua de la caldera en las condiciones de ensayo para $\alpha_{CLF,chn,ON}$.
- $T_{sdc,ens}$ Temperatura de la sala de ensayo para $\alpha_{chn,OFF}$ y α_{env} .

²⁶ Φ_{rfr} se mantiene formalmente separado de Φ_{cmb} para mejorar la claridad de las fórmulas y para permitir la utilización de los datos de medición cuando estén disponibles.

- $\Delta T_{CLF,gnr,ens} = T_{CLF,gnr,med,ens} - T_{sd,ens}$ En las condiciones de ensayo para $\alpha_{chm,OFF}$ y α_{env} .
- $n_{CLF,chm,ON}$, $n_{CLF,chm,OFF}$ y $n_{CLF,env}$ Exponentes para la corrección de los factores de pérdida de calor.

Para las calderas multietapas o modulantes se requieren los siguientes datos adicionales:

- $\Phi_{CLF,cmb,min}$ Potencia de combustión mínima del generador.
- $\alpha_{CLF,chm,ON,min}$ Factor de pérdida de calor $\alpha_{CLF,chm,ON}$ a la potencia de combustión mínima $\Phi_{CLF,cmb,min}$.
- $P_{CLF,qmd,min}$ Consumo de energía eléctrica de los aparatos auxiliares (antes del generador) a la potencia de combustión mínima $\Phi_{cmb,min}$.

Para las calderas de condensación se requieren los siguientes datos adicionales:

- $\Delta T_{CLF,hum-rtr}$ Diferencia de temperatura entre la temperatura de retorno del agua de la caldera y la temperatura del gas de combustión.
- $X_{CLF,O2,hum,scs}$ Contenido de oxígeno del gas de combustión seco.

Para las calderas de condensación multietapas o modulantes se requieren los siguientes datos adicionales:

- $\Delta T_{CLF,hum-rtr,min}$ Diferencia de temperatura entre la temperatura de retorno del agua de la caldera y la temperatura del gas de combustión a la potencia mínima de combustión.
- $X_{CLF,O2,hum,scs,min}$ Contenido de oxígeno del gas de combustión seco a la potencia mínima de combustión.

5.3.3.1. Cálculo de la energía auxiliar en el subsistema de generación

La energía auxiliar total requerida por el subsistema de generación $W_{CLF,gen,aux}$ se da mediante:

$$W_{CLF,gen,aux} = \sum_i P_{CLF,gnr,aux,i} \cdot t_{CLF,ON,i} \quad (\text{kWh}) \quad 5-129$$

donde $P_{CLF,gnr,aux}$ (kW) dispositivos antes (el quemador) y después (bombas de circulación del circuito primario) de la cámara de combustión $P_{CLF,qmd}$ y $P_{CLF,bmb}$ respectivamente.

La energía auxiliar de los dispositivos j antes de la cámara de combustión (ejemplos de estos aparatos auxiliares son el ventilador de aire de combustión, la bomba de combustible, los calentadores de combustible) que se convierte a calor y se recupera, se da mediante:

$$Q_{CLF,gen,aux,qmd,rcp} = \sum_j P_{CLF,qmd,j} \cdot t_{CLF,ON,j} \cdot k_{CLF,qmd} \quad (\text{kWh}) \quad 5-130$$

donde $k_{CLF,qmd}$ es el factor de recuperación de energía auxiliar. Parte de la energía eléctrica es convertida en calor y recuperada hacia el sistema antes de la cámara de combustión. Su valor por defecto es de 0,8.

Si $t_{CLF,ON,j} = t_{CLF,ON}$ para todos los dispositivos j y asumiendo $P_{CLF,qmd} = \sum P_{CLF,qmd,j}$

$$Q_{CLF,gen,aux,qmd,rcp} = P_{CLF,qmd} \cdot t_{CLF,ON} \cdot k_{CLF,qmd} \tag{kWh} \text{ 5-131}$$

La energía auxiliar de los dispositivos k después de la cámara de combustión (es decir bomba primaria) que se convierte en calor y se recupera hacia el sistema se da mediante:

$$Q_{CLF,gen,aux,bmb,rcp} = \sum_k P_{CLF,bmb,k} \cdot t_{CLF,ON,k} \cdot k_{CLF,bmb} \tag{kWh} \text{ 5-132}$$

donde $k_{CLF,bmb}$ es el factor de recuperación de energía auxiliar. Parte de la energía eléctrica es convertida en calor y recuperada hacia el sistema después del generador. Su valor por defecto es de 0,8.

Si $t_{ON,k} = t_{ON}$ para todos los dispositivos k y asumiendo $P_{bmb} = \sum P_{bmb,k}$:

$$Q_{CLF,gen,aux,bmb,rcp} = P_{CLF,bmb} \cdot t_{CLF,ON} \cdot k_{CLF,bmb} \tag{5-133}$$

La energía auxiliar total requerida por el subsistema de generación $W_{CLF,gen,aux}$ se puede dar también considerando las anteriores hipótesis:

$$W_{CLF,gen,aux} = \frac{Q_{CLF,gen,aux,qmd,rcp}}{k_{CLF,qmd}} + \frac{Q_{CLF,gen,aux,bmb,rcp}}{k_{CLF,bmb}} \tag{5-134}$$

Los consumos de energía eléctrica $P_{CLF,gnr}$ pueden ser, declarados por el fabricante, medidos o valores por defecto calculados de acuerdo con los métodos expuestos a continuación²⁷:

$$P_{CLF,qmd} = c_3 + c_4 \cdot \left(\frac{\Phi_{gnr,Pn}}{1.000} \right)^n \tag{5-135}$$

$$P_{CLF,bmb} = c_3 + c_4 \cdot \left(\frac{\Phi_{gnr,Pn}}{1000} \right)^n \tag{5-136}$$

Las ecuaciones 5-135 y 5-136 son iguales, solo cambian los valores de las contantes n, C₃ y C₄.

Descripción	C ₃ W	C ₄ W	n
$P_{CLF,qmd}$ calderas de gas atmosféricas	40	0,148	1
$P_{CLF,qmd}$ quemadores de tiro forzado	0	45	0,48
$P_{CLF,qmd}$ caldera central alimentada de forma automática con pellet ¹	40	2	1
$P_{CLF,qmd}$ caldera central alimentada de forma automática con virutas de madera ¹	60	2,6	1
$P_{CLF,bmb}$ bomba primaria (todas las calderas)	100	2	1

¹ Con la utilización de encendido con ayuda del ventilador, los valores para P_n y P_{int} deben incrementarse en un 40%. Si no hay bomba primaria o si se tiene en cuenta en la parte de distribución entonces $P_{bmb} = 0$.

Tabla 5.46. Valor por defecto de C₃ y C₄ para el cálculo del consumo de energía eléctrica de los dispositivos auxiliares

²⁷ En el caso de instalaciones *in situ* la fuente de datos debe indicarse claramente en el informe de cálculo.

5.3.3.2. Cálculo de las pérdidas térmicas del subsistema de distribución

Las pérdidas térmicas del generador se dan en las condiciones de ensayo normalizadas o in situ (medidas en campo). Los valores de ensayo deben corregirse de acuerdo con las condiciones de operación reales. Esto se aplica tanto a los valores de ensayo normalizados como a las mediciones de campo.

Se analizan las pérdidas térmicas a través de la chimenea con el quemador encendido, con el quemador apagado y a través de la envolvente.

En cuanto a las pérdidas térmicas a través de la chimenea con el quemador encendido tienen en cuenta los efectos de:

- La temperatura media del agua en la caldera.
- El estado de carga.
- Ajustes del quemador (potencia y aire en exceso).

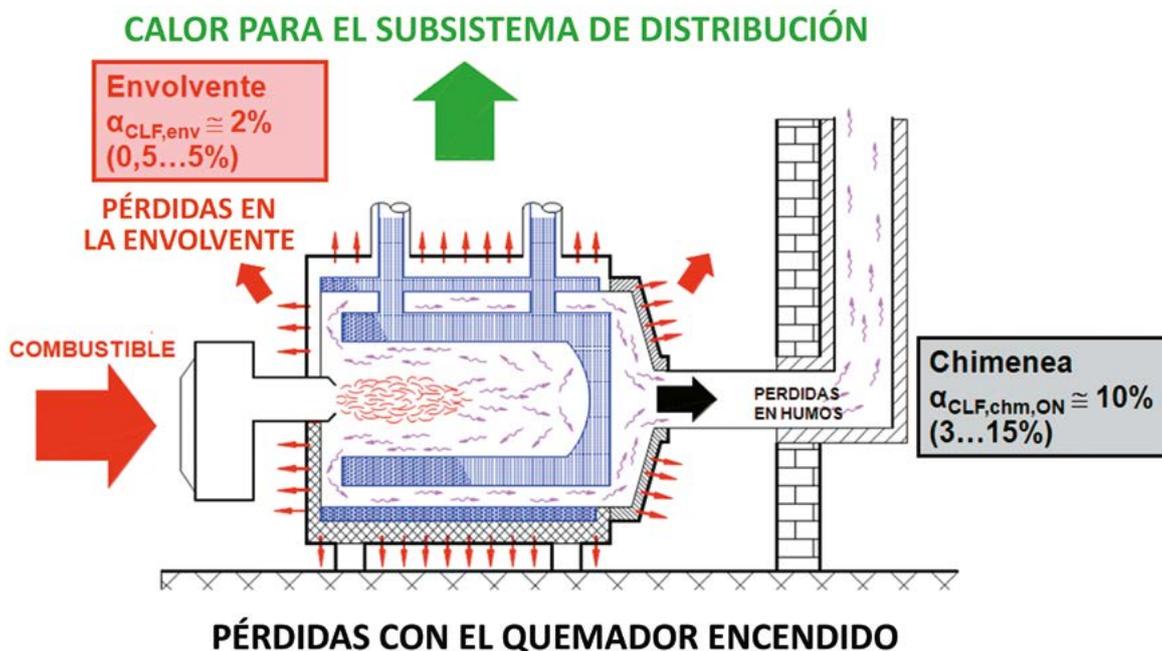


Imagen 5.33. Pérdidas térmicas con el quemador encendido

Las pérdidas térmicas a través de la chimenea con el quemador encendido $Q_{CLF, chm, ON}$ se calculan mediante:

$$Q_{CLF, chm, ON} = \frac{\alpha_{CLF, chm, ON, corr}}{100} \cdot \Phi_{CLF, cmb} \cdot t_{CLF, ON} \quad (\text{kWh}) \text{ 5-137}$$

El porcentaje de pérdidas térmicas específicas reales (corregidas) a través de la chimenea con el quemador encendido $\alpha_{CLF, chm, ON, corr}$ se dan mediante

$$\alpha_{CLF, chm, ON, corr} = \left(\alpha_{CLF, chm, ON} + \left(T_{CLF, gnr, med} - T_{CLF, gnr, ens, Pn, med} \right) \cdot f_{CLF, corr, chm, ON} \right) \cdot \left(\beta_{CLF, cmb} \right)^{n_{CLF, chm, ON}} \quad 5-138$$

donde

- $\alpha_{CLF, chm, ON}$ El porcentaje de pérdidas de calor a través de la chimenea en las condiciones de ensayo. $\alpha_{CLF, chm, ON}$ se mide con la temperatura media del agua $T_{CLF, gnr, ens, Pn, med}$ como un porcentaje de la potencia de combustión $\Phi_{CLF, cmb}$.

Para el diseño de nuevos sistemas, $\alpha_{CLF, chm, ON}$ es el valor declarado por el fabricante. Para sistemas existentes, $\alpha_{CLF, chm, ON}$ se da mediante una medida de la eficiencia de combustión. Cuando se mide la eficiencia de combustión, deben también medirse la correspondiente temperatura media del agua $T_{CLF, gnr, ens, Pn, med}$ y la potencia de combustión $\Phi_{CLF, cmb}$. Si no hay datos disponibles se puede utilizar los valores por defecto de la tabla 5.47. Su valor suele estar comprendido entre el 3 y 15%.

- $T_{CLF, gnr, ens, Pn, med}$ Temperatura media del agua en la caldera en condiciones de ensayo (media de la temperatura de impulsión y retorno, normalmente la temperatura de impulsión es de 80 °C, la temperatura de retorno de 60 °C). Para el diseño de nuevos sistemas, $T_{CLF, gnr, ens, Pn, med}$ es el valor declarado por el fabricante. Para sistemas existentes, $T_{CLF, gnr, ens, Pn, med}$ se mide junto con la eficiencia de combustión.

Para las calderas de condensación, debe utilizarse la temperatura del agua de retorno en las condiciones de ensayo $T_{CLF, gnr, ens, rtr}$ en la ecuación anterior, en lugar de la temperatura media del agua $T_{CLF, gnr, ens, Pn, med}$.

Si no hay datos disponibles se puede utilizar los valores por defecto de la tabla 5.47

- $T_{CLF, gnr, med}$ Temperatura media del agua en la caldera en las condiciones de operación (media de la temperatura de flujo y retorno).

Para las calderas de condensación, debe utilizarse la temperatura del agua de retorno $T_{CLF, gnr, rtr}$ en la ecuación anterior en lugar de la temperatura media del agua $T_{CLF, gnr, med}$.

- $f_{corr, chm, ON}$ Factor de corrección para $\alpha_{CLF, chm, ON}$. En la tabla 5.47 se dan valores por defecto.
- $n_{CLF, chm, ON}$ Exponente para el factor de carga Φ_{cmb} . En la tabla 5.48 se dan valores por defecto.
- $\beta_{CLF, cmb}$ Factor de carga, relación entre el tiempo con el quemador encendido y el tiempo total de operación del generador (en funcionamiento y en espera):

$$\beta_{CLF, cmb} = \frac{t_{CLF, ON}}{t_{CLF, ON-OFF}} = \frac{t_{CLF, ON}}{t_{CLF, ON} + t_{CLF, OFF}} \Rightarrow t_{CLF, ON} = \beta_{CLF, cmb} \cdot t_{CLF, ON-OFF} \quad 5-139$$

En los cálculos teóricos el factor de carga $\beta_{CLF, cmb}$ debe calcularse de acuerdo con la energía $Q_{CLF, gen, sid}$ a suministrar por el subsistema de generación que se obtiene por iteración y en los sistemas existentes se debe medir (por ejemplo, con cronómetros).

La ecuación 5.138 no incluye el efecto de ninguna recuperación de calor latente del vapor de agua de los humos de combustión. Esto se realiza de forma separada.

La ecuación anterior no tiene en cuenta explícitamente el efecto de la variación de la potencia de combustión $\Phi_{CLF,comb}$. Si la potencia de combustión se reduce significativamente, debe seguirse el procedimiento para los sistemas existentes (es decir, $\alpha_{CLF,chl,ON}$ debe medirse).

Descripción	$T_{CLF,gnr,ens,Pn,med}$ °C	$\alpha_{CLF,chl,ON}$ %	$f_{CLF,corr,chl,ON}$ %/°C
Caldera atmosférica	70	12	0,045
Caldera de gas de tiro forzado	70	10	
Caldera de combustible líquido	70	11	
Caldera de condensación	60 ¹⁾	6	

¹ Temperatura de retorno para las calderas de condensación.

La ecuación 5.138 no tiene en cuenta explícitamente el efecto de la variación de la relación aire/combustible. La constante por defecto de 0,045 es válida para el aire en exceso normalizado ($X_{O_2}=3\%$ en los humos secos). Para los sistemas existentes, la relación aire/combustible contribuye a $\alpha_{CLF,chl,ON}$ si se requiere, la constante 0,045 puede recalcularse de acuerdo con la relación aire/combustible real.

Tabla 5.47. Valor por defecto de $T_{CLF,gnr,ens,Pn,med}$, $\alpha_{CLF,chl,ON}$ y $f_{CLF,corr,chl,ON}$

Descripción	$c_{mas,chl,ON}$ kg/kW	$n_{CLF,chl,ON}$ -
Caldera montada en la pared	< 1	0,05
Caldera de acero	1 a 2	0,10
Caldera de fundición	> 2	0,15

Nota: $c_{mas,chl,ON}$ es la relación entre la masa de la superficie de intercambio de calor entre el gas de combustión y el agua y la potencia de combustión nominal en kg/kW. Un incremento del valor de $n_{CLF,chl,ON}$ corresponde a un valor mayor de $c_{mas,chl,ON}$.

Tabla 5.48. Valor por defecto del exponente $n_{chl,ON}$

Las pérdidas térmicas a través de la cubierta del generador $Q_{CLF,env}$ se dan mediante (pérdidas en parada y en funcionamiento):

$$Q_{CLF,env} = \frac{\alpha_{CLF,env,corr}}{100} \cdot \Phi_{CLF,fr} \cdot (t_{CLF,ON} + t_{CLF,OFF}) = Q_{CLF,env,ON} + Q_{CLF,env,OFF} \quad (\text{kWh}) \quad 5-140$$

El porcentaje de pérdidas térmicas específicas reales a través de la cubierta del generador $\alpha_{CLF,env,corr}$ se dan mediante:

$$\alpha_{CLF,env,corr} = \alpha_{CLF,env} \cdot k_{CLF,env,rcp} \cdot \frac{(T_{CLF,gnr,med} - T_{sdc})}{(T_{CLF,gnr,ens,Pn,med} - T_{sdc,ens})} \cdot (\beta_{CLF,comb})^{n_{CLF,env}} =$$

$$= \alpha_{CLF,env,ON,corr} + \alpha_{CLF,env,OFF,corr} \quad 5-141$$

donde (en $T_{CLF,gnr,med}$ y $T_{CLF,gnr,ens,Pn,med}$ no se utiliza la temperatura de retorno aunque sea una caldera de condensación).

- $\alpha_{CLF,env}$ Porcentaje de pérdidas de calor a través de la envolvente del generador en las condiciones de ensayo como fracción de la potencia de referencia $\Phi_{CLF,rfr}$ (normalmente la potencia de combustión nominal del generador $\Phi_{CLF,cmb}$). Para el diseño de nuevos sistemas, $\alpha_{CLF,env}$ es el valor declarado por el fabricante. Si no hay datos disponibles se facilitan valores por defecto en función de la potencia nominal. Su valor suele estar comprendido entre el 0,5 y 5%.

$$\alpha_{CLF,env} = C_1 - C_2 \cdot \log\left(\frac{\Phi_{CLF,rfr}}{1.000}\right)$$

5-142

$\Phi_{CLF,rfr}$ en kW.

Tipo de aislamiento de la caldera	C_1 %	C_2 %
Caldera nueva de alta eficiencia bien aislada	1,72	0,44
Bien aislada y mantenida	3,45	0,88
Caldera vieja con aislamiento medio	6,90	1,76
Caldera vieja, aislamiento pobre	8,36	2,20
Sin aislamiento	10,35	2,64

Tabla 5.49. Valor por defecto del exponente C_1 y C_2

- $k_{CLF,env,rcp}$ Factor de reducción teniendo en cuenta la localización del generador. $k_{env,rcp}$ tiene en cuenta la recuperación de las pérdidas térmicas como una reducción de las pérdidas totales. Se dan en la tabla 5.51 valores por defecto.
- $n_{CLF,env}$ Exponente para el factor de carga $\beta_{CLF,cmb}$. En la tabla 5.50 se dan valores por defecto para este exponente dependiendo del parámetro c_{ge} , definido como la relación entre el peso total de la caldera (metal+materiales refractarios+materiales de aislamiento) y la potencia de combustión nominal $\Phi_{CLF,cmb}$ de la caldera en kg/kW.

Descripción	c_{ge} kg/kW	$n_{CLF,env}$ -
La bomba primaria está siempre funcionando		0
La bomba primaria se para cuando el quemador se apaga y ambos están controlados por el termostato de la sala: - caldera montada en la pared - caldera de acero - caldera de fundición	< 1 1 a 3 > 3	0,15 0,10 0,05

El exponente $n_{CLF,env}$ tiene en cuenta la reducción de las pérdidas de calor a través de la cubierta del generador si se permite que el generador se enfríe durante el periodo de espera. Esta reducción se aplica solo a la opción de control específico, donde el termostato de la sala para directamente el quemador y la bomba de circulación (en serie con el termostato de la caldera, solución adoptada solo en sistemas pequeños). En el resto de casos $n_{CLF,env} = 0$ (se inhibe esta corrección).

Tabla 5.50. El valor por defecto del exponente $n_{CLF,env}$

Tipo de caldera y localización	$k_{CLF,env,rcp}$ -	$T_{sdc,ens}$ °C	T_{sdc} °C
Caldera instalada dentro del local calentado	0,1	20	20
Caldera atmosférica instalada dentro del local calentado	0,2		20
Caldera instalada dentro de una sala de caldera	0,7		13
Bajo techo	0,8		5
Caldera instalada en el exterior	1		Temperatura externa

El valor por defecto $T_{CLF,gnr,ens,Pn,med}$ es de 70°C.

Tabla 5.51. Valor por defecto del factor $k_{CLF,env,rcp}$ y la temperatura de la sala de instalación $T_{sdc,ens}$

Se asume que las pérdidas de calor a través de la cubierta están relacionadas con la diferencia de temperatura entre la temperatura media del agua en la caldera y la temperatura de los alrededores de la caldera.

Las pérdidas térmicas a través de la chimenea con el quemador apagado $Q_{CLF,chn,OFF}$ se dan mediante:

$$Q_{CLF,chn,OFF} = \frac{\alpha_{CLF,chn,OFF,corr}}{100} \cdot \phi_{CLF,jfr} \cdot t_{CLF,OFF} \tag{5-143}$$

El porcentaje de pérdidas térmicas a través de la chimenea con el quemador apagado $\alpha_{CLF,chn,OFF,corr}$ tiene en cuenta el efecto del tiro de la chimenea, que produce un flujo de aire frío a través de la caldera cuando el quemador está apagado.

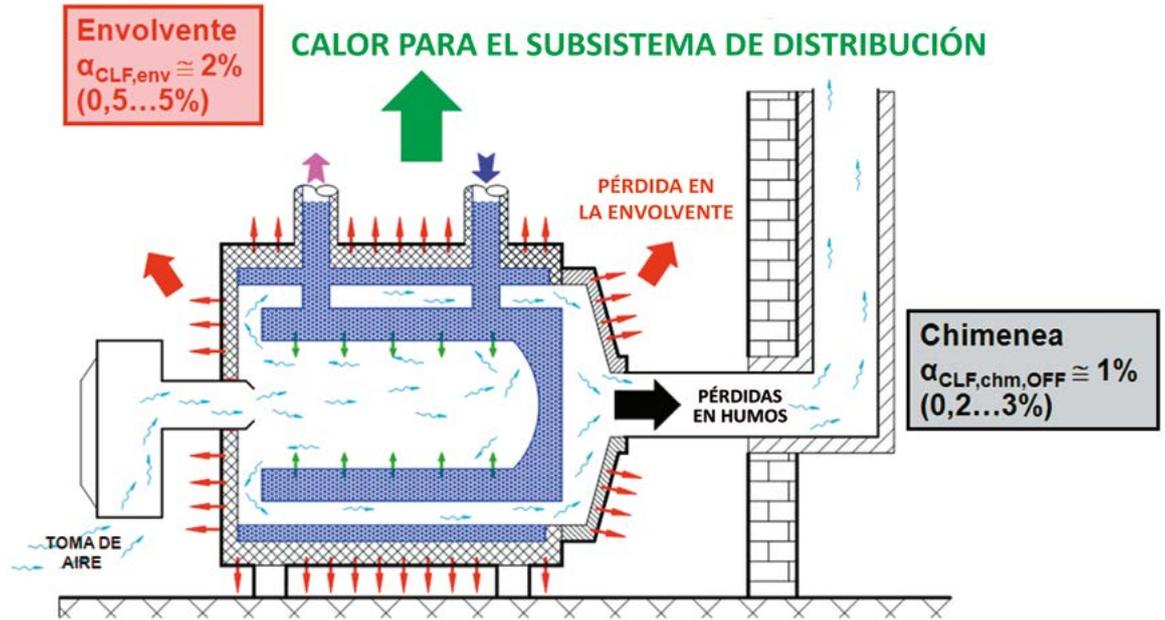


Imagen 5.34. Pérdidas con el quemador apagado

Para determinarlas se requiere una corrección de acuerdo con la temperatura media del agua en la caldera y la temperatura de la sala de la caldera. Se requiere una segunda corrección cuando el termostato de la sala apaga la bomba de circulación al mismo tiempo que el quemador. Con esta opción de control, la temperatura media real del agua de la caldera disminuye con el factor de carga. Durante cada periodo de apagado del quemador, la energía máxima que puede perderse es el calor almacenado en la caldera (en su masa y en el agua), es decir en función de su capacidad calorífica.

Por todo el porcentaje de pérdidas térmicas específicas reales a través de la chimenea con el quemador apagado $\alpha_{CLF,chm,OFF,corr}$ se dan mediante:

$$\alpha_{CLF,chm,OFF,corr} = \alpha_{CLF,chm,OFF} \cdot \frac{(T_{CLF,gnr,med} - T_{sdc})}{(T_{CLF,gnr,ens,med} - T_{sdc,ens})} \cdot (\beta_{CLF,cmb})^{n_{CLF,chm,OFF}} \tag{5-144}$$

donde (en $T_{CLF,gnr,med}$ y $T_{CLF,gnr,ens,Pn,med}$ no se utiliza la temperatura de retorno aunque sea una caldera de condensación):

- $\alpha_{CLF,chm,OFF}$ Porcentaje de pérdidas de calor a través de la chimenea cuando el quemador está apagado en las condiciones de ensayo como porcentaje de la potencia de referencia $\Phi_{CLF,rrf}$ (normalmente igual a la potencia de combustión nominal del generador $\Phi_{CLF,rrf} = \Phi_{CLF,cmb}$). Para el diseño de nuevos sistemas, $\alpha_{CLF,chm,OFF}$ es el valor declarado por el fabricante. Para sistemas existentes, $\alpha_{CLF,chm,OFF}$ puede calcularse mediante la medición del caudal y la temperatura en la salida de los humos de combustión de la caldera.

Si no hay datos disponibles, se pueden utilizar los siguientes:

Descripción	$\alpha_{CLFchm,OFF}$ %
Caldera de combustible líquido o gaseoso con el ventilador antes de la cámara de combustión y cierre automático de la entrada de aire con el quemador apagado: Quemadores de premezcla	0,2 0,2
Caldera de gas montada en la pared con ventilador y salida del gas de combustión en la pared	4
Caldera de combustible líquido o gaseoso con el ventilador antes de la cámara de combustión y sin cierre de la entrada de aire con el quemador apagado: – Altura de chimenea ≤ 10 m – Altura de chimenea > 10 m	1,0 1,2
Caldera de gas atmosférica: – Altura de chimenea ≤ 10 m – Altura de chimenea > 10 m	1,2 1,6

Tabla 5.52. Valor por defecto de $\alpha_{CLFchm,OFF}$

- $n_{CLF, chm, OFF}$ Exponente para el factor de carga $\beta_{CLF, cmb}$. Se dan valores por defecto para este exponente dependiendo del parámetro $c_{chm, OFF}$, definido como la relación entre el peso total de la caldera (metal + materiales refractarios + materiales de aislamiento) y la potencia de combustión nominal de la caldera en kg/kW.

Descripción	$c_{chm, OFF}$ kg/kW	$n_{CLF, chm, OFF}$ –
La bomba primaria está siempre funcionando		0
La bomba primaria se para cuando el quemador se apaga y ambos están controlados por el termostato de la sala: – caldera montada en la pared – caldera de acero – caldera de fundición	< 1 1 a 3 > 3	0,15 0,10 0,05

Tabla 5.53. Valor por defecto del exponente $n_{CLF, chm, OFF}$

- $T_{sdc, ens}$ Temperatura de la sala de ensayo. Los valores por defecto se dan en la tabla 5.51.
- T_{sdc} Temperatura real de la sala donde está instalado el generador. Los valores por defecto se dan en la tabla 5.51.

5.3.3.3. Generadores de una etapa

Para los generadores de calor de una única etapa se seguirá el procedimiento descrito a continuación:

- Se determina la potencia térmica total $Q_{CLF, gen, sld}$ del subsistema de generación, que es igual a $Q_{CLF, dst, ent}$, calor total a suministrar al subsistema de distribución en el periodo de cálculo.

Para subsistemas de distribución y/o generación múltiples interconectados, se consulta los apartados siguientes y después se continúa con este procedimiento utilizando $Q_{CLF,gen,sld,i}$ para cada generador.

b) Se determina el tiempo total t_{ON-OFF} de operación del generador ($t_{CLF,ON-OFF} = t_{CLF,ON} + t_{CLF,OFF}$).

c) Se establece el factor de carga $\beta_{CLF,cmb} = 1$. Los cálculos requieren iteraciones aproximando el factor de carga $\beta_{CLF,cmb}$ al valor final. Si el valor de $\beta_{CLF,cmb}$ es conocido (medido en un sistema existente), se realizan los pasos d) y e), se saltan los pasos f) y g) y se continúa con el paso h) (no se requiere iteración).

d) Se determinan los valores de $\alpha_{CLF,chl,ON,corr}$, $\alpha_{CLF,chl,OFF,corr}$ y $\alpha_{CLF,env,corr}$ de acuerdo con el apartado anterior para el factor de carga actual β_{cmb} .

e) Se determinan los valores de $Q_{CLF,bmb}$, $Q_{CLF,qmd}$ y $W_{CLF,gen,aux}$ para el factor de carga actual $\beta_{CLF,cmb}$.

f) Se calcula un nuevo factor de carga $\beta_{CLF,cmb}$ mediante (recordar que normalmente $\Phi_{CLF,rfr} = \Phi_{CLF,cmb}$):

$$\beta_{CLF,cmb} = \frac{100 \cdot \frac{Q_{CLF,gen,sld} - Q_{CLF,gen,aux,bmb,rcp}}{t_{CLF,ON} \cdot \Phi_{CLF,rfr}} + \alpha_{CLF,chl,OFF,corr} + \alpha_{CLF,env,corr}}{100 \cdot \frac{\Phi_{CLF,cmb} + k_{CLF,qmd} \cdot P_{CLF,qmd}}{\Phi_{CLF,rfr}} - \frac{\Phi_{CLF,cmb}}{\Phi_{CLF,rfr}} \cdot \alpha_{CLF,chl,ON,corr} + \alpha_{CLF,chl,OFF,corr}} \quad 5-145$$

g) Se repiten los pasos d), e) y f) hasta que $\beta_{CLF,cmb}$ converja. Normalmente una iteración es suficiente. Se pueden requerir más iteraciones si $\beta_{CLF,cmb}$ se aproxima a 0.

h) Se calcula la energía a suministrar por el combustible mediante:

$$E_{CLF,gen,ent} = \Phi_{CLF,cmb} \cdot t_{CLF,ON-OFF} \cdot \beta_{CLF,cmb} \quad 5-146$$

i) Se calculan las pérdidas térmicas totales mediante:

$$Q_{CLF,gen,prd,no\ rcp} = E_{CLF,gen,ent} - Q_{CLF,gen,sld} + Q_{CLF,gen,aux,qmd,rcp} + Q_{CLF,gen,aux,bmb,rcp} \quad 5-147$$

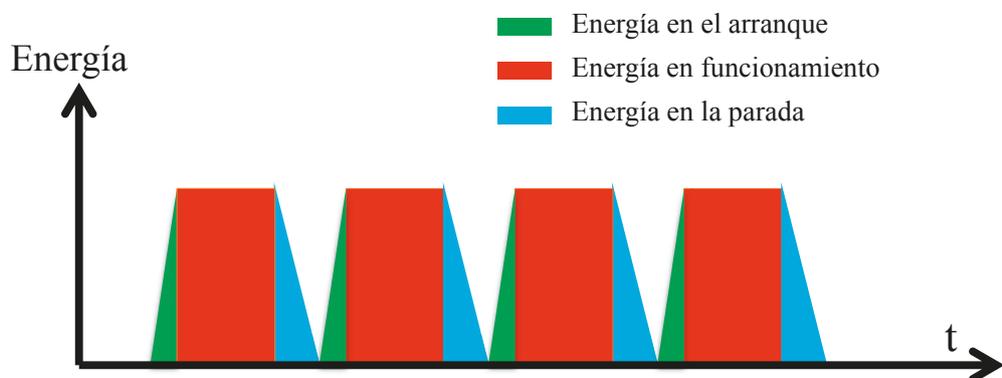


Imagen 5.35. Generadores de una etapa

No existen pérdidas térmicas recuperables, ya que la recuperación de calor se ha tenido en cuenta como una reducción de las pérdidas térmicas a través de la cubierta del generador $Q_{CLF,gen,prd,rcb} = 0$.

Se esquematiza el proceso en el siguiente gráfico en el que cada área representa las siguientes situaciones:

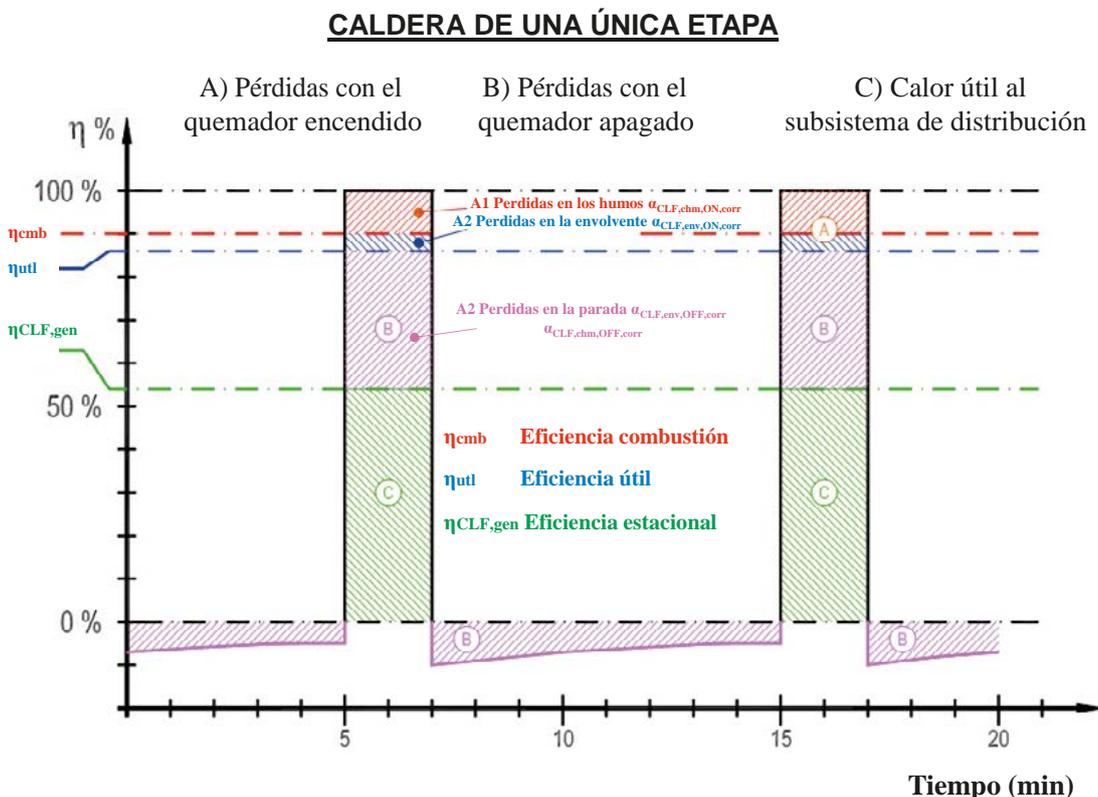


Imagen 5.36. Gasto de energía en generadores de una etapa

- Aéreas con quemador encendido ($t_{CLF,ON}$) (minutos 5 a 7 y 15 a 17):
 - Área A1+A2+B+C es el área total de energía del combustible durante el tiempo en que el quemador está encendido $t_{CLF,ON}$ (100% de la potencia de combustión multiplicada por el tiempo en $t_{CLF,ON}$).
 - Área A1 representa las pérdidas de humos durante el quemador encendido $t_{CLF,ON}$ (en sistemas existentes se puede obtener del anexo C de la norma UNE EN 15378 [5.26]).
 - Área A2 representa las pérdidas de la envolvente durante el tiempo en el que el quemador está encendido $t_{CLF,ON}$.
 - Área B + C energía total entregada al sistema de distribución durante el tiempo $t_{CLF,ON}$ y energía pérdida en la parada $t_{CLF,OFF}$.
- Aéreas con quemador apagado ($t_{CLF,OFF}$) (minutos 7 a 15).
 - Área B pérdidas en la envolvente y la chimenea durante la parada $t_{CLF,OFF}$.
 - Área C es la cantidad de calor entregada al sistema de distribución durante un ciclo $t_{CLF,ON} + t_{CLF,OFF}$.

5.3.3.4. Generadores multietapa y modulantes

Un generador multietapa o modulante se caracteriza por 3 posibles estados durante su periodo de funcionamiento:

- Quemador apagado.
- Quemador encendido a la mínima potencia.
- Quemador encendido a la máxima potencia.

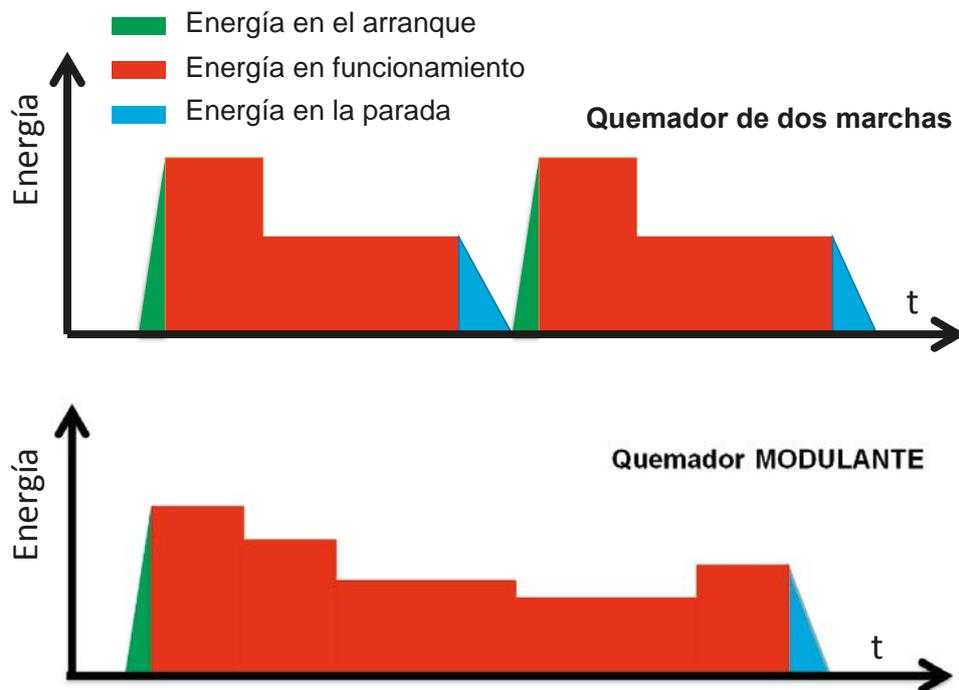


Imagen 5.37. Generadores multietapa y modulantes

La norma UNE EN 15316-4-1 [5.10] asume que solo son posibles dos situaciones:

- Si la potencia requerida por el subsistema de distribución es menor que el mínimo de la potencia de la caldera se supone que la caldera está en operación intermitentemente como un generador de etapa única a la mínima potencia. En este caso $\beta_{CLF, cmb} \leq 1$ en el primer paso iterativo. Parte izquierda imagen 5.38.
- Si la potencia requerida por el subsistema de distribución es mayor que el mínimo de la potencia de la caldera se supone que la caldera está en operación a una potencia media constante entre la potencia máxima y mínima. Sus pérdidas se calculan por interpolación entre el máximo y el mínimo. En este caso $\beta_{CLF, cmb} > 1$ en el primer paso interactivo. Parte derecha imagen 5.38.

Calderas modulantes

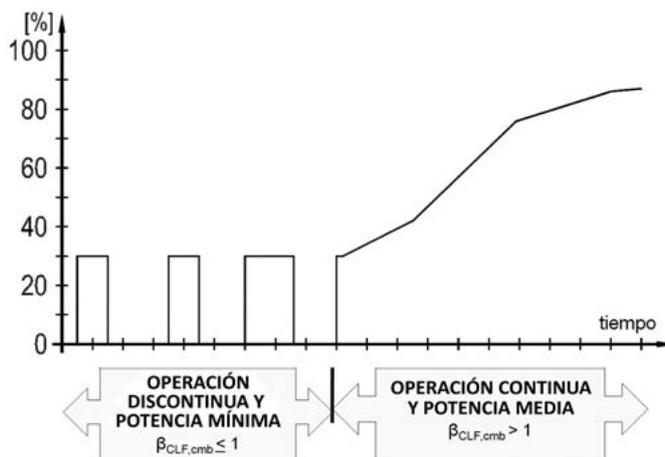


Imagen 5.38. Posibles dos situaciones generadores multietapa y modulantes

En este caso se requieren por tanto los siguientes datos adicionales para definir un generador:

- $\Phi_{CLF,cmb,min}$ Potencia de combustión mínima del generador. Si no están disponibles datos del fabricante se puede proceder de la siguiente manera:

$$\Phi_{CLF,cmb,min} = \Phi_{CLF,cmb} \cdot f_{CLF,cmb,min} \tag{5-148}$$

Descripción	$f_{CLF,cmb,min}$ (-)
Caldera de gas	0,3
Caldera de combustible líquido	0,5

Tabla 5.54. Parámetro $f_{CLF,cmb,min}$ para quemadores multietapa y modulantes

- $\alpha_{CLF,chl,ON,min}$ Porcentaje de pérdida de calor a la potencia de combustión mínima $\Phi_{CLF,cmb,min}$ como una fracción de $\Phi_{cmb,min}$. Si no están disponibles datos del fabricante se pueden obtener de la tabla 5.55.

Descripción	$T_{CLF,gnr,ens,Pmin,med}$ °C	$\alpha_{CLF,chl,ON,min}$ %
Caldera atmosférica	70	11
Caldera de gas de tiro forzado		9
Caldera de combustible líquido		10
Caldera de condensación	50 ¹	5

¹ Temperatura de retorno para las calderas de condensación.

Tabla 5.55. Valor por defecto de $T_{CLF,gnr,ens,Pmin,med}$ y $\alpha_{CLF,chl,ON,min}$

- $P_{CLF,qmd,min}$ Consumo de energía eléctrica de los aparatos auxiliares del quemador a la potencia de combustión mínima. Si no están disponibles datos del fabricante se puede obtener de la siguiente ecuación:

$$P_{CLF,qmd,min} = c_3 + c_4 \cdot \left(\frac{\Phi_{gnr,Pn}}{1000} \right)^n$$

5-149

Descripción	C_3 W	C_4 W	n -
P_{qmd} , calderas de gas atmosféricas (B_{x1} y C_{x1}) ²	20	148	1
P_{qmd} , calderas de tiro forzado ($B_{xy>1}$ y $C_{xy>1}$) ²	0	15	48
P_{qmd} , caldera central alimentada de forma automática con pellet ¹	60	18	1
P_{qmd} , caldera central alimentada de forma automática con virutas de madera ¹	70	22	1

¹ Con la utilización de encendido con ayuda del ventilador, los valores para P_n y P_{int} deben incrementarse en un 40%.

² Clasificación según UNE CEN/TR 1749 IN.

Tabla 5.56. Valor por defecto de C_3 , C_4 y n para el cálculo del consumo de energía eléctrica de los dispositivos auxiliares a la potencia de combustión mínima

Para calderas modulantes o multietapas se requieren más cosas...

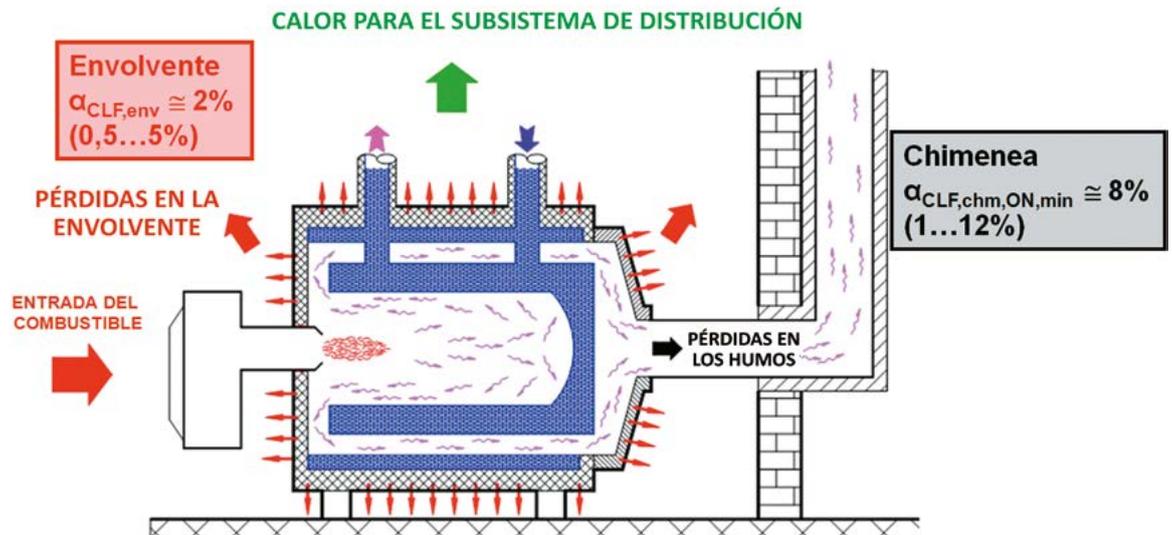


Imagen 5.39. Pérdidas con el quemador encendido a mínima potencia (calderas modulantes o multietapa). Valores típicos de potencia mínima son del 25-50% del máximo de potencia

Se supone además que los valores nominales corresponden a la potencia máxima, por tanto:

- $\Phi_{CLF,cmb,max} = \Phi_{CLF,cmb}$ potencia de combustión máxima del generador.
- $\alpha_{CLF,chl,ON,max} = \alpha_{CLF,chl,ON}$ factor de pérdida de calor a la potencia de combustión máxima $\Phi_{CLF,cmb,max}$.

El procedimiento comienza siguiendo el método descrito en el apartado anterior para los generadores de una etapa, utilizando:

- $\Phi_{CLF,cmb,min}$ en lugar de $\Phi_{CLF,cmb}$.
- $\alpha_{CLF,chl,ON,min}$ (su valor suele estar comprendido entre el 1 y 12%) en lugar de $\alpha_{CLF,chl,ON}$.
- $T_{CLF,gnr,ens,Pmin,med}$ en lugar de $T_{CLF,gnr,ens,med}$.
- $P_{CLF,qmd,min}$ en lugar de $P_{CLF,qmd}$.

Si el factor de carga $\beta_{CLF,cmb}$ converge a un valor menor o igual a 1, se sigue hasta el final el procedimiento para los generadores de una etapa.

Si el factor de carga $\beta_{CLF,cmb}$ converge a un valor mayor de 1, entonces $t_{CLF,ON} = t_{CLF,ON-OFF}$ y se calcula la potencia de combustión media $\Phi_{CLF,cmb,med}$ como sigue:

a) Se determina la potencia térmica total $Q_{CLF,gen,sld}$ del subsistema de generación, que es igual a $Q_{CLF,dst,ent}$ calor total a suministrar al subsistema de distribución en el periodo de cálculo.

Para subsistemas de distribución y/o generación múltiples interconectados, se consultan los apartados siguientes y después se continúa con este procedimiento utilizando $Q_{CLF,gen,sld,i}$ para cada generador.

b) Se calcula $\alpha_{CLF,env,corr}$ y el factor de carga $\beta_{CLF,cmb} = 1$ (no se tiene en cuenta la condensación).

c) Se calcula $\alpha_{CLF,chl,ON,min,corr}$ y $\alpha_{CLF,chl,ON,max,corr}$ y el factor de carga $\beta_{CLF,cmb} = 1$ (no se tiene en cuenta si existe la condensación).

d) Se calcula $Q_{CLF,qmd}$ y $Q_{CLF,qmd,min}$ utilizando $P_{CLF,qmd}$, $P_{CLF,qmd,min}$ y $\beta_{CLF,cmb} = 1$ (no se tiene en cuenta si existe la condensación).

e) Se comienza la iteración suponiendo que $\Phi_{CLF,cmb,med} = \Phi_{CLF,cmb} = \Phi_{CLF,cmb,max}$.

f) Se calcula $\alpha_{CLF,chl,ON,med,corr}$ mediante:

$$\alpha_{CLF,chl,ON,med,corr} = \alpha_{CLF,chl,ON,min,corr} + \left(\alpha_{CLF,chl,ON,max,corr} - \alpha_{CLF,chl,ON,min,corr} \right) \cdot \frac{\Phi_{CLF,cmb,med} - \Phi_{CLF,cmb,min}}{\Phi_{CLF,cmb,max} - \Phi_{CLF,cmb,min}} \quad 5-150$$

Si fuera una caldera de condensación hay que calcular $\alpha_{CLF,cnd}$ con los valores normales (no los mínimos) y $\alpha_{CLF,chl,ON,med,corr,cnd} = \alpha_{CLF,chl,ON,med,corr} - \alpha_{CLF,cnd}$

g) Se calcula:

$$Q_{CLF,qmd,med} = Q_{CLF,qmd,min} + \left(Q_{CLF,qmd,max} - Q_{CLF,qmd,min} \right) \cdot \frac{\Phi_{CLF,cmb,med} - \Phi_{CLF,cmb,min}}{\Phi_{CLF,cmb,max} - \Phi_{CLF,cmb,min}} \quad 5-151$$

h) Se calcula un nuevo $\Phi_{CLF,cmb,med}$:

$$\Phi_{CLF,cmb,med} = \frac{Q_{CLF,gen,sld} - Q_{CLF,bmb} - Q_{CLF,qmd,med} + \frac{\alpha_{CLF,env,corr}}{100} \cdot \Phi_{CLF,rfr}}{t_{gnr} \left(1 - \frac{\alpha_{CLF,chl,ON,med,corr}}{100} \right)} \quad 5-152$$

i) Se repiten los pasos f), g) y h) hasta que $\Phi_{CLF,cmb,med}$ converja. Normalmente una iteración es suficiente.

j) Se calcula la energía a suministrar por el combustible mediante:

$$E_{CLF,gen,ent} = \Phi_{CLF,cmb,med} \cdot t_{CLF,ON} \quad 5-153$$

k) Se calcula la potencia media de los aparatos auxiliares antes de la cámara de combustión $\Phi_{qmd,med}$ mediante:

$$\Phi_{CLF,qmd,med} = \Phi_{CLF,qmd,min} + \left(\Phi_{CLF,qmd,max} - \Phi_{CLF,qmd,min} \right) \cdot \frac{\Phi_{CLF,cmb,med} - \Phi_{CLF,cmb,min}}{\Phi_{CLF,cmb,max} - \Phi_{CLF,cmb,min}} \quad 5-154$$

l) Se calcula la energía auxiliar mediante:

$$W_{CLF,gen,aux} = t_{CLF,ON} \cdot \left(\Phi_{CLF,qmd,med} + \Phi_{CLF,bmb} \right) \quad 5-155$$

m) Se calcula la energía auxiliar recuperada mediante:

$$W_{CLF,gen,aux,rcp} = t_{CLF,ON} \cdot \left(\Phi_{CLF,qmd,med} \cdot k_{CLF,qmd} + \Phi_{CLF,bmb} \cdot k_{CLF,bmb} \right) \quad 5-156$$

n) Se calculan las pérdidas térmicas totales mediante:

$$Q_{CLF,gen,prd,no rcp} = E_{CLF,gen,ent} - Q_{CLF,gen,sld} + Q_{CLF,gen,aux,qmd,rcp} + Q_{CLF,gen,aux,bmb,rcp} \quad 5-157$$

No hay pérdidas térmicas recuperable ya que la recuperación se ha tenido en cuenta como una reducción de las pérdidas térmicas a través de la carcasa del generador $Q_{CLF,gen,prd,rcb} = 0$.

5.3.3.5. Calderas de condensación

Una caldera de condensación es una caldera que es capaz de aprovechar el calor latente del vapor de agua contenido en los humos de combustión al condensar dicho vapor, siendo transferido al fluido térmico de la caldera.

El efecto de la recuperación del calor latente de condensación se tiene en cuenta como una reducción de $\alpha_{CLF,chl,ON}$ (pérdidas a través de la chimenea con el quemador encendido) que se calcula teniendo en cuenta la temperatura de los humos de combustión y el aire en exceso.

La conexión entre la temperatura del agua de retorno²⁸ y la temperatura de los humos de combustión se caracteriza por la diferencia de temperatura entre los humos de combustión y el agua de retorno $\Delta T_{hum-rtr}$.

²⁸ Para un buen aprovechamiento del efecto de condensación es importante que el circuito de utilización se diseñe para funcionamiento a una temperatura baja.

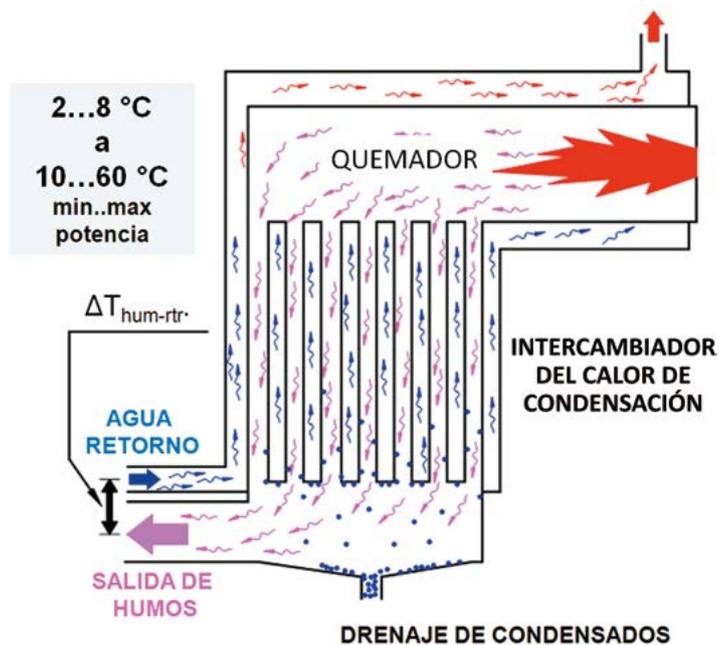


Imagen 5.40. Caldera de condensación

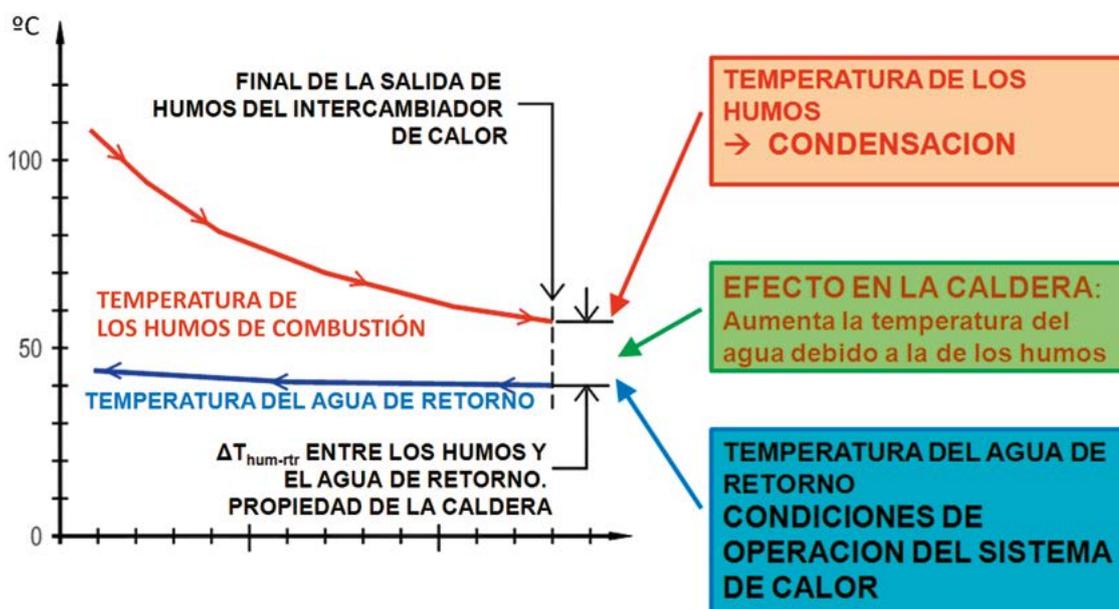


Imagen 5.41. Conexión entre la temperatura del agua de retorno y la temperatura del gas de combustión

Para calderas de condensación de una etapa (todo-nada) los datos adicionales que se necesitan son los siguientes:

- $\Delta T_{\text{hum-rtr}}$ Diferencia de temperatura entre la temperatura del agua de retorno de la caldera y la temperatura de los humos de combustión. El fabricante del aparato debería dar

el valor. Si este dato no está disponible, puede o bien medirse en un sistema existente o tomarse de la tabla 5.57.

- $X_{O_2',hum,sec}$ Contenido en oxígeno de los humos de combustión. El fabricante del aparato debe dar el valor. Si este dato no está disponible, puede o bien medirse en un sistema existente o tomarse de la tabla 5.57.

Para las calderas multietapa, $\Delta T_{hum-rtr}$ y el aire en exceso se especifican de forma separada para la potencia de combustión mínima y máxima. Se asume que $\Delta T_{hum-rtr}$ y el contenido en oxígeno $X_{O_2',hum,sec}$ (aire en exceso) varían linealmente entre la potencia de combustión mínima y máxima. Se requieren por tanto los siguientes datos adicionales:

- $\Delta T_{hum-rtr,min}$ Diferencia de temperatura entre la temperatura del agua de retorno de la caldera y la temperatura de los humos de combustión a la potencia de combustión mínima. El fabricante del aparato debe dar $\Delta T_{hum-rtr,min}$. Si este dato no está disponible, puede o bien medirse en un sistema existente o tomarse de la tabla 5.57.
- $X_{O_2',hum,sec,min}$ Contenido en oxígeno de los humos de combustión a la potencia de combustión mínima $\Phi_{CLF,cmb,min}$. El fabricante del aparato debe dar el valor. Si este dato no está disponible, puede o bien medirse en un sistema existente o tomarse de la tabla 5.57.
- $\Delta T_{hum-rtr,max}$ Diferencia de temperatura entre la temperatura del agua de retorno de la caldera y la temperatura de los humos de combustión a la potencia de combustión máxima. El fabricante del aparato debe dar este dato, si no está disponible, puede o bien medirse en un sistema existente o tomarse de la tabla 5.57 ($\Delta T_{hum-rtr}$).
- $X_{O_2',hum,sec,max}$ Contenido en oxígeno de los humos de combustión a la potencia de combustión máxima. El fabricante del aparato debe dar este valor, si este dato no está disponible, puede o bien medirse en un sistema existente o tomarse de la tabla 5.57 ($X_{O_2',hum,sec}$).

Descripción	Símbolo	Unidad	Caso	Valor
Humedad relativa del aire de combustión	X_{air}	%	Todos los casos	50
Humedad relativa del gas de combustión	X_{hum}	%	Todos los casos	100
Diferencia de temperatura entre la temperatura del agua de retorno de la caldera y la temperatura del gas de combustión	$\Delta T_{hum-rtr}$	°C	$\eta_{gnr,Pn} \geq 102$	20
			$\eta_{gnr,Pn} < 102$	60
Diferencia de temperatura entre la temperatura del agua de retorno de la caldera y la temperatura del gas de combustión a la potencia mínima	$\Delta T_{hum-rtr,min}$	°C	$\eta_{gnr,Pmin} \geq 106$	5
			$\eta_{gnr,Pn} < 106$	20
Contenido en oxígeno del gas de combustión a la potencia de combustión máxima	$X_{O_2,hum,sec}$	–	Todos los casos	6
Contenido en oxígeno del gas de combustión a la potencia de combustión mínima	$X_{O_2',hum,sec,min}$	–	Modulación tanto del aire como del gas	6
			Solo modulación del gas	15

Tabla 5.57. Valores por defecto para el cálculo de $\alpha_{CLF,cnd}$

El aumento en el rendimiento que se produce en una caldera de condensación dependerá de la composición química del combustible. Los combustibles más favorables son aquellos que tienen un mayor porcentaje de hidrógeno en su composición.

Se requieren por tanto los siguientes datos del combustible para el cálculo de la recuperación del calor latente de condensación:

- H_s Poder calorífico superior de la unidad de combustible (habitualmente en España se utiliza la abreviación PCS).
- H_i Poder calorífico inferior de la unidad de combustible (habitualmente en España se utiliza la abreviación PCI).
- $V_{air,est,sec}$ Aire seco estequiométrico como volumen normalizado por unidad de combustible ((Nm³/kg) o (Nm³/ Nm³)). Las condiciones normales son 0 °C y 1 atm.
- $V_{hum,est,sec}$ Humos secos estequiométrico (poder fumígeno) como volumen normalizado por unidad de combustible ((Nm³/kg) o (Nm³/ Nm³)).
- $m_{H_2O,est}$ Producción de agua estequiométrica por unidad de combustible ((kg/kg) o (kg/Nm³)).

La propia norma UNE EN 15316-4-1 facilita unos valores por defecto.

	Gas natural	Propano	Butano	Gasóleo C
Poder calorífico superior H_s	kWh/Nm ³			kWh/kg
	11,95	28,37	34,76	12,23
	kWh/kg			
	14,43	13,92	13,74	
Poder calorífico inferior H_i	kWh/Nm ³			kWh/kg
	10,81	26,13	32,11	11,11
	kWh/kg			
	13,05	12,82	12,69	
H_s/H_i	0,9	0,9	0,9	0,9
Densidad ρ	kg/Nm ³			kg/m ³ (máxima a15 °C)
	0,828	2,038	2,53	900
Poder comburivoro $V_{air,est,sec}$	Nm ³ /Nm ³			Nm ³ /kg
	10,34	24,61	30,23	10,65
	Nm ³ /kWh			
	0,96	0,94	0,94	0,96

	Gas natural	Propano	Butano	Gasóleo C
Poder fumígeno $V_{hum,est,sec}$	Nm ³ /Nm ³			Nm ³ /kg
	9,32	22,56	27,78	10,04
	Nm ³ /kWh			
	0,86	0,86	0,87	0,90
Producción de agua en la combustión estequiométrica $m_{H_2O,comb,est}$	kg H ₂ O/Nm ³			kg H ₂ O/kg
	1,68	3,31	3,94	1
	kg H ₂ O/kWh			
	0,16	0,13	0,12	0,09

Tabla 5.58. Datos del combustible²⁹ para el cálculo de la recuperación del calor de condensación teóricos según del DTIE 10.05 [5.27]

5.3.3.6. Procedimientos de cálculo de pérdidas energéticas del subsistema de generación

Se describen a continuación los tres procedimientos reglados para estimar las pérdidas energéticas de los generadores de combustión en función de la tipología de caldera.

a) Procedimiento de cálculo para calderas de una etapa (todo-nada)

La energía del combustible, la energía auxiliar y las pérdidas térmicas de la caldera de condensación de una etapa deben calcularse con el mismo procedimiento que el del apartado anterior donde³⁰ $\alpha_{CLF, chm, ON, corr}$ se sustituye por $\alpha_{CLF, chm, ON, cnd}$ dado mediante:

$$\alpha_{CLF, chm, ON, cnd} = \alpha_{CLF, chm, ON, corr} - \alpha_{CLF, cnd} \tag{5-158}$$

donde

- $\alpha_{CLF, cnd}$ Porcentaje de calor latente de condensación recuperado a la potencia nominal, como un porcentaje de $\Phi_{CLF, cmb}$, calculado de acuerdo al siguiente procedimiento.

Para calcular $\alpha_{CLF, cnd}$ lo primero hay que establecer la temperatura de humos (en la conexión de salida de la caldera al gas de combustión). Se calcula mediante:

$$T_{hum} = T_{CLF, gnr, rtr} + \Delta T_{hum-rtr} \tag{5-159}$$

donde

- $T_{CLF, gnr, rtr}$ Temperatura del agua de retorno de la caldera, calculada de acuerdo al apartado 5.3.2.6.

²⁹ Se reproducen los valores legislativos de España según el RD 61/2006 en uno de los anexos [5.28].

³⁰ Advertir que $\alpha_{CLF, chm, ON, cnd}$ puede ser negativo cuando los valores se basan en el poder calorífico inferior. Las pérdidas totales serán siempre positivas cuando se refieran al poder calorífico superior.

En segundo lugar hay que calcular la cantidad real de los humos de combustión seco $V_{hum,sec}$ y la cantidad real de aire de combustión seco $V_{air,sec}$:

$$V_{hum,sec} = V_{hum,est,sec} \cdot \frac{20,94}{20,94 - X_{O_2,sec}} \tag{5-160}$$

$$V_{air,sec} = V_{air,est,sec} + V_{hum,sec} - V_{hum,est,sec} \tag{5-161}$$

$V_{hum,sec} - V_{hum,est,sec}$ es el aire en exceso.

En tercer lugar hay que establecer la cantidad de agua en el aire de combustión $m_{H_2O,air}$ y en los humos $m_{H_2O,hum}$:

$$m_{H_2O,hum} = m_{H_2O,hum,str} \cdot V_{hum,sec} \cdot \frac{X_{hum}}{100} \tag{5-162}$$

$$m_{H_2O,air} = m_{H_2O,air,str} \cdot V_{air,sec} \cdot \frac{X_{air}}{100} \tag{5-163}$$

donde

- X_{air} Humedad relativa del aire de combustión. Según la tabla 5.57 el valor por defecto en todos los casos es del 50%.
- X_{hum} Humedad relativa del gas de combustión. Según la tabla 5.57 el valor por defecto en todos los casos es del 100%.

La cantidad de agua en la saturación del aire de combustión $m_{H_2O,air,str}$ y de los humos $m_{H_2O,hum,str}$ deben calcularse respectivamente para la T_{air} (temperatura del aire de combustión, la media de la temperatura mensual del recinto, se asume que es igual a la temperatura de la sala de instalación para los aparatos de tipo B³¹ o a la temperatura del aire exterior para los aparatos de tipo C³²) y T_{hum} (temperatura de los humos de combustión, puede adaptarse la temperatura media de retorno al generador) y se expresa como kg de humedad por Nm³ de aire seco o humos.

Los datos pueden encontrarse en la tabla 5.59 (debe utilizarse una interpolación lineal o polinómica para las temperaturas intermedias).

(T_{air}, T_{hum})	°C	0	10	20	30	40	50	60	70
$m_{H_2O,air,str}$ $m_{H_2O,hum,str}$	kg/Nm ³ seco	0,00493	0,00986	0,01912	0,03521	0,06331	0,11120	0,19750	0,35960

La humedad de saturación se expresa como kg de vapor de agua por Nm³ de gas seco (bien aire o gas de combustión).

Tabla 5.59. Humedad de saturación del aire y de los humos

³¹ Clasificación UNE-CEN/TR 1749 IN de 2006.

³² Clasificación UNE-CEN/TR 1749 IN de 2006.

Por último se calcula la cantidad de agua de condensación $m_{H_2O,cnd}$ mediante ($m_{H_2O,cb}$ agua que se produce en la combustión del hidrocarburo correspondiente³³):

$$m_{H_2O,cnd} = m_{H_2O,cb} + m_{H_2O,air} - m_{H_2O,hum} \quad 5-164$$

Si $m_{H_2O,cnd}$ es negativo, no hay condensación. Entonces $m_{H_2O,cnd} = 0$ y $\alpha_{CLF,cnd} = 0$.

Finalmente para calcular $\alpha_{CLF,cnd}$ es necesario conocer el calor de condensación Q_{cnd} se obtiene mediante:

$$Q_{cnd} = m_{H_2O,cnd} \cdot h_{cnd,hum} \quad 5-165$$

Donde el calor latente específico de condensación $h_{cnd,hum}$ se calcula mediante:

$$h_{cnd,hum} = 2.500.000 \frac{J}{kg} - T_{hum} \cdot 2.435 \frac{J}{kg} \text{ } ^\circ C = 694,61 \frac{Wh}{kg} - T_{hum} \cdot 0,6764 \frac{Wh}{kg} \text{ } ^\circ C \quad 5-166$$

Si el cálculo se basa en los poderes caloríficos superiores, entonces el porcentaje de calor latente de condensación recuperado $\alpha_{CLF,cnd}$ se calcula mediante:

$$\alpha_{CLF,cnd} = 100 \cdot \frac{Q_{cnd}}{H_s} \quad 5-167$$

Si el cálculo se basa en los poderes caloríficos inferiores, entonces el calor latente de condensación recuperado $\alpha_{CLF,cnd}$ se calcula mediante³⁴:

$$\alpha_{CLF,cnd} = 100 \cdot \frac{Q_{cnd}}{H_i} \quad 5-168$$

b) Procedimiento de cálculo para calderas multietapa (escalones)

Debe seguirse por tanto el procedimiento expuesto en el apartado anterior, donde $\alpha_{CLF,chl,ON,max,corr}$ y $\alpha_{CLF,chl,ON,min,corr}$ se sustituyen por $\alpha_{CLF,chl,ON,max,cnd}$ y $\alpha_{CLF,chl,ON,min,cnd}$ dados por:

$$\alpha_{CLF,chl,ON,max,cnd} = \alpha_{CLF,chl,ON,max,corr} - \alpha_{CLF,cnd,max} \quad 5-169$$

$$\alpha_{CLF,chl,ON,min,cnd} = \alpha_{CLF,chl,ON,min,corr} - \alpha_{CLF,cnd,min} \quad 5-170$$

donde

- $\alpha_{CLF,cnd,min}$ Calor latente de condensación recuperado a la potencia de combustión mínima, como un porcentaje de $\Phi_{CLF,cb,min}$. Se calcula de acuerdo a lo mostrado anteriormente utilizando: $X_{O_2,hum,sec,min}$ en lugar de $X_{O_2,hum,sec}$ y $\Delta T_{hum-rt, min}$ en lugar de ΔT_{hum-rt} .

³³ $C_xH_y + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$ ($m_{H_2O,cb}$).

³⁴ Los valores por defecto están basados en los poderes caloríficos inferiores.

- $\alpha_{CLF,cnd,max}$ Calor latente de condensación recuperado a la potencia de combustión máxima, como un porcentaje de $\Phi_{CLF,cmb,max}$. Se calcula de acuerdo a lo mostrado anteriormente utilizando: $X_{O_2,hum,sec,max}$ en lugar de $X_{O_2,hum,sec}$ y $\Delta T_{hum-rtr,max}$ en lugar de $\Delta T_{hum-rtr}$.

c) Calderas modulantes

Debe seguirse el procedimiento expuesto en el apartado procedimiento de cálculo para calderas de una etapa (todo-nada), donde $\alpha_{CLF,chl,ON,med}$ y $\alpha_{CLF,chl,ON,min,corr}$ se sustituyen por $\alpha_{CLF,chl,ON,med,cnd}$ y $\alpha_{chl,ON,min,cnd}$ dados por:

$$\alpha_{CLF,chl,ON,med,cnd} = \alpha_{CLF,chl,ON,med} - \alpha_{CLF,cnd,med} \quad 5-171$$

$$\alpha_{chl,ON,min,cnd} = \alpha_{CLF,chl,ON,min,corr} - \alpha_{CLF,cnd,min} \quad 5-172$$

Donde

- $\alpha_{CLF,cnd,med}$ Calor latente de condensación recuperado a la potencia de combustión media, como un porcentaje de $\Phi_{cmb,med}$. Se calcula de acuerdo a lo mostrado anteriormente utilizando: $X_{O_2,hum,sec,med}$ en lugar de $X_{O_2,hum,sec}$ y $\Delta T_{hum-rtr,med}$ en lugar de $\Delta T_{hum-rtr}$.

$$\Delta T_{hum-rtr,med} = \Delta T_{hum-rtr,min} + \left(\Delta T_{hum-rtr,max} - \Delta T_{hum-rtr,min} \right) \cdot \frac{\Phi_{CLF,cmb,med} - \Phi_{CLF,cmb,min}}{\Phi_{CLF,cmb,max} - \Phi_{CLF,cmb,min}} \quad 5-173$$

$$X_{O_2,hum,sec,med} = X_{O_2,hum,sec,min} + \left(X_{O_2,hum,sec,max} - X_{O_2,hum,sec,min} \right) \cdot \frac{\Phi_{CLF,cmb,med} - \Phi_{CLF,cmb,min}}{\Phi_{CLF,cmb,max} - \Phi_{CLF,cmb,min}} \quad 5-174$$

5.3.3.7. Generadores múltiples

En general, los subsistemas con generadores múltiples pueden calcularse como subsistemas de generación separados en paralelo. Pueden utilizarse criterios similares a los dados en el apartado 5.3.3.5 para dividir $Q_{CLF,gen,sld}$ entre los generadores disponibles.

Se detalla el procedimiento para sistemas modulares, para sistemas modulares con apagado hidráulico de los módulos en espera y sistemas modulares sin apagado hidráulico de los módulos en espera.

Un sistema modular consiste en $n_{CLF,gnr}$ módulos o generadores idénticos, cada uno caracterizado por una potencia de combustión máxima y mínima, $\Phi_{cmb,i,max}$ y $\Phi_{cmb,i,min}$, ensamblados como una unidad única o conectados a la misma red. La potencia de combustión del sistema completo se calcula mediante:

$$\Phi_{CLF,cmb} = \Phi_{CLF,cmb,i,max} \cdot n_{CLF,gnr} \quad 5-175$$

Si existe un sistema de control automático aplicado, que apaga y aísla los generadores y/o los módulos en espera de la red de distribución (sistemas modulares con apagado hidráulico de los módulos en espera) el número $n_{CLF,gnr,ON}$ de generadores y/o módulos en funcionamiento se calcula como:

$$n_{CLF,gnr,ON} = ent(n_{CLF,gnr} \cdot \beta_{CLF,cmb} + 1) \quad 5-176$$

cuando el factor de carga $\beta_{CLF,cmb}$ se calcula para un generador de una etapa única de potencia de combustión $\Phi_{CLF,cmb}$.

El rendimiento real del generador modulante se calcula siguiendo el procedimiento para los generadores multietapa asumiendo:

- $\Phi_{CLF,cmb,max} = \Phi_{CLF,cmb,i,max} \cdot n_{CLF,gnr,ON}$
- $\Phi_{CLF,cmb,min} = \Phi_{CLF,cmb,i,min}$

Si no existe un sistema de control aplicado, que apaga y aísla los generadores y/o los módulos en espera de la red de distribución el rendimiento real del generador modulante se calcula siguiendo el procedimiento para los generadores multietapa asumiendo:

- $\Phi_{CLF,cmb,max} = \Phi_{CLF,cmb,i,max} \cdot n_{tot}$
- $\Phi_{CLF,cmb,min} = \Phi_{CLF,cmb,i,min} \cdot n_{tot}$

6 Servicio de agua caliente sanitaria

Se describen en este capítulo los métodos para el cálculo de las prestaciones de los sistemas relacionados con la producción de agua caliente sanitaria. Como en el caso del sistema de calefacción no se analizan las normas relacionadas con la demanda de ACS, solo las que afectan al consumo de energía para abastecer esta demanda de ACS. A diferencia del servicio de calefacción, en este servicio solo se tiene en cuenta las pérdidas de energía en los subsistemas de distribución y en la generación.

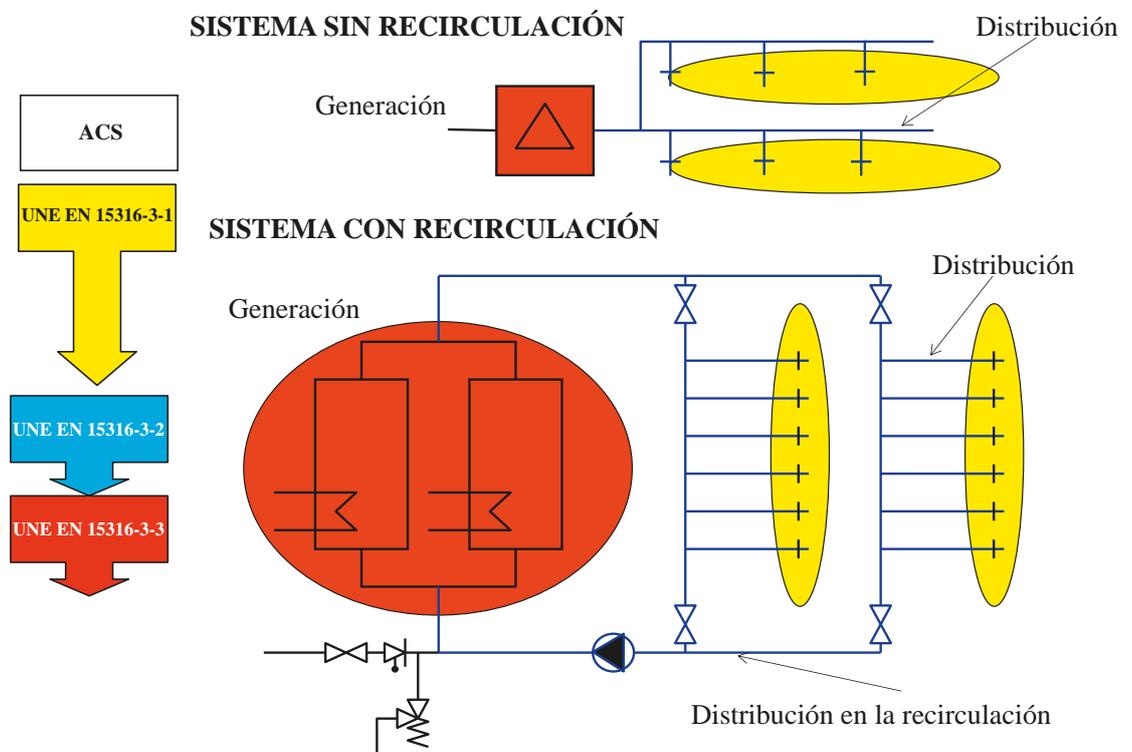


Imagen 6.1. Estructura del servicio de agua caliente sanitaria

6.1. Distribución

El subsistema de distribución de agua caliente sanitaria consta de uno o más tubos instalados entre el generador de calor o el acumulador de agua caliente (si lo tuviera) y la toma o tomas del usuario (circuito abierto conexión directa entre la generación y la demanda). El sistema de distribución de agua caliente sanitaria puede también incluir un circuito cerrado (recirculación).

El sistema más básico (zona única³⁵ y sistema único) consiste en un tubo de distribución individual conectado a un generador de calor individual o a un acumulador y las tomas del usuario (grifo, cabezal de ducha...).

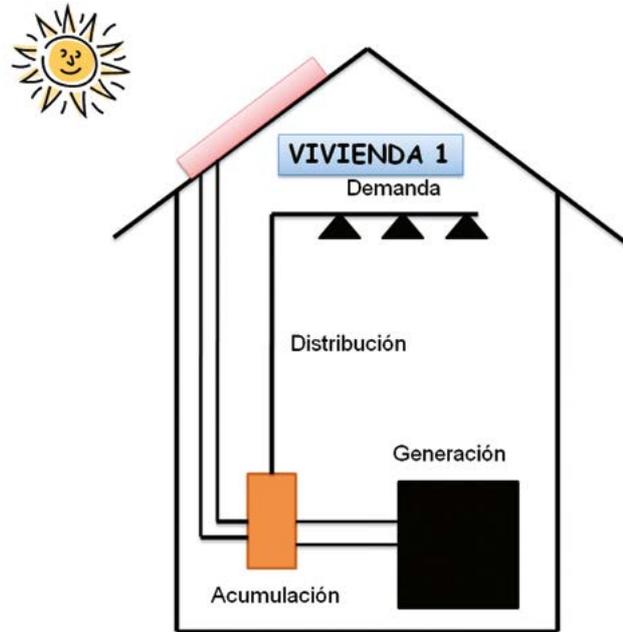


Imagen 6.2. Zona única y sistema único

Otra instalación puede constar de zona única y sistemas múltiples. Esta instalación corresponde a una zona en la que la necesidad energética de agua caliente sanitaria se proporciona por medio de más de un generador de agua caliente sanitaria. En un edificio de viviendas puede haber un generador que suministra agua caliente sanitaria a un baño y otro generador que suministra agua caliente sanitaria a la cocina.

³⁵ Una zona se define como un edificio o parte de un edificio para el que se calcula la necesidad energética de agua caliente sanitaria.

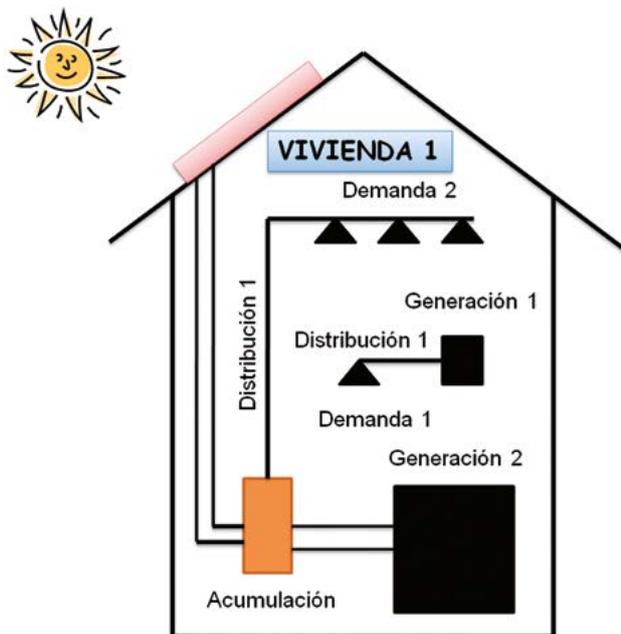


Imagen 6.3. Zona única y sistema múltiple

En este caso el cálculo de las pérdidas del sistema debe realizarse de forma independiente para cada subsistema y la pérdida total del sistema es la suma de las pérdidas.

Otra posibilidad es tener zonas múltiples con sistema único. Esta instalación corresponde a un edificio dividido en un número de zonas independientes en las cuales hay un sistema único común de agua caliente sanitaria, por ejemplo un bloque de apartamentos con una caldera central.

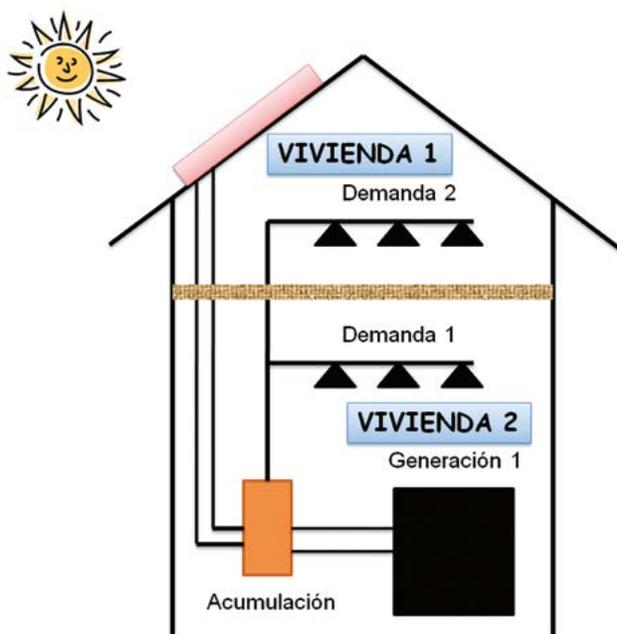


Imagen 6.4. Zona múltiple y sistema único

En este caso la pérdida total del sistema se calcula para el sistema, y la pérdida térmica total es la suma de las pérdidas térmicas de cada zona (con cada una de las demandas).

Como en el caso del servicio de calefacción los datos energéticos que se tienen que obtener del subsistema de distribución de calor, incluyendo el control, serán (la energía suministrada por el subsistema de distribución es la misma que la demanda energética de ACS y por tanto será un dato de partida para el sistema de distribución):

- Energía suministrada por el subsistema $Q_{ACS,dst,sld} = Q_{ACS}$.
- Consumo de energía auxiliar $W_{ACS,dst,aux}$ y cuánto de este es recuperable como energía térmica $Q_{ACS,dst,aux,rcb}$ y cuánta recuperada $Q_{ACS,dst,aux,rcp}$.
- Pérdidas térmicas del sistema $Q_{ACS,dst,prd}$ y cuánto de este es recuperable $Q_{ACS,dst,prd,rcb}$.
- Consumo energético del subsistema $Q_{ACS,dst,ent}$.

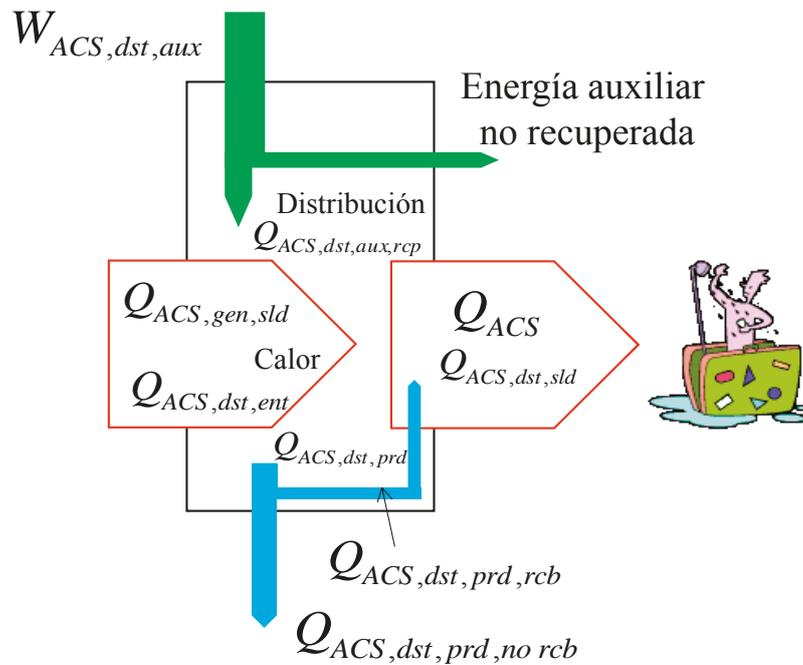


Imagen 6.5. Aproximación simplificada. Subsistema de distribución

6.1.1. Cálculo de la energía auxiliar

Para el subsistema de distribución de agua caliente sanitaria la energía auxiliar $W_{ACS,dst,aux}$ puede utilizarse, además de para el funcionamiento de las bombas, para el calentamiento de tuberías y el consumo total de energía auxiliar se determina mediante:

$$W_{ACS,dst,aux} = W_{ACS,dst,aux,bmb} + W_{ACS,dst,aux,tub-trc} \quad (\text{kWh/día}) \quad 6-1$$

donde

- $W_{ACS,dst,aux,tub-trc}$ Consumo de energía auxiliar para el calentamiento de tuberías³⁶ kWh/día.
- $W_{ACS,dst,aux,bmb}$ Consumo de energía auxiliar para bombas de recirculación kWh/día.

Los consumos anuales, mensuales o semanales de energía auxiliar se obtienen multiplicando el consumo de energía auxiliar diario por el número correspondiente de días.

En el caso de traceado se asume que el consumo de energía auxiliar para el calentamiento de tuberías es igual a lo que habrían sido las pérdidas caloríficas del tubo sin el calentador.

El calentamiento de tuberías no contribuye a la generación de agua caliente. Las pérdidas caloríficas compensadas por el calentamiento de tuberías no deben añadirse a las pérdidas caloríficas de otras partes individuales del sistema de distribución de agua caliente sanitaria utilizadas para determinar la demanda calorífica y la carga del generador de calor.

El consumo de energía auxiliar para el calentador por traceado ($W_{ACS,dst,aux,tub-trc}$ (kWh/día)) se calcula mediante:

$$W_{ACS,dst,aux,tub-trc} = \frac{1}{3.600} \cdot L_{tub,trc} \cdot U_{tub,trc} \cdot (T_{ACS,ag,med} - T_{amb}) \cdot t_{ACS,tub-trc} \quad 6-2$$

donde

- $L_{tub,trc}$ Longitud de la sección del tubo calentada por traceado, en m.
- $U_{tub,trc}$ Factor de transmisión térmico lineal de la sección del tubo, en W/mk.
- $T_{ACS,ag,med}$ Temperatura media del agua caliente de la sección del tubo, en °C.
- T_{amb} Temperatura media ambiental alrededor de la sección del tubo, en °C.
- $t_{ACS,tub-trc}$ Duración del suministro de agua caliente, en h/día. Se asume que el calentamiento de tuberías funciona durante los mismos periodos de tiempo que lo hace el programa regulador de calentamiento de agua sanitaria si este no es continuo.

El consumo de energía auxiliar para la bomba ($W_{ACS,dst,aux,bmb}$ (kWh/día)) puede calcularse a partir de la potencia de la bomba y el tiempo de funcionamiento:

$$W_{ACS,dst,aux,bmb} = 3,6 \cdot P_{ACS,bmb} \cdot t_{ACS,bmb} \quad 6-3$$

donde

- $P_{ACS,bmb}$ Potencia de la bomba, en kW.

³⁶ Según RITE, para evitar la congelación del agua en tuberías expuestas a temperaturas del aire menores que la de cambio de estado se podrá recurrir a estas técnicas: circulación del fluido o aislamiento de la tubería calculado de acuerdo a la norma UNE-EN ISO 12241, apartado 6. También se podrá recurrir al calentamiento directo del fluido incluso mediante «traceado» de la tubería excepto en los subsistemas solares.

- $t_{ACS,bmb}$ Tiempo de funcionamiento de la bomba, en h/día. En el método de cálculo simplificado, para calcular la energía auxiliar de la bomba se puede aplicar el valor por defecto, $t_{ACS,bmb} = 24$ h/día (esta es la peor situación posible, asumiendo que la bomba funciona todo el día de forma continua). En un circuito cerrado (recirculación) se obtiene mediante la fórmula 6-10.

Si se dispone del diseño del sistema de distribución de agua caliente sanitaria se puede proceder de forma más detallada a partir de la demanda de energía hidráulica y del coeficiente de rendimiento de la bomba. En este caso el cálculo del consumo de energía auxiliar para la bomba de circulación es:

$$W_{ACS,dst,aux,bmb} = W_{ACS,dst,hdr} \cdot e_{ACS,dst} \quad (\text{kWh/día}) \quad 6-4$$

donde

- $W_{ACS,dst,hdr}$ Demanda de energía hidráulica, en kWh/día.
- $e_{ACS,dst}$ Coeficiente de rendimiento de la bomba de circulación (-).

La demanda de energía hidráulica depende de la resistencia hidráulica del subsistema de distribución y del tiempo de funcionamiento de la bomba:

$$W_{ACS,dst,hdr} = P_{ACS,hdr,dst} \cdot t_{ACS,bmb} \quad (\text{kWh/día}) \quad 6-5$$

donde

- $P_{ACS,hdr,dst}$ Potencia hidráulica que demanda la bomba, en kW.
- $t_{ACS,bmb}$ Duración del suministro de agua caliente sanitaria, en h/día.

La potencia hidráulica que demanda la bomba de circulación para vencer la resistencia hidráulica del sistema es:

$$P_{ACS,hdr,dst} = \frac{1}{3.600} \cdot \Delta p_{ACS,dst} \cdot V_{ACS,dst} \quad (\text{kW}) \quad 6-6$$

donde

- $V_{ACS,dst}$ Caudal volumétrico, en m³/h.
- $\Delta p_{ACS,dst}$ Presión diferencial a través de la bomba, en kPa.

El caudal volumétrico de diseño depende de la potencia térmica del generador de calor, $\Phi_{ACS,dst}$ (kW), y la diferencia máxima de temperatura, $\Delta T_{ACS,dst}$ (°C), a través del generador de calor:

$$V_{ACS,dst} = \frac{3.600 \cdot \Phi_{ACS,dst}}{C_{e,ag} \cdot \rho_{ag} \cdot \Delta T_{ACS,dst}} \quad 6-7$$

La presión diferencial a través de la bomba de circulación depende de la resistencia de los tubos y de los accesorios del sistema de circulación tal y como se muestra a continuación:

$$\Delta p_{ACS,dst} = 0,1 \cdot L_{ACS,max} + \sum \Delta p_{ACS,vrs} + \Delta p_{ACSgnr} \quad 6-8$$

donde

- $L_{ACS,max}$ Longitud máxima del tubo, en m.
- $\Delta p_{ACS,vrs}$ Presión diferencial a través de los accesorios, tales como la válvula antirretorno y la válvula termostática, en kPa.
- $\Delta p_{ACS,gnr}$ Presión diferencial a través del generador de calor, en kPa. Si no se dispone de datos del producto, se pueden aplicar los siguientes valores por defecto:
 - Para depósitos de almacenamiento $\Delta p_{ACS,gnr} = 1$ kPa.
 - Para sistemas de caudal continuo $\Delta p_{ACS,gnr} = 15$ kPa.

La longitud máxima del tubo para el circuito cerrado, recirculación (en el que suele estar la bomba de circulación) en el caso de edificios rectangulares se puede determinar de forma aproximada a partir de las dimensiones exteriores del edificio/zona:

$$L_{ACS,max} = 2 \cdot (L_{lrg} + 2,5 + n_{vvn} \cdot h_{pln}) \quad 6-9$$

donde

- L_{lrg} Longitud mayor del edificio, en m.
- n_{vvn} Número de viviendas calefactadas.
- h_{pln} Altura media de una planta, en m.

El tiempo de funcionamiento del circuito cerrado $t_{ag,rcr,ON}$ (aconsejable para bloques de viviendas, en el resto de edificios se fija igual al periodo de tiempo de utilización diario) se determina mediante (se limita a 24 h/día):

$$t_{ACS,bmb} = t_{ag,rcr,ON} = 10 + \frac{1}{0,07 + \frac{50}{0,32 \cdot L_{lrg} \cdot L_{anch} \cdot n_{vvn} \cdot h_{pln}}} \leq 24 \text{ h/día} \quad 6-10$$

donde

- L_{lrg} Longitud mayor del edificio, en m.
- L_{anch} Anchura mayor del edificio, en m.
- N_{vvn} Número de viviendas calefactados.
- h_{pln} Altura media de la planta, en m.

El coeficiente de funcionamiento $e_{ACS,dst}$ para la bomba de circulación es:

$$e_{ACS,dst} = f_{ACS,\eta} \cdot f_{ACS,ctr} \cdot (f_{ACS,fc})^{-0,94} \quad 6-11$$

donde

- $f_{ACS,\eta}$ Factor de rendimiento. Si se indica la potencia nominal de la bomba se calcula mediante:

$$f_{ACS,\eta} = \frac{P_{ACS,hdr,dst,bmb}}{P_{ACS,hdr,dst}} \tag{6-12}$$

donde $P_{ACS,hdr,dst,bmb}$ es la potencia nominal de la bomba de circulación (kW).

Si la potencia nominal no está disponible se calcula mediante:

$$f_{ACS,\eta} = \frac{1,5 \cdot b}{0,015 \cdot (P_{ACS,hdr,dst})^{0,74} + 0,04} \tag{6-13}$$

donde $b = 1$ para nuevos edificios y $b = 2$ para edificios existentes.

- $f_{ACS,ctr}$ Factor de control de la bomba según la tabla 6.1:

Control de la bomba	Velocidad fijada	Δp_{cte}	Δp_{vrb}
$f_{ACS,ctr}$	0,97	0,66	0,52

Tabla 6.1. Factor de control de la bomba $f_{ACS,ctr}$

- $f_{ACS,fc}$ Factor de carga. Razón entre el caudal real de diseño y el caudal máximo. Si no existe un controlador de caudal, se aplica $f_{ACS,fc} = 1$.

Un coeficiente del valor de consumo $e_{ACS,dst}$ simplificado (como en el caso del servicio de calefacción) se obtiene mediante:

$$e_{ACS,dst} = f_{ACS,efc} \cdot (C_{p1} + C_{p2}) \tag{6-14}$$

donde

- C_{p1}, C_{p2} Constantes indicadas en la tabla 6.2.

Control de la bomba	C_{p1}	C_{p2}
Sin control	0,25	0,94
Con control	0,50	0,63

Tabla 6.2. Constantes C_{p1}, C_{p2} para el cálculo del coeficiente del valor de consumo de las bombas de circulación de ACS

- $f_{ACS,efc}$ Factor de rendimiento según la siguiente definición:

Bomba identificada
$$f_{ACS,efc} = \frac{P_{ACS,hdr,dstñ,bmb}}{P_{ACS,hdr,dstñ}}$$
 6-15

Bomba no identificada
$$f_{ACS,efc} = \left(1,25 + \left(\frac{200}{P_{ACS,hdr,dstñ}} \right)^{0,5} \right) \cdot 1,5 \cdot b$$
 6-16

donde b es el factor que determina el sobredimensionamiento:

- Bombas diseñadas para la demanda, $b^{37} = 1$.
- Bombas sobredimensionadas, $b = 2$.

6.1.1.1. Funcionamiento intermitente

Si el agua caliente sanitaria no necesita un periodo completo de 24 h al día, la bomba de circulación puede funcionar de forma intermitente. En este caso la energía auxiliar demandada por la bomba de circulación es:

$$W_{ACS,dst,aux,int} = W_{ACS,dst,hdr} \cdot e_{ACS,dst} \cdot (k_{ACS,dia} + 0,6k_{ACS,noche})$$
 6-17

donde

- $k_{ACS,dia}$ Razón entre las horas de funcionamiento de la bomba de circulación con funcionamiento normal y el total de horas de funcionamiento.
- $k_{ACS,noche}$ Razón entre las horas de funcionamiento de la bomba de circulación con carga mínima y las horas totales de funcionamiento; $k_{ACS,dia} + k_{ACS,noche} = 1,0$.

Si se corta la bomba de circulación durante la noche, $k_{ACS,noche} = 0$ y $k_{ACS,dia} = 1,0$ (las horas totales de funcionamiento de la bomba de circulación se tienen en cuenta mediante $t_{ACS,bmb}$ en la ecuación 6-17).

6.1.1.2. Energía auxiliar recuperable

Una proporción de la energía auxiliar suministrada a la bomba puede recuperarse como calor transferido al agua circulante del servicio de ACS $Q_{ACS,dst,aux,rcp}$ mediante la siguiente expresión.

$$Q_{ACS,dst,aux,rcp} = k_{ACS,dst,aux,rcp} \cdot W_{ACS,dst,aux}$$
 6-18

Puede aplicarse el valor por defecto del 80% ($k_{ACS,dst,aux,rcp} = 0,8$) del valor del consumo de energía auxiliar $W_{ACS,dst,aux}$.

³⁷ Para el caso del servicio de calefacción estos valores se utilizan para diferenciar la nueva construcción de la existente.

6.1.2. Cálculo de las pérdidas térmicas

Para el caso del servicio de ACS el subsistema de distribución se considera dividido en dos partes (las pérdidas térmicas de cada parte se calculan de forma independiente):

- Un circuito cerrado (recirculación), si lo tuviera.
- Tubos individuales de distribución a la toma o tomas del usuario.

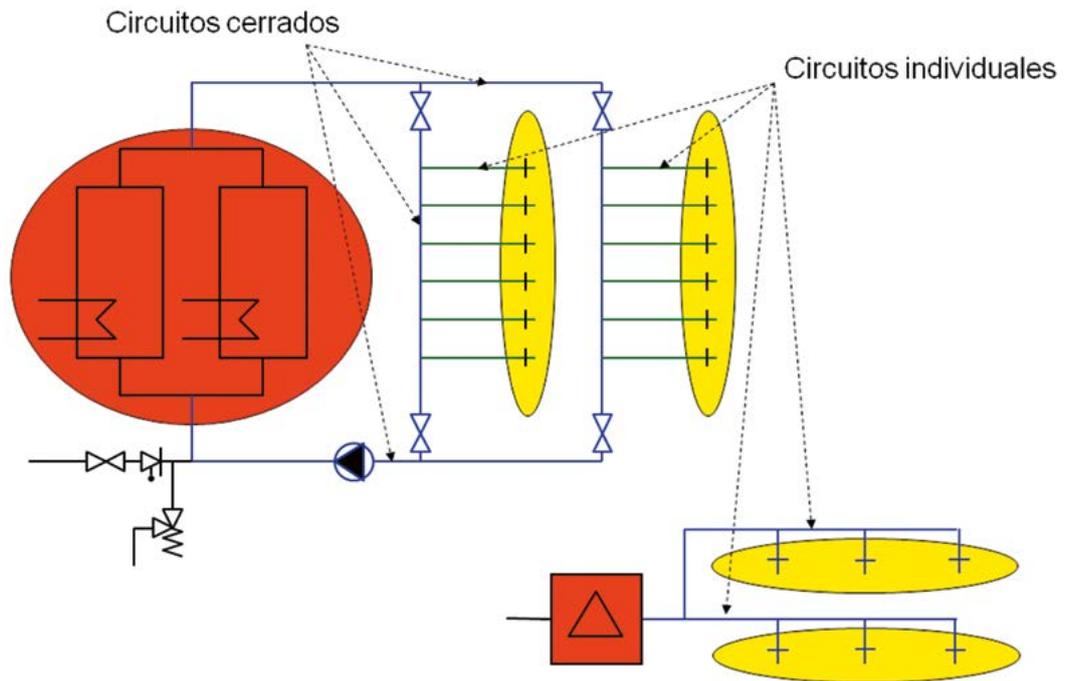


Imagen 6.6. Circuitos individuales y de recirculación

La pérdida térmica total diaria $Q_{ACS,dst,prd}$ del sistema de distribución se calcula sumando las pérdidas térmicas de cada parte como se muestra a continuación:

$$Q_{ACS,dst,prd} = \sum_i q_{dst,prd,ind,i} + Q_{dst,prd,rcr} \quad 6-19$$

- $Q_{dst,prd,ind,i}$ Pérdida térmica de los tubos de distribución individuales del sistema de distribución (no el circuito cerrado), en³⁸ kWh /día.
- $Q_{dst,prd,rcr}$ Pérdida térmica del circuito cerrado del sistema de distribución (parte colectiva), si la tuviera, en kWh /día.

³⁸ Las pérdidas térmicas anuales, mensuales o semanales se obtienen multiplicando la pérdida térmica diaria por el número de días correspondiente.

6.1.2.1. Cálculo en ramales individuales

Cuando no existe un circuito cerrado, las pérdidas térmicas se producen debido a varias situaciones. Antes de una extracción hay un consumo de energía utilizada para el calentamiento de los tubos y accesorios del subsistema de distribución (esto provoca un retraso en la obtención de la temperatura mínima necesaria del agua caliente sanitaria en la toma del usuario).

Cuando el subsistema de distribución alcanza la temperatura deseada, las pérdidas térmicas del sistema de distribución se producen durante el periodo de extracción del agua caliente sanitaria.

Cuando se termina una extracción la capacidad de energía almacenada en el sistema de distribución se pierde en el medio ambiente circundante. El aislamiento de los tubos de distribución reduce esta pérdida térmica una vez se ha completado una extracción.

Estas pérdidas también dependen de los periodos de tiempo entre las extracciones consecutivas (es decir dependiendo del modo y modelo de extracción). Si el periodo de tiempo es suficientemente largo, el aislamiento del tubo no afecta a la pérdida térmica durante los periodos de no extracción.

Si el periodo de tiempo es corto, el aislamiento del tubo reduce la pérdida térmica ya que la temperatura del agua caliente no cae a la temperatura ambiente de alrededor del tubo.

Se describen a continuación cuatro métodos diferentes para este cálculo.

6.1.2.2. Métodos de cálculo en ramales individuales

Se describen a continuación cuatro métodos para estimar las pérdidas energéticas en los ramales individuales para el sistema de agua caliente sanitaria.

a) Método 1. Longitud de tubos

Un primer método³⁹ está basado en la longitud de los tubos (masa y volumen de agua que contienen) y en el número de extracciones al día⁴⁰. Este método tiene en cuenta las pérdidas térmicas de los tubos y las pérdidas térmicas del agua dentro de los tubos. Es necesario conocer el diámetro y la longitud de los tubos de cada sección individual del subsistema de distribución de agua caliente sanitaria.

La pérdida térmica diaria se calcula mediante:

$$Q_{dst,prd,ind,i} = \frac{\rho_{ag} \cdot Ce_{ag} \cdot V_{ag,tub,i} + Ce_{tub} \cdot m_{tub,i}}{3.600} \cdot (T_{ag,nmn,i} - T_{ACS,alr,med,i}) \cdot n_{ext,i} \quad (\text{kWh/día}) \quad 6-20$$

³⁹ El nivel del detalle elegido debería estar relacionado con el nivel del detalle utilizado para definir las necesidades de agua caliente sanitaria.

⁴⁰ Este método se aplica sólo para tubos de distribución de agua caliente sanitaria que no formen parte de un circuito cerrado.

donde

- ρ_{ag} Densidad de agua, en kg/m³.
- Ce_{ag} Capacidad calorífica específica del agua, en kJ/kgK.
- $V_{ag,tub,i}$ Volumen de agua contenida en los tubos en la sección i, en m³.
- $T_{ACS,alr,med,i}$ Temperatura media ambiental alrededor de los tubos en la sección i, en °C, únicamente depende de la localización del tubo.

$$T_{ACS,alr,med} = T_{int} - f_{ACS,lcl} \cdot (T_{int} - T_{ext,med}) \tag{6-21}$$

donde

- T_{int} Temperatura interior, en °C.
- $T_{ext,med}$ Temperatura media exterior, en °C.
- $f_{ACS,lcl}$ Factor de localización (-). Tabla 6.3.

Localización del circuito cerrado	$f_{ACS,lcl}$
Fuera del edificio	1
Fuera del espacio calefactado, circulación horizontal	0,8
Dentro del espacio calefactado	0
Otros (por ejemplo, un tubo embutido)	a calcular y comprobar

Tabla 6.3. Factor de localización correspondiente a la localización de los tubos

- $T_{ag,nmn,i}$ Temperatura de agua caliente nominal en los tubos en la sección i, en °C. Si no se conoce se toma un valor por defecto de 32 °C en un ramal individual.
- $n_{ext,i}$ Número de extracciones de agua caliente durante un día en la sección i.
- Ce_{tub} Capacidad calorífica específica del material del tubo, en kJ/kgK.
- $m_{tub,i}$ Masa de la sección i del tubo, en kg.

En este método de cálculo no se incluyen las pérdidas térmicas debidas al contenido de energía del agua caliente desperdiciada en las tomas de los usuarios durante el intervalo de tiempo en el que no se ha alcanzado la temperatura deseada de agua caliente sanitaria.

Si tienen que incluirse se añade una aportación complementaria a la ecuación anterior teniendo en cuenta la masa y la capacidad calorífica específica del material de la toma del usuario (grifería).

En caso de intervalos cortos de extracciones debería tenerse en cuenta la influencia del aislamiento del tubo en las pérdidas térmicas. Se puede aplicar la siguiente ecuación:

$$Q_{dst,prd,ind,ext} = \frac{(\rho_{ag} \cdot Ce_{ag} \cdot V_{ag,tub} + m_{tub} \cdot Ce_{tub})}{3.600} \cdot (T_{ag,nmn} - T_{ag,tub,fnl}) \quad \text{(kWh) 6-22}$$

$$T_{ag,tub,fnl} = T_{ACS,alr,med} + (T_{ag,nmn} - T_{ACS,alr,med}) \cdot e^{-\left(\frac{U_{tub} \cdot (T_{ag,nmn} - T_{ACS,alr,med}) \cdot L_{tub} \cdot t_{ant,ext}}{(\rho_{ag} \cdot Ce_{ag} \cdot V_{ag,tub} + m_{tub} \cdot Ce_{tub}) \cdot (T_{ag,nmn} - T_{ACS,alr,med})}\right)} \cdot 1000 \quad \text{6-23}$$

donde

- $T_{ag,tub,fnl}$ Temperatura final del agua caliente en la sección i del tubo antes de la próxima extracción, en °C.
- L_{tub} Longitud de la sección i del tubo, en m.
- $t_{ant,ext}$ Intervalo de tiempo antes de la próxima extracción, en s.
- U_{tub} Factor de transmisión térmica lineal (W/mK) del tubo. Si no se conoce utilizar los valores de la tabla 5.30 (aproximar $U_{tub} = \Psi$).

En el caso de no poder ser determinada directamente (no se dispone de un plano detallado de la red de tubos) la longitud de los tubos del subsistema de distribución individual puede determinarse a partir de la tabla 6.4 de acuerdo con el número de puntos de toma por cada ramificación individual. Se supone que las ramificaciones individuales están situadas dentro del espacio calefactado.

Parámetro	Símbolo	Unidad	$L_{ACS,cnx}$
Temperatura media ambiental	$T_{ACS,alr,med}$	°C	20
Longitud del tubo para una toma en una habitación, por ejemplo desde el calentador hasta la toma. Tipo I.	L_{tub}	m	1 x (A/80)
Longitud del tubo para más de una toma en una habitación, por ejemplo en un cuarto de baño. Tipo II.	L_{tub}	m	3 x (A/80)
Longitud del tubo para más de una toma en una habitación adyacente con un muro de instalación común. Tipo III.	L_{tub}	m	4 x (A/80)
Longitud del tubo para el suministro central dentro de la unidad de vivienda. Tipo IV.	L_{tub}	m	6 x (A/80)

Los sistemas de agua caliente sanitaria descentralizados suministran agua caliente a las habitaciones individuales y, por lo tanto, no incluyen un sistema de distribución común de recirculación. En este caso, las únicas pérdidas térmicas del sistema de distribución son aquellas asociadas a los tubos de distribución individuales. El generador de calor puede suministrar a una única toma o a varias tomas. En cualquiera de los casos, el generador de calor se instala dentro del espacio calefactado del edificio y de ahí que no haya tuberías de distribución colocadas en un espacio no calefactado.

A es la superficie del suelo en m².

Tabla 6.4. Valores por defecto para el cálculo de las pérdidas térmicas de los tubos individuales

La representación gráfica muestra una mayor distancia para viviendas con mayor superficie y para cada tipo (I, II, III, IV).

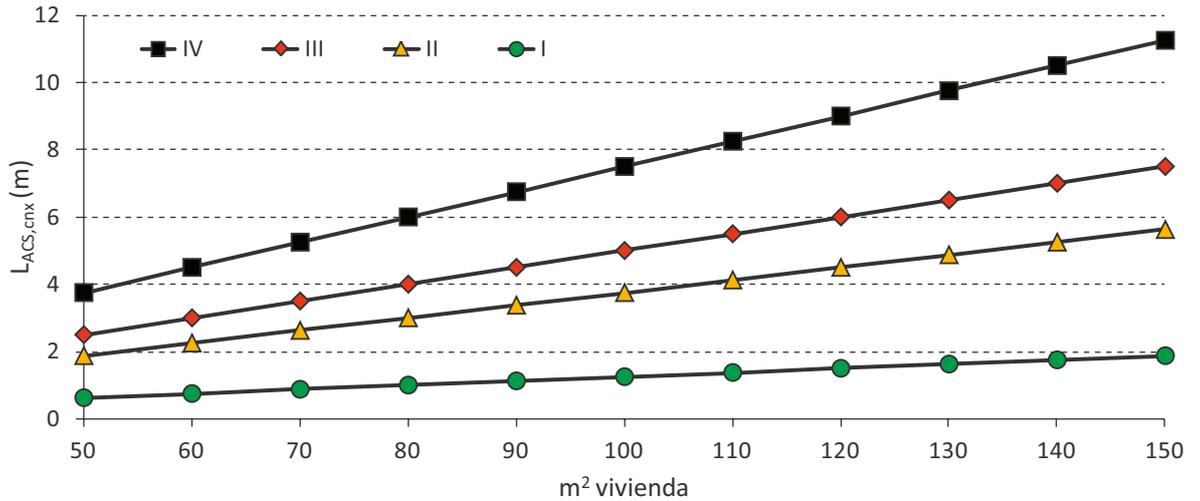


Imagen 6.7. Longitud de los tubos individuales en viviendas unifamiliares en función de la superficie útil de la vivienda en m²

b) Método 2. Eficiencia en la distribución

Un segundo método está basado en las longitudes de los tubos y en la eficiencia de la distribución. Este método solo se aplica a los edificios de viviendas y a los tubos de distribución de agua caliente sanitaria que no son parte de un circuito cerrado. Se basa en estimaciones de la proporción de la energía calorífica que alcanza la toma del usuario para diferentes longitudes del tubo. Se hace una diferenciación entre los suministros a cocinas y los suministros a cuartos de baño.

Inicialmente es necesario determinar la longitud de los tubos desde el generador de calor (o acumulador de agua caliente) o desde el circuito primario a la cocina y al cuarto de baño: L_{ccn} y L_{wc} .

La proporción de energía calorífica que alcanza la toma del usuario se fija en $\eta_{tub,ccn}$ y $\eta_{tub,wc}$, respectivamente. Los valores de estos parámetros tienen que obtenerse de la tabla 6.5.

Longitud L_{ccn} y L_{wc} (m)	$L \leq 2$	$2 < L \leq 4$	$4 < L \leq 6$	$6 < L \leq 8$	$8 < L \leq 10$	$10 < L \leq 12$	$12 < L \leq 14$	$L > 14$
Cocina	$\eta_{tub,ccn}$							
$d_{int} < 8$ mm para 2/3 de la longitud del tubo	1,00	0,86	0,75	0,67	0,60	0,55	0,50	0,46
$d_{int} < 10$ mm para 2/3 de la longitud del tubo	1,00	0,79	0,65	0,55	0,48	0,43	0,38	0,35
Otros tubos	1,00	0,69	0,53	0,43	0,36	0,31	0,27	0,24
Cuarto de baño	η_{wc}							
Todos los tubos	1,00	0,95	0,90	0,86	0,82	0,78	0,75	0,72

d_{int} es el diámetro interior del tubo de suministro.

Estos valores se determinan asumiendo:

- Una media de 2 extracciones de 1 l en la cocina y una media de 8 l en el cuarto de baño por cada 10 l de extracciones.
- La pérdida completa de la energía calorífica del contenido de agua en los tubos.
- La pérdida adicional de la energía calorífica del contenido de agua en los tubos y las pérdidas de comienzo/parada, según una proporción de 0,7 de la pérdida de la energía calorífica del contenido de agua en los tubos.

Tabla 6.5. Proporción de energía calorífica que alcanzan las tomas del usuario

La eficiencia combinada de los tubos de suministro de ACS se calcula mediante:

$$\eta_{ACS,tub} = \frac{1}{\left(\frac{f_{ccn}}{\eta_{tub,ccn}} + \frac{f_{wc}}{\eta_{tub,wc}} \right)} \quad 6-24$$

donde

- f_{ccn} Fracción de la demanda de ACS en la cocina. Valor por defecto 0,2.
- f_{wc} Fracción de la demanda de ACS en el cuarto de baño. Valor por defecto 0,8.

La pérdida térmica total diaria de los tubos de suministro de agua caliente sanitaria se calcula mediante:

$$Q_{ACS,dst,prd,ind} = Q_{ACS} \cdot \frac{1 - \eta_{ACS,tub}}{\eta_{ACS,tub}} \quad 6-25$$

donde

- $Q_{ACS,dst,prd,ind}$ Pérdida térmica de los tubos de suministro, en kWh/día.
- Q_{ACS} Necesidad energética para el agua caliente sanitaria, en kWh/día.

c) Método 3. Perfiles de extracción

Una tercera forma está basada en las longitudes de los tubos y en los perfiles de extracción. Este método se basa en los cálculos de las pérdidas térmicas expresadas en proporción a la demanda energética de agua caliente sanitaria de las tomas del usuario. Para este método se requieren datos sobre la demanda de agua caliente sanitaria.

La demanda energética de agua caliente sanitaria se basa en los programas europeos de extracción de agua caliente sanitaria. A pesar de que el uso de energía de agua caliente sanitaria no es idéntico en todos los posibles edificios y en los diferentes tipos de usos, aportan una mezcla representativa de pequeñas y grandes extracciones de agua caliente para las diferentes demandas totales de energía.

En el caso de que la demanda de ACS del edificio coincida con uno de los tres programas europeos de extracción, la pérdida térmica diaria se calcula mediante:

$$Q_{ACS,dst,prd,ind,1} = Q_{ACS,1} \cdot \alpha_{ACS,dst,1} \quad 6-26$$

$$Q_{ACS,dst,prd,ind,2} = Q_{ACS,2} \cdot \alpha_{ACS,dst,2} \quad 6-27$$

$$Q_{ACS,dst,prd,ind,3} = Q_{ACS,3} \cdot \alpha_{ACS,dst,3} \quad 6-28$$

donde

- $\alpha_{ACS,dst,1}$ Factor de pérdida energética para el programa 1 de extracción de agua caliente sanitaria, con $Q_{ACS,1}$ equivalente a 2,10 kWh/día (7,56 MJ/día). UNE EN 15316-3-1[6.1].
- $\alpha_{ACS',dst,2}$ Factor de pérdida energética para el programa 2 de extracción de agua caliente sanitaria, con $Q_{ACS,2'}$ equivalente a 5,84 kWh/día (21,04 MJ/día). UNE EN 15316-3-1[6.1].
- $\alpha_{ACS,dst,3}$ Factor de pérdida energética para el programa 3 de extracción de agua caliente sanitaria, con $Q_{ACS,3'}$ equivalente a 11,66 kWh/día (41,96 MJ/día). UNE EN 15316-3-1[6.1].

Los tres factores de pérdida energética $\alpha_{ACS,dst,i}$ se calculan mediante:

$$\alpha_{ACS,dst,1} = 0,09 + 0,005 \cdot (L_{ACS,tub,clf} - 6) + 0,008 \cdot L_{ACS,tub,no\ clf} \quad 6-29$$

$$\alpha_{ACS,dst,2} = 0,10 + 0,005 \cdot (L_{ACS,tub,clf} - 6) + 0,008 \cdot L_{ACS,tub,no\ clf} \quad 6-30$$

$$\alpha_{ACS,dst,3} = 0,05 + 0,005 \cdot (L_{ACS,tub,clf} - 6) + 0,008 \cdot L_{ACS,tub,no\ clf} \quad 6-31$$

donde

- $L_{ACS'tub,clf}$ Longitud media del tubo de distribución dentro del espacio calefactado.
- $L_{ACS'tub,no\ clf}$ Longitud media del tubo de distribución en un espacio no calefactado.

La pérdida térmica diaria si la demanda no coincide con una de los tres programas europeos de extracción $Q_{ACS',dst,prd\ ind}$ se expresa mediante:

$$Q_{ACS,dst,prd,ind} = Q_{ACS} \cdot \alpha_{ACS,dst} \quad 6-32$$

donde

- $\alpha_{ACS,dst}$ Factor de pérdida energética en proporción a la demanda energética de ACS

El factor $\alpha_{ACS,dst}$ puede determinarse por interpolación de la forma siguiente:

$$Q_{ACS} < Q_{ACS,2} : \alpha_{ACS,dst} = \alpha_{ACS,dst,2} - 0,01 \cdot \frac{Q_{ACS,2} - Q_{ACS}}{Q_{ACS,2} - Q_{ACS,1}} \quad 6-33$$

$$Q_{ACS} > Q_{ACS,2} : \alpha_{ACS,dst} = \alpha_{ACS,dst,2} - 0,05 \cdot \frac{Q_{ACS} - Q_{ACS,2}}{Q_{ACS,3} - Q_{ACS,2}} \quad 6-34$$

d) Método 4. Temperatura media

Otra forma de calcular las pérdidas térmicas de los tubos está basada en la longitud de estos y en la temperatura media. Este método se basa en los mismos principios de cálculo que las pérdidas térmicas de un circuito cerrado de recirculación (descrito a continuación). La única diferencia es el hecho de tener en cuenta la temperatura media del agua caliente sanitaria, que normalmente es más baja para la sección individual del sistema de distribución de agua caliente sanitaria que para el circuito cerrado (32 °C).

6.1.2.3. Cálculo en circuito cerrado (recirculación)

En un circuito cerrado se producen pérdidas térmicas de los tubos durante el periodo completo de circulación del agua, es decir, no se limita a las extracciones de agua caliente sanitaria aunque pueden existir periodos de no circulación de agua (por ejemplo en una comunidad de vecinos se apaga la circulación de agua durante alguna hora de la noche).

Por tanto la pérdida térmica total diaria de un circuito cerrado es la suma de las pérdidas térmicas durante los periodos de circulación y de las pérdidas térmicas durante los periodos de no circulación:

$$Q_{dst,prd,rcr} = Q_{dst,prd,rcr,ON} + Q_{dst,prd,rcr,OFF} \quad (\text{kWh/día}) \quad 6-35$$

Las pérdidas térmicas durante el tiempo de funcionamiento del circuito cerrado están basadas en la longitud del tubo y su transmitancia térmica.

En el caso de conocer todos los datos, la pérdida térmica diaria del circuito cerrado se calcula según la siguiente ecuación (si no está disponible el diseño exacto del sistema de distribución de agua caliente sanitaria o no se conoce el espesor del aislamiento del tubo se puede aplicar un valor por defecto de pérdidas de 40W/m):

$$Q_{dst,prd,rcr,ON} = \sum_i \frac{1}{1.000} \cdot \Psi_{ACS,tub} \cdot L_{ACS,tub} \cdot (T_{ACS,ag,med} - T_{ACS,alr,med}) \cdot t_{ag,rcr,ON} \quad 6-36$$

donde

- $Q_{dst,prd,rcr,ON}$ Pérdidas térmicas de la sección i del tubo (durante los periodos de extracción), en kWh/día.
- $\Psi_{ACS,tub}$ Transmitancia térmica lineal de la sección i del tubo, en W/mK. Se calcula de igual forma que el servicio de calefacción y valen los mismos valores tabulados en la tabla 5.30.
- $L_{ACS,tub}$ Longitud de la sección i del tubo, en m.
- $T_{ACS,ag,med}$ Temperatura media de agua caliente de la sección i del tubo, en °C. Si no hay dato disponible 60 °C para circuitos cerrados.
- $T_{ACS,alr,med}$ Temperatura media ambiental alrededor de la sección i del tubo, en °C.

- $t_{ag,rcr,ON}$ Periodo diario de utilización a las temperaturas correspondientes, $T_{ACS,alr,med}$ en h/día. Coincide con $t_{ACS,bmb}$ podría ser 24 h días si el funcionamiento es continuo.

Para realizar los cálculos, se puede considerar que el sistema de distribución de agua caliente sanitaria consta de tres secciones de tubo diferentes. En general, estas secciones pueden describirse de la siguiente forma (en instalaciones específicas, puede que no se presenten las tres secciones):

- Distribución horizontal desde el generador de calor a los tubos principales de suministro (sección $L_{ACS,gnr}$).
- Tubos principales de suministro (sección $L_{ACS,edf}$).
- Ramificaciones individuales a las tomas del usuario, circuitos individuales (sección $L_{ACS,cnx}$).

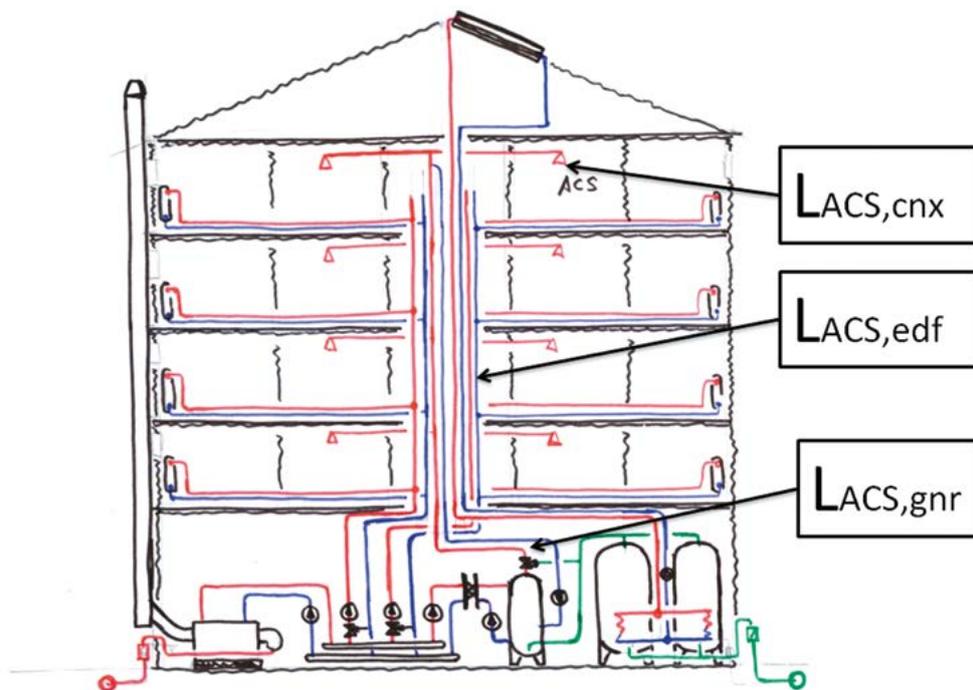


Imagen 6.8. Secciones en la distribución de ACS

Los tubos de la sección $L_{ACS,gnr}$ pueden colocarse en un espacio no calefactado, tal como un sótano o una buhardilla, o en una superficie técnica del edificio.

Los tubos de sección $L_{ACS,edf}$ pueden ser verticales u horizontales o una combinación de ambos. Normalmente se sitúan en el interior del edificio.

Los tubos de sección $L_{ACS,gnr}$ y $L_{ACS,edf}$ pueden constituir parte de un circuito cerrado ($L_{tub,rcr} = L_{ACS,gnr} + L_{ACS,edf}$). Los tubos de la sección $L_{ACS,cnx}$ no son parte de un circuito cerrado.

Si no se conoce el diseño exacto del trazado de las tuberías de agua caliente sanitaria se pueden aplicar valores representativos de las longitudes de los tubos en función de las dimensiones de los edificios según los valores de la tabla 6.6.

Parámetros	Símbolo	Unidad	$L_{ACS,gnr}$	$L_{ACS,edf}$	$L_{ACS,cnx}$
Temperatura ambiente fuera del periodo de calefacción	$T_{amb,no\ cdf}$	°C	22 °C		
Temperatura ambiente	T_{amb}	°C	13 °C en un espacio no calefactado y 20 °C en un espacio calefactado	20 °C en un espacio calefactado	
Longitud si existe un circuito cerrado	L	m	$2 \times L_{lrg} + 0,0125 \times L_{lrg} \times L_{anch}$	$0,075 \times L_{lrg} \times L_{anch} \times n_{vvn} \times h_{pln}$	—
Longitud del tubo principal de distribución sin circuito cerrado	L	m	$L_{anch} + 0,0625 \times L_{lrg} \times L_{anch}$	$0,038 \times L_{lrg} \times L_{anch} \times n_{vvn} \times h_{pln}$	—
Longitud de las ramificaciones individuales, exclusivamente para comunicaciones con habitaciones adyacentes con un muro común de instalación	L	m	—	—	$0,05 \times L_{lrg} \times L_{anch} \times n_{vvn}$
Longitud de las ramificaciones individuales para el resto de los casos	L	m	—	—	$0,075 \times L_{lrg} \times L_{anch} \times n_{vvn}$

L_{lrg} es la longitud mayor del edificio, en m; L_{anch} es la anchura mayor del edificio, en m; n_{pln} es el número de pisos calefactados; h_{pln} es la altura de los pisos, en m. n_{vvn} es el número de viviendas.

Tabla 6.6. Valores por defecto de las pérdidas térmicas del circuito cerrado y los tubos de distribución

Si el circuito cerrado no funciona continuamente, la energía calorífica en cada sección del tubo del circuito cerrado se pierde en el medio ambiente circundante. Esta pérdida térmica diaria se calcula mediante:

$$Q_{dst,prd,rcr,OFF} = \sum_i \frac{\rho_{agua} \cdot Ce_{agua}}{3.600} \cdot V_{ACS,tub} \cdot (T_{ACS,ag,med} - T_{ACS,alr,med}) \cdot n_{cls,bmb} \tag{6-37}$$

donde

- ρ_{agua} Masa específica del agua, en kg/m³.
- Ce_{agua} Capacidad calorífica específica del agua, en kJ/kgK.
- $V_{ACS,tub}$ Volumen de agua acumulada en la sección i del tubo, en m³.

- $n_{cls,bmb}$ Número de ciclos de funcionamiento de la bomba de circulación durante un día. Si se apaga solo por la noche la bomba de recirculación implica un $n_{cls,bmb} = 1$.

6.1.2.4. Accesorios y tomas de los usuarios

Las pérdidas térmicas del circuito cerrado y de los tubos de distribución individual se incrementan debido a las pérdidas térmicas a través de los accesorios (válvulas, bridas, soportes de los tubos) y de la toma del usuario (esta absorbe energía calorífica durante el suministro del agua caliente, provocando una demora en el alcance de la temperatura de agua caliente mínima en la toma del usuario).

Las pérdidas térmicas a través de los accesorios se pueden calcular introduciendo una longitud equivalente adicional de tubo $L_{ACS,eqv}$ según lo descrito en el punto 5.2.2.

No existen tabuladas en ninguna de las bibliografías consultadas las pérdidas térmicas de las tomas del usuario ($\beta_{ACS,esp}$) pero si se conocen deben utilizarse para el cálculo de las pérdidas totales debidas a estas tomas con la siguiente expresión.

$$Q_{ACS,dst,prd,esp} = \beta_{ACS,esp} \cdot n_{ACS,tms} \cdot n_{ACS,ext} \tag{6-38}$$

donde

- $\beta_{ACS,esp}$ Pérdida térmica del tipo específico de toma del usuario (kWh/ciclo de extracción). Depende de la temperatura del agua caliente sanitaria, de la temperatura de entrada del agua fría y del caudal de agua, y debería determinarse basándose en los valores de la tabla 6.7.

Temperatura de agua caliente sanitaria	60 °C
Temperatura de entrada de agua fría	10 °C
Caudal de agua	12 l/min

Tabla 6.7. Condiciones básicas para determinar $\beta_{ACS,esp}$

- $n_{ACS,tms}$ Número de tomas del usuario del tipo específico en el edificio.
- $n_{ACS,ext}$ Número de ciclos de extracciones al día. El número de ciclos de extracción durante el día, n_{ext} , depende del tipo de actividad.

6.1.3. Pérdidas recuperables para el servicio de calefacción

Las pérdidas del sistema recuperables (para el servicio de calefacción) se expresan como una fracción de las pérdidas térmicas de distribución y del consumo de energía auxiliar de distribución:

$$Q_{ACS,dst,prd,rcb,CLF} = Q_{ACS,dst,prd} \cdot f_{ACS,dst,prd,rcb,CLF} + W_{ACS,dst,aux} \cdot f_{ACS,dst,aux,rcb,CLF} \tag{6-39}$$

donde

- $f_{ACS,dst,prd,rcb,CLF}$ Fracción de las pérdidas térmicas de distribución recuperables para la calefacción de locales.
- $f_{ACS,dst,aux,rcb,CLF}$ Fracción del consumo de energía auxiliar de distribución recuperable para la calefacción de locales.

Las fracciones dependen, por ejemplo, de la localización de los tubos, de la localización de la bomba y de la duración del periodo de calefacción. Si los tubos se instalan en el espacio calefactado del edificio, las pérdidas térmicas pueden ser recuperadas. Sin embargo, las pérdidas recuperables solo pueden considerarse durante los periodos del año en los que se produce una demanda significativa de calefacción de locales.

A falta de información nacional (caso que ocurre en España) la propia norma propone que las pérdidas del sistema no son recuperables para la calefacción de locales $Q_{ACS,dst,prd,rcb,CLF} = 0$.

6.2. Generación

Se analiza en este apartado la generación de ACS a través de calderas y calentadores⁴¹.

6.2.1. Energía auxiliar

La energía eléctrica se necesita en la bomba del circuito para cubrir la caída de presión dentro del sistema del circuito principal entre el generador de calor y el recipiente acumulador de agua caliente, operación del quemador y de cualquier otro equipo relativo al funcionamiento del subsistema del generador de calor que forme parte integral de ese subsistema.

El consumo total de energía auxiliar en el subsistema de generación de agua caliente sanitaria $W_{ACS,gen,aux}$ se indica mediante:

$$W_{ACS,gen,aux} = W_{ACS,gen,bmb} + W_{ACS,gen,dsp} \quad (\text{kWh/día}) \quad 6-40$$

donde

- $W_{ACS,gen,bmb}$ Consumo de energía auxiliar en bombas del circuito principal, en kWh/día.
- $W_{ACS,gen,dsp}$ Consumo de energía auxiliar en dispositivos de generación de agua caliente sanitaria, en kWh /día.

⁴¹ Calentador de agua caliente sanitaria: todo aparato dedicado exclusivamente a la producción de agua caliente sanitaria en el que el calor procedente de la combustión de combustibles es transferido directamente, por medio de un circuito abierto, al agua de consumo. Calentador instantáneo de agua caliente sanitaria: calentador que realiza el calentamiento en función del caudal de agua extraído. Calentador por acumulación: calentador con un depósito de acumulación de agua integrado con las condiciones térmicas de uso. Fuente: RD 1027/2007.

El consumo de energía auxiliar de la caldera se calcula en base al consumo de la potencia auxiliar $P_{ACS,gen,nmn}$ de la caldera medida al 100% de la carga de acuerdo con la Directiva 92/42 [6.2], es decir, a un consumo volumétrico correspondiente a la potencia útil nominal y a una diferencia de temperatura entre la temperatura de impulsión y la temperatura de retorno de 20 K.

$$W_{ACS,gen,aux} = \frac{t_{ACS,bmb} \cdot P_{ACS,gen,nmn}}{1.000} \quad 6-41$$

donde

- $W_{ACS,gen,aux}$ Consumo de energía auxiliar de la caldera, en kWh/día.
- $t_{ACS,bmb}$ Periodo de provisión de energía de agua caliente sanitaria, en h/día.

Si la caldera es mixta la determinación del consumo de potencia auxiliar debe realizarse según la siguiente ecuación:

$$W_{ACS,gen,aux} = \frac{\beta_{ACS,gen} \cdot t_{ON,CLF-ACS} \cdot P_{ACS,gen,nmn}}{1.000} \quad 6-42$$

donde

- $t_{ON,CLF-ACS}$ Tiempo de funcionamiento de la caldera a la potencia útil nominal, en h/día.
- $P_{ACS,gen,aux,nmn}$ Consumo de potencia auxiliar de la caldera, en kW.
- $\beta_{ACS,gen}$ Parte del factor de carga de la caldera relativo a la provisión del agua caliente sanitaria (-).

$$\beta_{ACS,gen} = \frac{t_{ACS,bmb}}{t_{ON,CLF-ACS}} = \frac{(Q_{ACS} + Q_{ACS,dst,prd} + Q_{ACS,dps,prd} + Q_{ACS,dst,prd,tub\ prc}) \cdot \alpha_{ACS,gen}}{3,6 \cdot t_{ON,CLF-ACS} \cdot \Phi_{ACS,gen,nmn}} \quad 6-43$$

- $Q_{ACS,dst,prd}$ Pérdidas térmicas del sistema de distribución de agua caliente sanitaria (descrito anteriormente) en kWh/día.
- $Q_{ACS,dps,prd}$ Pérdidas térmicas del acumulador de agua caliente sanitaria (si hubiera), en kWh/día. Cálculo en el punto 6.2.2.
- $Q_{ACS,dst,prd,tub\ prc}$ Pérdida térmica de los tubos principales (si hubiera), en kWh/día. Cálculo en el punto 6.2.2.
- $\Phi_{ACS,gen,nmn}$ Potencia útil nominal de la caldera, en kW.
- $\alpha_{ACS,gen}$ Contribución proporcional de la caldera (si la carga calorífica se suministra a través de más de un generador de calor). Si solo existe un calentador este valor sería uno, $\alpha_{ACS,gen} = 1$.

6.2.1.1. Energía auxiliar recuperable

Una proporción de la energía auxiliar suministrada a la bomba puede recuperarse como calor transferido al agua circulante del servicio de ACS $Q_{ACS,gen,aux,rcp}$ mediante la siguiente expresión:

$$Q_{ACS,gen,aux,rcp} = k_{ACS,gen,aux,rcp} \cdot W_{ACS,gen,aux} \tag{6-44}$$

Puede aplicarse el valor por defecto del 80% ($k_{ACS,gen,aux,rcp} = 0,8$) del valor del consumo de energía auxiliar $W_{ACS,gen,aux}$.

6.2.2. Cálculo de las pérdidas térmicas

El generador de calor de un sistema de agua caliente sanitaria debe suministrar la energía suficiente para satisfacer la necesidad energética de agua caliente sanitaria y para compensar las pérdidas de otros subsistemas (por ejemplo, el de distribución).

Se distinguen en este apartado los sistemas de ACS que realicen un calentamiento de ACS de forma directa e indirecta (en este caso hay que contabilizar además las pérdidas del depósito de acumulación $Q_{ACS,dps,prd}$ y de los tubos principales $Q_{ACS,dst,prd,tub\ prin}$).

Si el generador o generadores de calor suministran también calefacción a los locales, el rendimiento del generador de calor debe calcularse de forma independiente para el funcionamiento en el periodo estival, cuando no hay demanda de calefacción de locales, y para el funcionamiento del periodo invernal cuando se suministra tanto agua caliente sanitaria como calefacción a los locales.

Si existen varios tipos de generadores de calor en serie debe determinarse la aportación de cada generador de calor individual. Los cálculos tienen que realizarse en la secuencia de aplicación de los generadores de calor para generación de energía. Normalmente, se asume que el agua caliente sanitaria puede calentarse a través de un máximo de tres generadores de calor:

- Precalentamiento, por ejemplo, de paneles solares.
- Calentamiento de base.
- Calentamiento suplementario para alcanzar la carga.

Si existen varios tipos de generadores de calor en paralelo, la aportación proporcional $\alpha_{ACS,gen,i}$ de cada unidad se calcula a partir de la razón entre la potencia nominal de esa unidad y la potencia nominal total de la instalación disponible para calentar el agua caliente sanitaria.

$$Q_{ACS,gen,sld,i} = \alpha_{ACS,gen,i} \cdot Q_{ACS,gen,sld} = \frac{Q_{ACS,gnr,nmn,i}}{\sum_i Q_{ACS,gnr,nmn,i}} \cdot Q_{ACS,gnr,sld,i} \tag{6-45}$$

(kWh/día)

6.2.2.1. Calentamiento indirecto.

Se analizan en este apartado la pérdida térmica del acumulador de agua caliente por calentamiento indirecto y los tubos del circuito principal entre el generador de calor y el acumulador de agua caliente.

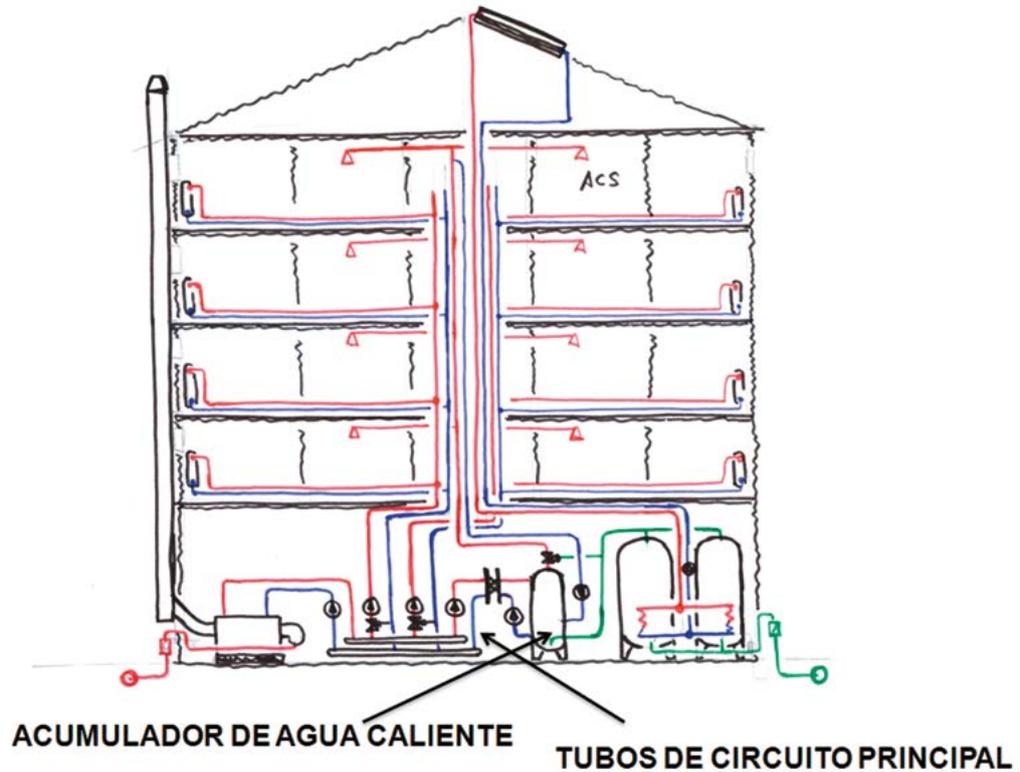


Imagen 6.9. Pérdidas energéticas en calentamiento indirecto en el servicio de ACS

La pérdida térmica diaria del acumulador de agua caliente por calentamiento indirecto puede obtenerse a partir de la pérdida de calor en el tiempo de espera, ajustándose a la diferencia real de temperatura de la forma siguiente:

$$Q_{ACS,dps,prd} = \frac{T_{ag,acm,med} - T_{ACS,alr,med}}{\Delta T_{ACS,dps,ens}} \cdot Q_{ACS,dps,ens,prd} \quad (\text{kWh/día}) \quad 6-46$$

donde

- $T_{ag,acm,med}$ Temperatura media del agua acumulada, en °C.
- $T_{ACS,alr,med}$ Temperatura media ambiental, en °C.
- $\Delta T_{ACS,dps,ens}$ Diferencia media de temperatura aplicada en los ensayos de pérdida de calor en el tiempo de espera, en °C.
- $Q_{ACS,dps,ens,prd}$ Pérdida de calor en el tiempo de espera en ensayo, en kWh/día. Norma UNE EN 12897 [6.3].

Las pérdidas térmicas $Q_{ACS,dst,prd,tub\ prc}$ se producen en los tubos del circuito principal entre el generador de calor y el acumulador de agua caliente.

Si el acumulador de agua caliente se incorpora al generador, la pérdida térmica de los tubos del circuito principal se puede considerar mediante las mediciones totales del rendimiento del aparato⁴².

En los demás casos deben seguirse los métodos de cálculo de las pérdidas térmicas de los tubos indicados en la norma UNE EN 15316-3-2 [6.4] (ya descritos en el punto 6.1.2) para los tubos del circuito principal⁴³.

6.2.2.2. Calentamiento directo. Viviendas unifamiliares.

La norma UNE EN 15316-3-2 [6.4] indica que se requiere que el rendimiento de los generadores de calor de ACS cumpla con la legislación. Para ello tienen que incorporar procedimientos de ensayo que afecten a tres programas de uso común de extracción de agua caliente sanitaria (descritos en la norma UNE EN 15316-3-1 [6.1]).

La norma [6.4] propone un método basado en un valor de rendimiento correspondiente al programa de extracción medio y al programa de extracción más alto o más bajo, dependiendo de si la demanda energética de agua caliente sanitaria es superior o inferior a la demanda energética correspondiente al programa de extracción medio.

Para uso de agua caliente sanitaria por debajo de la media $Q_{ACS,1} < Q_{ACS,gen,sld} < Q_{ACS,2}$

$$\eta_{ACS,gen} = \eta_{ACS,2} - 0,0742 \cdot (\eta_{ACS,2} - \eta_{ACS,1}) \cdot (21,042 - Q_{ACS,gen,sld}) \quad 6-47$$

Y para uso de agua caliente sanitaria por encima de la media $Q_{ACS,2} < Q_{ACS,gen,sld} < Q_{ACS,3}$

$$\eta_{ACS,gen} = \eta_{ACS,2} - 0,0478 \cdot (\eta_{ACS,3} - \eta_{ACS,2}) \cdot (Q_{ACS,gen,sld} - 21,042) \quad 6-48$$

Si $Q_{ACS,gen,sld} < Q_{ACS,1}$ entonces $Q_{ACS,gen,sld}$ se sustituye por $Q_{ACS,1}$ en la ecuación anterior.

$$\eta_{ACS,gen} = \eta_{ACS,2} - 0,0742 \cdot (\eta_{ACS,2} - \eta_{ACS,1}) \cdot (21,042 - Q_{ACS,1}) \quad 6-49$$

Si $Q_{ACS,gen,sld} > Q_{ACS,3}$ los resultados del ensayo pueden estar disponibles para ciclos de extracción más altos. En este caso se puede aplicar la interpolación entre $Q_{ACS,2}$ y el ciclo de extracción más alto.

- $\eta_{ACS,1}$ Rendimiento para el programa de extracción bajo (Nº 1) con $Q_{ACS,1} = 2,10$ kWh/día (7,56 MJ/día).

⁴² Para los aparatos de gas, con un acumulador de agua caliente incorporado y destinados a ser instalados en una vivienda unifamiliar, las mediciones de acuerdo con la norma UNE EN 13203-2 [6.5] incluyen la pérdida térmica de los tubos del circuito principal.

⁴³ El cálculo de las pérdidas térmicas de los tubos del circuito principal debería basarse en la longitud real de los tubos, si se dispone de ello.

- $\eta_{ACS,2}$ Rendimiento para el programa de extracción medio (N° 2) con $Q_{ACS,2} = 5,84$ kWh/día (21,04 MJ/día).
- $\eta_{ACS,3}$ Rendimiento para el programa de extracción alto (N° 3) con $Q_{ACS,3} = 11,66$ kWh/día (41,96 MJ/día).
- $Q_{ACS,gen,sld}$ es la potencia energética del generador, en kWh/día.

Si no está previsto que el aparato proporcione las demandas de agua caliente correspondientes a los tres programas de extracción, esto debe identificarse en las especificaciones del aparato, conteniendo únicamente los resultados de los ensayos correspondientes a los programas de extracción de agua caliente aplicables.

6.2.2.3. Calentamiento directo. Edificios terciarios. Calderas de gas o gasóleo

La pérdida total térmica de los sistemas de generación de calor distintos a los de las viviendas unifamiliares con calderas que utilizan gas o gasóleo como combustible se basa en:

- Rendimiento nominal $\eta_{ACS,gen,ens}$
- Pérdida de calor en el tiempo de espera $Q_{ACS,gen,prd,dsp}$
- Potencia térmica nominal $Q_{ACS,gen,ens}$

La pérdida térmica total diaria de una caldera se calcula a partir de la pérdida térmica durante la operación y la pérdida térmica durante el tiempo de espera tal y como se expresa a continuación:

$$Q_{ACS,gen,prd} = Q_{ACS,gen,prd,ON} + Q_{ACS,gen,prd,OFF} \quad (\text{kWh/día}) \quad 6-50$$

donde

- $Q_{ACS,gen,prd}$ Pérdida térmica total de la caldera, en kWh/día.
- $Q_{ACS,gen,prd,ON}$ Pérdida de calor de la caldera durante la operación de la caldera, en kWh/día.
- $Q_{ACS,gen,prd,dsp}$ Pérdida de calor de la caldera durante el tiempo de espera, en kWh/día.

La pérdida de calor durante el periodo de operación de la caldera se calcula mediante:

$$Q_{ACS,gen,prd,ON} = \left(1 - \frac{H_i}{H_s} \cdot \eta_{ACS,gen,nmn,Hi} \right) \cdot Q_{ACS,gen,sld} \quad 6-51$$

donde⁴⁴

- $Q_{ACS,gen,sld}$ Potencia útil de la caldera, en kWh/día.
- $\eta_{ACS,gen,nmn,Hi}$ Rendimiento de la caldera a la potencia nominal expresada para Hi. Se determina a partir de la potencia nominal de la caldera, $\Phi_{ACS,gnr,nmn}$ en kW con una temperatura de ensayo de 70 °C, tal y como sigue a continuación:

⁴⁴ Estos valores se determinan de acuerdo con la Directiva Europea 92/42 [6.2] y las Normas UNE EN 304 [6.6], 297 [6.7], 483 [6.8], 656 [6.9], EN 625 [6.10] (para calderas mixtas) o la Norma UNE EN 677 [6.11] (para calderas de condensación).

Caldera normalizada
$$\eta_{ACS,gen,nmn,Hi} = \frac{87,5 + 1,5 \cdot \log \phi_{ACS,gnr,nmn}}{100}$$
 6-52

Caldera de baja temperatura
$$\eta_{ACS,gen,nmn,Hi} = \frac{91 + 1 \cdot \log \phi_{ACS,gnr,nmn}}{100}$$
 6-53

Caldera de condensación
$$\eta_{ACS,gen,nmn,Hi} = \frac{94 + 1 \cdot \log \phi_{ACS,gnr,nmn}}{100}$$
 6-54

Caldera de condensación mejorada
$$\eta_{ACS,gen,nmn,Hi} = \frac{94 + 1 \cdot \log \phi_{ACS,gnr,nmn}}{100}$$
 6-55

- H_s Poder calorífico superior del combustible, en kWh/kg o kWh/m³.
- H_i Poder calorífico inferior del combustible, en kWh/kg o kWh/m³.

La pérdida de calor en el tiempo de espera diaria, $Q_{ACS,gen,prd,OFF}$ durante los periodos en los que la caldera no suministra calor al acumulador o directamente al agua caliente sanitaria se calcula mediante:

$$Q_{ACS,gen,prd,OFF} = 3,6 \cdot Q_{ACS,gen,prd,dsp,ens} \cdot \frac{T_{ACS,gen,med} - T_{ACS,alr,med}}{70 - 20} \cdot (24 - t_{ACS,gen,OFF})$$
 6-56

donde

- $Q_{ACS,gen,prd,dsp,ens}$ Pérdida de calor en el tiempo de espera con una temperatura de la caldera de 70 °C y una temperatura de local de 20 °C, en kW.
- $T_{ACS,gen,med}$ Temperatura media de la caldera durante un periodo de espera, en °C, que depende de los controles de la caldera, el tipo de acumulador (si es de aplicación) y el espacio asociado a la calefacción. Para simplificar, se asume que la temperatura media de la caldera durante un periodo de espera, $T_{ACS,gen,med}$ sea de 50 °C excepto para calentadores de agua en los que se acepta que sea de 40 °C.
- $T_{ACS,alr,med}$ Temperatura media del local, en °C.
- $t_{ACS,gen,OFF}$ Periodo de provisión de energía para agua caliente sanitaria a la potencia útil nominal, en h/día.

En las calderas mixtas, durante los periodos en los que la caldera suministra calefacción, se asume que las pérdidas de calor en el tiempo de espera sean cero.

6.2.2.4. Calentamiento directo. Edificios terciarios. Acumulación por calentamiento mediante combustibles gaseosos

Se asume que el calor total disipado de los aparatos de producción de agua sanitaria por acumulación se cuantifica como una pérdida.

La pérdida térmica total se calcula a partir de la potencia de mantenimiento $P_{ACS,gen/acm,prd}$ ajustándose a la diferencia de temperatura real y al rendimiento de la caldera tal y como se indica a continuación:

$$Q_{ACS,gen,prd} = \frac{3,6 \cdot P_{ACS,gen/acm,prd}}{1.000} \cdot \frac{T_{acm,med} - T_{ACS,alr,med}}{\Delta T_{ACS,ens}} \cdot 24 + (1 - \eta_{ACS,gen}) \cdot Q_{ACS,gen,sld} \quad 6-57$$

donde,

- $T_{acm,med}$ Temperatura media del agua de los aparatos de producción de agua caliente sanitaria por acumulación, en °C.
- $T_{ACS,alr,med}$ Temperatura media ambiental, en °C.
- $\Delta T_{ACS,ens}$ Diferencia media de temperatura utilizada para determinar la potencia de mantenimiento, en °C.
- $P_{ACS,gen/acm,prd}$ Potencia de mantenimiento de los aparatos de producción de agua caliente sanitaria por acumulación, en W.
- $\eta_{ACS,gen}$ Rendimiento de la caldera. Pueden aplicarse como valores por defecto los siguientes valores mínimos de eficiencia:
 - $\eta_{ACS,gen} = 84\%$ para todos los aparatos, exceptuando los aparatos de condensación
 - $\eta_{ACS,gen} = 98\%$ para los aparatos de condensación.
- $Q_{ACS,gen,sld}$ Potencia útil de la caldera, en kWh/día.

La potencia de mantenimiento, $P_{ACS,gen/acm,prd}$ se calcula para:

- Para aparatos de cualquier volumen nominal con un tiempo de calentamiento superior o igual a 45 minutos y para aparatos con un volumen nominal inferior o igual a 200 l con un tiempo de calentamiento inferior a 45 minutos:

$$P_{ACS,gen/acm,prd} = 0,8 \cdot \left(11 \cdot (V_{ACS,gen/acm})^{0,67} + 0,015 \cdot P_{ACS,gen/acm,nmn} \right) \quad 6-58$$

- $P_{ACS,gen/acm,prd} = 250 \text{ W}$ si el valor de la ecuación 6-58 es inferior.

- Para los aparatos con un volumen nominal superior a 200 l con un tiempo de calentamiento inferior a 45 minutos:

$$P_{ACS,gen/acm,prd} = 0,8 \cdot \left(9 \cdot (V_{ACS,gen/acm})^{0,67} + 0,017 \cdot P_{ACS,gen/acm,nmn} \right) \quad 6-59$$

- $P_{ACS,gen/acm,prd} = 250 \text{ W}$ si el valor indicado por la ecuación 6-59 es inferior.

donde

- $V_{ACS,gen/acm}$ Volumen nominal de los aparatos de producción de agua sanitaria por acumulación, en litros.
- $P_{ACS,gen/acm,nmn}$ Potencia útil nominal de los aparatos de producción de agua sanitaria por acumulación, en W.

6.2.2.5. Calentamiento directo. Edificios terciarios. Acumulación por calentamiento eléctrico

Se diferencia en este apartado si se trata de calentamiento continuo o durante un periodo determinado del día.

Para el cálculo del calentamiento continuo la pérdida térmica acumulada $Q_{ACS,gen,prd}$ se calcula a partir de la pérdida de calor en el tiempo de espera ajustándose a la diferencia de temperatura real según la siguiente ecuación⁴⁵:

$$Q_{ACS,gen,prd} = \frac{3,6 \cdot Q_{ACS,gen/prd,nmn}}{1.000} \cdot \frac{T_{acm,med} - T_{ACS,alr,med}}{45} \cdot 24 \quad (\text{kWh}) \text{ 6-60}$$

donde

- $T_{acm,med}$ Temperatura media del agua en los aparatos de producción de agua caliente sanitaria por acumulación, en °C.
- $T_{ACS,alr,med}$ Temperatura media ambiental, en °C.
- $t_6 - t_5$ Duración del periodo de ensayo, en h. Ver imagen 6.10.
- $Q_{ACS,gen/prd,nmn}$ Pérdida de calor en el tiempo de espera a una diferencia media de temperatura de 45 °C durante el periodo de ensayo, en kWh.

En el caso de los aparatos de acumulación con encendido discontinuo, el agua caliente se estratifica térmicamente dentro del acumulador de agua caliente debido a que se establece previamente la condición de separar el periodo de calentamiento del periodo de extracción de agua caliente.

Las pérdidas térmicas dependen de la superficie del acumulador adyacente al agua caliente acumulada (no está lleno de agua las 24 horas del día dado que si suministra ACS a las tomas del usuario el agua caliente del acumulador se consume).

Así, la base del cálculo es determinar el valor medio de la superficie del aparato de producción de ACS por acumulación correspondiente a la parte del recipiente que permanece caliente durante un ciclo diario.

⁴⁵ Se asume que la pérdida térmica sea igual a la energía necesaria para mantener la temperatura del agua caliente, es decir, igual a la pérdida de calor en el tiempo de espera de los aparatos de producción de agua caliente sanitaria por acumulación. Según UNE EN 50440 [6.12].

Los cálculos se basan en un programa simplificado de extracción de agua caliente atribuyendo la demanda diaria de agua caliente a tres momentos del día: mañana, tarde y noche.

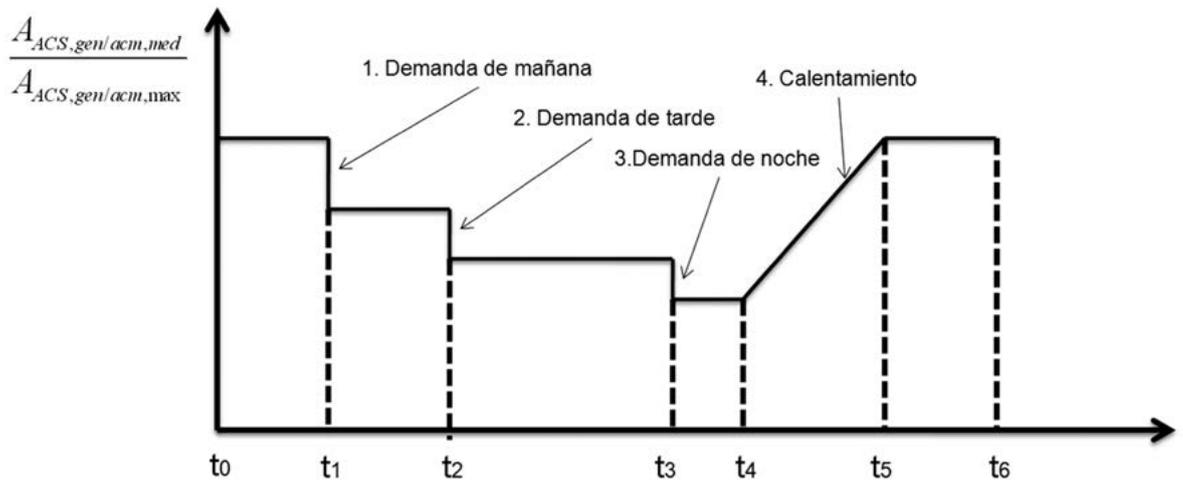


Imagen 6.10. Programa de extracción

La pérdida térmica del acumulador $Q_{ACS,gen/acm,prd}$ se calcula mediante:

$$Q_{ACS,gen,prd} = Q_{ACS,gen/prd,nmn} \cdot \left(\frac{A_{ACS,gen/acm,med}}{A_{ACS,gen/acm,max}} \right)^n \tag{MJ} 6-61$$

con

$$A_{ACS,gen/acm,max} = \pi \cdot D_{gen/acm} \cdot L_{gen/acm} + 2 \cdot \pi \cdot \frac{(D_{gen/acm})^2}{4} \cdot n \cdot \frac{L_{gen/acm}}{D_{gen/acm}} \tag{m^2} 6-62$$

$$A_{ACS,gen/acm,med} = \frac{1}{24} \cdot \sum_{i=0}^5 A_{ACS,gen/acm,med,i} \cdot (t_{i+1} - t_i) \tag{m^2} 6-63$$

cuando i corresponde a cada una de las etapas de tiempo según la figura 6-10 y:

$$i = t_0 \text{ y } t_5 \quad A_{ACS,gen/acm,med,i} = \pi \cdot D_{gen/acm} \cdot L_{gen/acm} + 2 \cdot \pi \cdot \frac{(D_{gen/acm})^2}{4} \tag{m^2} 6-64$$

$$t_1 \leq i \leq t_4 \quad A_{ACS,gen/acm,med,i} = \pi \cdot D_{gen/acm} \cdot L_{gen/acm} \cdot (1 - X_i) + \pi \cdot \frac{(D_{gen/acm})^2}{4} \tag{m^2} 6-65$$

con

$$t_1 \leq i \leq t_3 \quad X_i = \frac{\sum_{j=1}^i Q_{ACS,gen/acm,j}}{Q_{ACS,gen/acm,max}} \quad 6-66$$

$$i = t_4 \quad X_i = \frac{0,5 \cdot Q_{ACS,gen/acm,mdl}}{Q_{ACS,gen/acm,max}} \quad 6-67$$

$Q_{ACS,gen/acm,j}$ energía (kWh) correspondiente a la demanda de mañana (j = 1), demanda de tarde (j = 2) o demanda de noche (j = 3) de acuerdo con el modelo simplificado de extracción.

$$Q_{ACS,gen/acm,max} = \frac{4,18 \cdot V_{ACS,gen/acm} \cdot (60 - 15)}{1000} \quad (MJ) \quad 6-68$$

$$t_4 - t_0 = 16h \quad 6-69$$

$$t_5 - t_4 = \frac{Q_{ACS,gen/acm,mdl1} + Q_{ACS,gen/acm,nmn}}{3,6 \cdot \Phi_{ACS,gnr}} \quad (h) \quad 6-70$$

$$t_6 - t_5 = 8 - (t_5 - t_6) \quad (h) \quad 6-71$$

donde

- $D_{gen/acm}$ Diámetro externo, en m.
- $L_{gen/acm}$ Altura externa, en m.
- $n = 1,25$ Coeficiente de transferencia térmica.
- t_i Tiempo de encendido para la extracción de agua caliente o el calentamiento del agua, en h.
- $Q_{ACS,gen/acm,prd,nmn}$ Valor normalizado de las pérdidas térmicas, en kWh/día.
- $V_{ACS,gen/acm}$ Volumen nominal, en l.
- $\Phi_{ACS,gen}$ Potencia del suministro energético, en kW.
- $Q_{ACS,gen/acm,mdl}$ Energía suministrada atendiendo al modelo de extracción considerado, en kWh/día.
- $A_{ACS,gen/acm,max}$ Superficie considerada para el cálculo cuando el acumulador de agua se encuentra en régimen de temperatura, en m².
- $A_{ACS,gen/acm,med}$ Superficie del aparato equivalente al valor medio de un ciclo diario, en m².
- X_i Coeficiente que representa la cantidad relativa de energía suministrada en relación a la energía máxima acumulada.
- $Q_{ACS,gen/acm,max}$ Cantidad máxima de energía térmica que podría acumularse en el aparato, en kWh.

6.2.3. Pérdidas térmicas recuperables para el servicio de calefacción

Las pérdidas del sistema recuperables (para el servicio de calefacción) se expresan como una fracción de las pérdidas térmicas de generación y como una fracción de la energía auxiliar de generación.

$$Q_{ACS,dst,gen,rcb,CLF} = Q_{ACS,gen,prd} \cdot f_{ACS,dst,gen,rcb,CLF} + W_{ACS,gen,aux} \cdot f_{ACS,gen,aux,rcb,CLF} \quad 6-72$$

donde

- $f_{ACS,dst,gen,rcb,CLF}$ Fracción de las pérdidas térmicas de generación recuperables para la calefacción de locales.
- $f_{ACS,gen,aux,rcb,CLF}$ Fracción del consumo de energía auxiliar de generación recuperable para la calefacción de locales.

Las fracciones dependen, por ejemplo, de la localización de los tubos, de la localización de la bomba y del recipiente acumulador y también de la duración del periodo de calefacción. Sin embargo, las pérdidas recuperables solo pueden considerarse durante los periodos del año en los que la demanda de calefacción de locales es significativa.

A falta de información nacional (caso que ocurre en España) la propia 15316-3-3 [6.13] propone que las pérdidas del sistema no son recuperables para la calefacción de locales $Q_{ACS,gen,prd,rcb} = 0$.

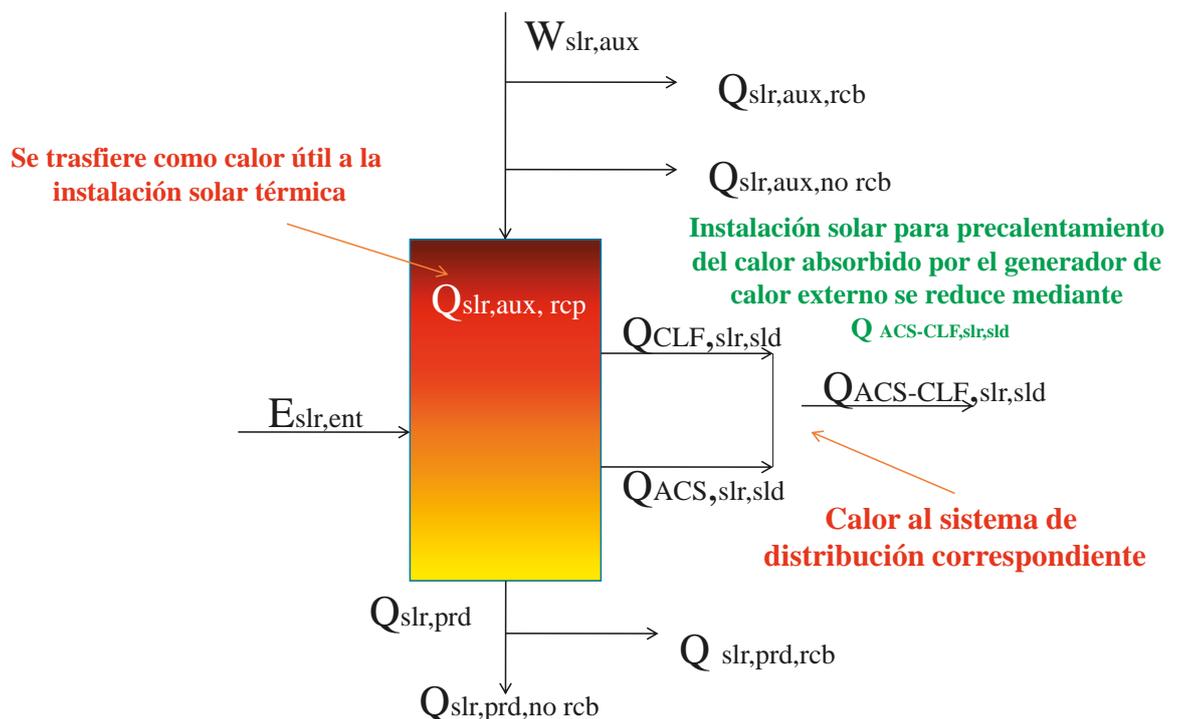
7 Sistemas solares térmicos

La energía solar térmica consiste en el aprovechamiento de la energía del sol para producir calor que puede aprovecharse para agua caliente sanitaria o calefacción⁴⁶.

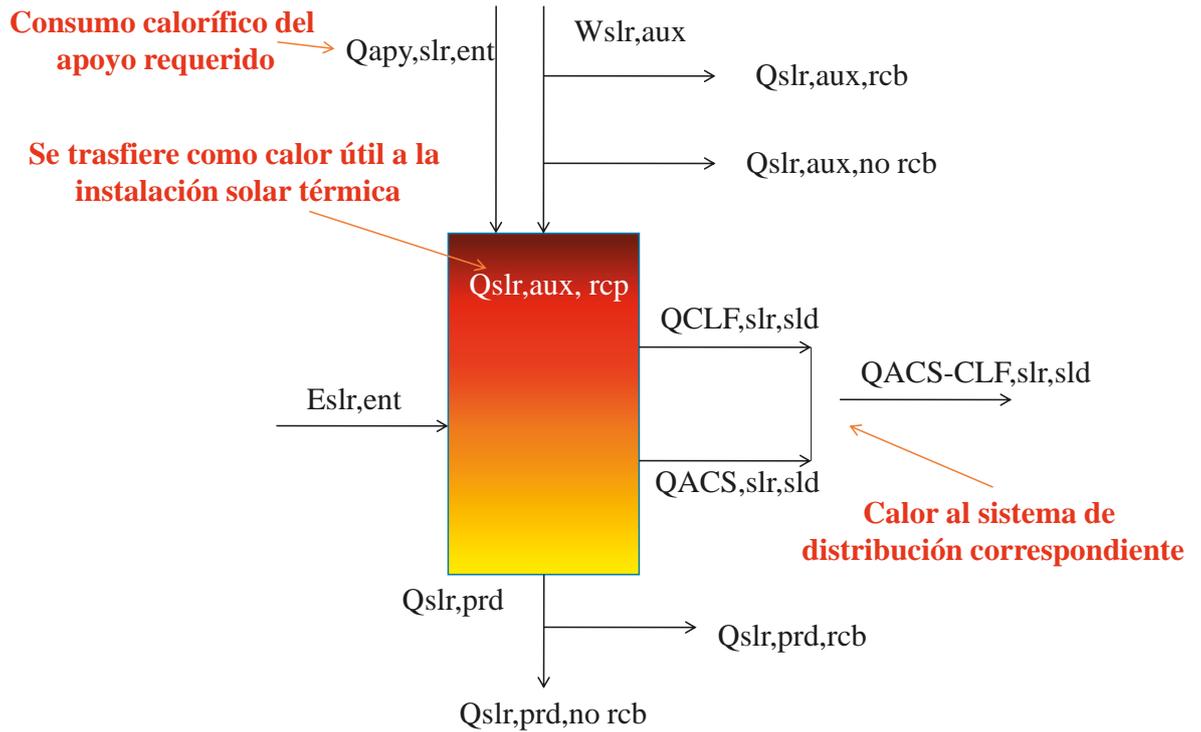
La instalación solar térmica disminuye los consumos térmicos de los generadores convencionales y sus tiempos de funcionamiento. Además, las pérdidas recuperadas de la instalación solar térmica pueden ser utilizadas para la calefacción reduciendo su consumo.

Por el contrario aumenta el consumo de electricidad en el edificio por los equipos relacionados con este tipo de instalaciones (bombas y equipos de control).

El balance térmico de las instalaciones solares térmicas se indica en las imágenes 7.1 en función de si necesitan o no apoyo:



⁴⁶ No es objeto de esta guía pero puede emplearse también en una máquina de refrigeración por absorción, que emplea calor en lugar de electricidad para producir frío.



Leyenda

- T Instalación solar térmica.
- $E_{slr,ent}$ Energía solar incidente en el plano del campo de captadores.
- $Q_{ACS,slr,sld}$ Calor suministrado por la instalación solar térmica al sistema de distribución de ACS.
- $Q_{CLF,slr,sld}$ Calor suministrado por la instalación solar térmica al sistema de distribución de calefacción.
- $Q_{ACS-CLF,slr,sld}$ Calor total suministrado por la instalación solar térmica al sistema de distribución de ACS y de calefacción.
- $W_{slr,aux}$ Energía eléctrica auxiliar para las bombas y dispositivos de control.
- $Q_{slr,aux,rcb}$ Energía eléctrica auxiliar para las bombas y dispositivos de control que se recupera. Parte de la energía eléctrica auxiliar que se recupera para calefacción.
- $Q_{slr,aux,rcp}$ Energía auxiliar eléctrica para las bombas y dispositivos de control que se recupera internamente. Parte de la energía eléctrica auxiliar que se transfiere como calor útil a la instalación solar térmica.
- $Q_{slr,aux,no rcb}$ Energía eléctrica auxiliar para las bombas y dispositivos de control no recuperable. Parte de la energía eléctrica auxiliar que no es recuperable para calefacción ni se transfiere como calor útil a la instalación solar térmica.
- $Q_{slr,prd}$ Pérdidas de calor totales de la instalación solar térmica.
- $Q_{slr,prd,rcb}$ Pérdidas de calor de la instalación solar térmica que son recuperables para calefacción.
- $Q_{slr,prd,no rcb}$ Pérdidas de calor de la instalación solar térmica no recuperables. Parte de las pérdidas de calor totales que no son recuperables para calefacción.
- $Q_{apy,slr,ent}$ Consumo calorífico de apoyo requerido.

Imagen 7.1. Equilibrio térmico para una instalación solar para precalentamiento con y sin apoyo

Para calcular los anteriores términos en la norma UNE EN 15316 4-3 [7.1] se proponen dos métodos con diferentes datos de partida. Se explica únicamente uno de los métodos, el que parte de los datos de los ensayos del componente (o los datos por defecto del componente) por ser el más desarrollado y el que recomienda la norma.

Este método está basado en el método f-chart [7.2] y comprende los siguientes pasos:

- Se calcula la energía solar térmica para calefacción $Q_{CLF,slr,sld,mns}$, agua caliente sanitaria $Q_{ACS,slr,sld,mns}$ y la energía solar térmica total.

- Se calcula el consumo de energía auxiliar de los elementos auxiliares de la instalación solar térmica $W_{slr,aux,mns}$.
- Se calculan las pérdidas de calor de la instalación solar térmica y cuántas son recuperables para el sistema de calefacción:
 - Del depósito de acumulación solar.
 - Del sistema de distribución entre la instalación solar térmica y el calentador de apoyo.

Se consideran tres casos:

1. Producción solo de agua caliente sanitaria. En este caso, la energía de la instalación solar térmica $Q_{ACS,slr,sld}$ se calcula utilizando únicamente el calor absorbido para el agua caliente sanitaria y las características del sistema de agua caliente sanitaria (superficie del captador, volumen del depósito de acumulación solar, etc.).
2. Solo calefacción. En este caso, la potencia de la instalación solar térmica $Q_{CLF,slr,sld}$ se calcula utilizando únicamente el calor absorbido para calefacción y las características de la instalación de calefacción (superficie del captador, volumen del depósito de acumulación solar, etc.).
3. Instalación solar combinada (agua caliente sanitaria y calefacción). En este caso la norma [7.1] propone dividir la superficie de apertura del captador y el volumen del depósito de acumulación solar (si existe un único acumulador) en dos, uno para calefacción y otro para agua caliente sanitaria y proceder como en los dos anteriores casos. La potencia solar total $Q_{ACS-CLF,slr,sld}$ sería:

$$Q_{ACS-CLF,slr,sld} = Q_{ACS,slr,sld} + Q_{CLF,slr,sld} \quad \text{(kWh) 7-1}$$

donde

- $Q_{ACS,slr,sld}$ Calor suministrado por la instalación solar térmica para el sistema de distribución (kWh) de agua caliente sanitaria.
- $Q_{CLF,slr,sld}$ Calor suministrado por la instalación solar térmica para el sistema de distribución (kWh) de calefacción.

En el caso tres la forma de dividir en dos la superficie del captador (valores X, Y y $f_{slr,dps}$) y el volumen del depósito es multiplicando por un factor en función de la energía absorbida por cada servicio y la total:

$$f_{slr,CLF/CLF+ACS} = \frac{Q_{CLF,slr,abs}}{Q_{CLF,slr,abs} + Q_{ACS,slr,abs}} \quad \text{7-2}$$

$$f_{slr,ACS/CLF+ACS} = \frac{Q_{ACS,slr,abs}}{Q_{CLF,slr,abs} + Q_{ACS,slr,abs}} \quad \text{7-3}$$

Así por ejemplo la división del volumen del depósito de acumulación solar queda para una instalación con un único depósito:

- El volumen del depósito de acumulación utilizado para el cálculo de la energía solar de calefacción es el volumen del depósito de acumulación solar multiplicado por $f_{slr,CLF/CLF+ACS}$.
- El volumen del depósito de acumulación utilizado para el cálculo de la potencia solar de agua caliente sanitaria es el volumen del depósito de acumulación solar multiplicado por $f_{slr,ACS/CLF+ACS}$.

Si la instalación incluye dos depósitos⁴⁷ de acumulación solar (uno para calefacción y otro para agua caliente sanitaria) cada uno de ellos se considera en el respectivo cálculo.

7.1. Energía solar térmica

La energía de la instalación solar térmica se calcula mes a mes mediante:

$$Q_{slr,sld,mns} = (a \cdot Y + b \cdot X + c \cdot Y^2 + d \cdot X^2 + e \cdot Y^3 + f \cdot X^3) \cdot Q_{slr,abs,mns} \tag{7-4}$$

donde

- $Q_{slr,abs,mns}$ Calor mensual absorbido kWh. Depende de:
 - Las necesidades a cubrir (ACS y/o calefacción).
 - La configuración de la instalación solar térmica (instalación de precalentamiento, instalación solar con apoyo, instalación solar sin apoyo).

Con el fin de simplificar y evitar los procedimientos de cálculo iterativos, se realizan las siguientes hipótesis:

- Para todos los servicios del edificio, el calor absorbido que debe aplicarse debe considerar las necesidades (demanda de calefacción, ACS) y las pérdidas de calor de los sistemas de distribución. El valor de este calor absorbido es un dato de partida para este método.
- Para una instalación solar de precalentamiento, las pérdidas de calor entre la instalación solar térmica y el calentador de apoyo $Q_{apy,dst,prd,mns}$ no se deben sumar al calor absorbido $Q_{slr,abs,mns}$.
- Las pérdidas de calor de la instalación solar térmica $Q_{slr,prd,mns}$ (depósito de acumulación y conexión entre apoyo y paneles si existen) no deben añadirse al calor absorbido $Q_{slr,abs,mns}$.
- a,b,c,d,e Factores de correlación dependiendo del tipo de instalación (acumulación de agua). Los valores, calculados según el método f-chart, están recogidos en tabla 7.1.

Factores de correlación	Tipo de instalación	
	Acumulación de agua ^a	Suelo radiante solar ^b
a	1,029	0,863
b	-0,065	-0,147

⁴⁷ Es importante destacar que el cálculo de los volúmenes del depósito de acumulación para calefacción y agua caliente sanitaria se realiza en base mensual. Por otro lado la división en función del calor absorbido, determinará volúmenes demasiado pequeños del depósito de acumulación para agua caliente sanitaria.

Factores de correlación	Tipo de instalación	
	Acumulación de agua ^a	Suelo radiante solar ^b
c	- 0,245	- 0,263
d	0,0018	0,008
e	0,0215	0,029
f ^c	0	0,025

^a Los captadores se conectan al depósito de acumulación. Para este tipo de instalación se ha determinado un conjunto de coeficientes de correlación siguiendo el método f-chart.

^b Los captadores se conectan directamente al suelo radiante; el suelo actúa tanto como depósito de acumulación como de intercambiador de calor.

^c Nuevo coeficiente de correlación introducido para una mejor adaptación con la instalación de suelo radiante solar.

Tabla 7.1. Coeficientes tipo de la instalación

- f Factor de correlación específico del suelo radiante directo.
- X Factor adimensional (-). Depende de las prestaciones del captador, de la diferencia de temperatura y del volumen del depósito de acumulación (considerado por el coeficiente de corrección):

$$X = \frac{A_{cpt} \cdot U_{cpt} \cdot \eta_{cpt} \cdot \Delta T_{slr,rfr} \cdot f_{slr,dps} \cdot t_{slr,mes}}{Q_{slr,abs,mns} \cdot 1.000} \tag{7-5}$$

donde

- A_{cpt} Superficie de apertura del captador. UNE EN ISO 9806 [7.3] (m²).
- U_{cpt} Coeficiente de pérdidas de calor del circuito de captación solar (captador y tubos) (W/(m²·K)).

El coeficiente de pérdidas de calor del circuito de captación solar, de los captadores y de los tubos se determina a partir de las características del captador y del aislamiento de los tubos. El coeficiente de pérdida de calor se calcula mediante:

$$U_{cpt} = a_1 + a_2 \cdot 40 + \frac{U_{tbs,cpt}}{A_{cpt}} \tag{7-6}$$

donde

- a_1 Coeficiente de pérdida de calor del captador solar en relación a la superficie de apertura. UNE EN ISO 9806 [7.3]. Los valores tipo⁴⁸ son:

$a_1 = 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ (captadores de vacío).

$a_1 = 3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ (captadores con cubierta).

$a_1 = 15 \text{ W/m}^2\text{K}$ (captadores sin cubierta).

⁴⁸ Para utilizarlos cuando el propósito es realizar el cálculo de una instalación solar térmica tipo.

los valores de penalización son⁴⁹:

$a_1 = 3 \text{ W/m}^2\text{K}$ (captadores de vacío).

$a_1 = 6 \text{ W/m}^2\text{K}$ (captadores con cubierta).

$a_1 = 20 \text{ W/m}^2\text{K}$ (captadores sin cubierta).

- a_2 Dependencia de la temperatura del coeficiente de pérdida de calor en relación a la superficie de apertura. UNE EN ISO 9806 [7.3]. Valor por defecto $a_2 = 0 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- $U_{\text{tbs,cpt}}$ Coeficiente global de pérdida de calor de todos los tubos del circuito de captación, incluyendo los tubos entre los captadores y la red de tubos entre el circuito de captación y el depósito de acumulación solar:
 - Si se conocen el tubo y el aislamiento del circuito de captación, entonces $U_{\text{tbs,cpt}}$ puede calcularse utilizando las fórmulas para tubos aislados.
 - Si no se conocen las características del circuito de captación, $U_{\text{tbs,cpt}}$ se determina de acuerdo con:

$$U_{\text{tbs,cpt}} = 5 + 0,5 \cdot A_{\text{cpt}} \quad 7-7$$

- η_{cpt} Es el factor de eficiencia del circuito de captación solar teniendo en cuenta la influencia del intercambiador de calor (-). Se puede calcular a partir de:

$$\eta_{\text{cpt}} = 1 - \Delta\eta = 1 - \frac{\eta_{\text{opt}} \cdot A_{\text{cpt}} \cdot a_1}{U_{\text{int}}} \quad 7-8$$

donde

- η_{opt} Rendimiento óptico del captador establecido de acuerdo con la UNE EN ISO 9806 [7.3].
- A_{cpt} Superficie de apertura del captador (m^2)
- a_1 Coeficiente de pérdida de calor de primer orden del captador solar. UNE EN ISO 9806 [7.3].
- U_{int} Coeficiente de transferencia de calor del intercambiador de calor (W/K).

Se puede tomar un valor para la eficiencia tipo del circuito de captación η_{cpt} igual a 0,9 y de penalización igual a 0,8.

- $\Delta T_{\text{slr,rfr}}$ Diferencia de la temperatura de referencia (K)

$$\Delta T_{\text{slr,rfr}} = T_{\text{slr,rfr}} - T_{\text{ext,med}} \quad 7-9$$

⁴⁹ Utilizados para penalizar los componentes «desconocidos» (es decir, instalaciones y componentes no ensayados y, o certificados) con el fin de fomentar la utilización de datos de alta calidad para el cálculo.

donde

- $T_{ext,med}$ Temperatura media del aire exterior en un periodo determinado.
- $T_{slr,rfr}$ Temperatura de referencia dependiendo de la aplicación y del tipo de depósito de acumulación.
 - Instalación de calefacción: $T_{slr,rfr} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$.
 - Instalación de agua caliente sanitaria:

$$T_{slr,rfr} = 11,6 + 1,18 \cdot T_{slr,ACS} + 3,86 \cdot T_{red} - 1,32 \cdot T_{ext,med} \quad 7-10$$

donde

- $T_{slr,ACS}$ Temperatura de ACS que se establece en $40 \text{ }^\circ\text{C}$.
- T_{red} Temperatura de red ($^\circ\text{C}$) (idéntica para cada mes).
- $f_{slr,dps}$ Factor de corrección del volumen del depósito de acumulación.

En el caso del depósito de acumulación de agua, el coeficiente f_{dps} de corrección del depósito de acumulación se indica mediante:

$$f_{slr,dps} = \left(\frac{V_{slr,rfr}}{V_{acm,slr}} \right)^{0,25} = \left(\frac{75 \cdot A_{cpt}}{V_{acm,slr}} \right)^{0,25} \quad 7-11$$

donde

- $V_{slr,rfr}$ Volumen de referencia igual a 75 l por m^2 del captador.
- $V_{acm,slr}$ Volumen del depósito de acumulación solar.

En el caso de una instalación solar de precalentamiento, $V_{acm,slr}$ es igual a V_{nmn} (volumen nominal).

En el caso de una instalación solar con apoyo el volumen $V_{acm,slr}$ del depósito de acumulación solar se indica mediante:

$$V_{acm,slr} = V_{slr,nmn} \cdot (1 - f_{slr,aux}) \quad 7-12$$

donde

- $f_{slr,aux}$ Fracción del volumen del depósito de acumulación utilizado para calentamiento de apoyo:

$$f_{slr,aux} = X \cdot \frac{V_{slr,spr}}{V_{slr,nmn}} \quad 7-13$$

donde

- $V_{slr,spr}$ Volumen del depósito de acumulación de apoyo contenido entre la parte superior del depósito y la parte inferior del elemento de apoyo (elemento eléctrico o intercambiador de calor).

- x Coeficiente de control igual a:
 - 1 si el apoyo es continuo.
 - 0,7 si el apoyo es nocturno.
 - 0,3 si el apoyo es de emergencia.
- $V_{slr,nmn}$ Volumen nominal del depósito de acumulación.
- t_{mns} Duración del mes (h).
- Y Valor adimensional. Depende de las prestaciones del captador y la irradiancia solar sobre el plano del captador:

$$Y = \frac{A_{cpt} \cdot IAM \cdot \eta_{opt} \cdot \eta_{cpt} \cdot I_{mns} \cdot t_{slr,mes}}{Q_{slr,abs,mns}}$$

7-14

donde

- IAM Modificador del ángulo de incidencia del captador = $K_{50}(\tau\alpha)$ norma UNE EN ISO 9806 [7.3].
El modificador IAM del ángulo de incidencia depende del tipo de captador. Los valores por defecto son:
 - Para captadores planos con cubierta, IAM = 0,94.
 - Para captadores sin cubierta, IAM = 1,00.
 - Para captadores de vacío con absorbente plano, IAM = 0,97.
 - Para captadores de vacío con absorbente circular, IAM = 1,00.
- η_{opt} Rendimiento óptico del captador, UNE EN ISO 9806 [7.3].
 - Valor tipo: $\eta_{opt} = 0,8$.
 - Valor de penalización: $\eta_{opt} = 0,6$.
- $I_{mns} t_{slr,mns}$ Irradiancia solar media sobre el plano del captador durante el periodo (kWh/m²) considerado. Existen tres posibles categorías (valores) en función de la orientación de los captadores:
 - Cuando los captadores están orientados entre el sureste y el suroeste y se inclinan en el rango de la latitud -20° a la latitud +5° desde la horizontal y no están ensombrecidos por ningún obstáculo.
 - Para el resto de los casos, los valores para $I_{mns} t_{slr,mns}$ son los valores indicados anteriormente multiplicados por un coeficiente de 0,8, siempre que la orientación de los captadores esté dentro del rango de $\pm 90^\circ$ al sur (entre el este y el oeste) y la altura media de los obstáculos en el horizonte sea inferior a 20° (el ángulo de inclinación es arbitrario).
 - Para todo el resto de configuraciones, no se tiene en cuenta la instalación solar (no influye en el rendimiento energético del edificio).

7.2. Energía auxiliar

Algunas instalaciones solares térmicas utilizan energía eléctrica auxiliar y otras no:

- Para una instalación por termosifón (instalación solar térmica con autocirculación), el consumo de energía auxiliar es cero.
- Para una instalación con circulación forzada, se tiene en cuenta el consumo de energía auxiliar para las bombas y dispositivos de control.

El consumo de energía auxiliar para las bombas en la instalación solar térmica se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$W_{slr,aux,mns} = P_{slr,aux} \cdot t_{slr,bmb,mns} \tag{7-15}$$

donde

- $P_{slr,aux}$ Potencia nominal de las bombas (W). Si no se conoce la potencia nominal, los valores por defecto son:

– Tipo $P_{slr,aux} = 25 + 2 \cdot A_{cpt}$ 7-16

– Valor de penalización $P_{slr,aux} = 50 + 5 \cdot A_{cpt}$ 7-17

- $t_{slr,bmb,mns}$ Tiempo de funcionamiento mensual de la bomba. El tiempo de funcionamiento mensual se determina por la distribución del tiempo de funcionamiento anual (el tiempo de funcionamiento anual de acuerdo con la UNE EN ISO 9806 [7.3] es de 2.000 h) correspondiente a la distribución mensual de la irradiancia solar (por ejemplo, si la irradiación en enero es el 5% de la irradiación anual, el tiempo de funcionamiento en enero de la bomba es el 5% el tiempo de funcionamiento anual de la bomba).

7.3. Pérdidas térmicas

Las pérdidas térmicas que se consideran en este apartado son las que se producen en el depósito de acumulación de energía solar y la de los tubos entre el depósito de acumulación solar y el calentador de apoyo.

Las pérdidas de calor del depósito o depósitos de acumulación se determinan mediante el coeficiente global de pérdida de calor $U_{slr,dps}$ (norma UNE EN 12977-3 [7.4]) (W/K).

$$U_{slr,dps} = 0,16 \cdot (V_{slr,dps})^{0,5} \tag{7-18}$$

donde $V_{slr,dps}$ es el volumen del depósito de acumulación solar (l).

Para agua caliente sanitaria, las pérdidas mensuales de calor se calculan mediante:

$$Q_{ACS,slr,dps,prd,mns} = \frac{U_{slr,dps} \cdot (T_{ACS} - T_{alr,med}) \cdot \left(\frac{Q_{ACS,slr,sld,mns}}{Q_{ACS,slr,abs,mns}} \right) \cdot t_{slr,mes}}{1.000} \tag{7-19}$$

donde

- $t_{slr,mes}$ Duración del mes (h).
- T_{ACS} Temperatura de regulación del agua caliente sanitaria $T_{ACS} = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- $T_{alr,med}$ Temperatura media del aire ambiental:
 - Si el depósito de acumulación solar se instala en el espacio calefactado: $T_{alr,med} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$.
 - Si el depósito de acumulación solar se instala en un espacio no calefactado: $T_{alr,med} = T_{ext,med} + (20\text{ }^{\circ}\text{C} - T_{ext,med}) / 2$.
 - Si el depósito de acumulación solar se instala en el exterior: $T_{alr,med} = T_{ext,med}$.

Para calefacción, las pérdidas de calor mensuales se calculan mediante:

$$Q_{CLF,slr,dps,prd,mns} = \frac{U_{slr,dps} \cdot (T_{CLF} - T_{alr,med}) \cdot \left(\frac{Q_{CLF,slr,sld,mns}}{Q_{CLF,slr,abs,mns}} \right) \cdot t_{slr,mes}}{1.000} \quad 7-20$$

El cálculo de las pérdidas de calor $Q_{apy,dst,prd,mns}$ del sistema de distribución entre la instalación solar térmica y el calentador de apoyo se calculan mediante.

Tubos aislados
$$Q_{apy,dst,prd,mns} = \frac{0,02 \cdot Q_{slr,abs,med} \cdot Q_{slr,sld,med}}{Q_{slr,abs,med}} \quad 7-21$$

Tubos no aislados
$$Q_{apy,dst,prd,mns} = \frac{0,05 \cdot Q_{slr,abs,med} \cdot Q_{slr,sld,med}}{Q_{slr,abs,med}} \quad 7-22$$

Las pérdidas totales de calor de la instalación solar térmica se calculan mes a mes, mediante:

$$Q_{slr,prd,mns} = Q_{ACS,slr,dps,prd,mns} + Q_{CLF,slr,dps,prd,mns} + Q_{apy,dst,prd,mns} \quad 7-23$$

7.4. Energía térmica recuperable para calefacción

La parte recuperable del consumo de energía auxiliar de la bomba es del 50% de su consumo eléctrico $Q_{slr,aux,rcb} = W_{slr,aux}$.

La parte recuperable de las pérdidas de calor del depósito de acumulación solar ($Q_{slr,dps,prd,rcb}$) y de las pérdidas de calor de distribución entre la instalación solar térmica y el calentador de apoyo ($Q_{apy,dst,prd,rcb}$) podrían recuperarse solo durante la estación de calefacción. Durante la estación de calefacción, la parte recuperable de estas pérdidas es:

- 100% si el componente está instalado en el espacio calefactado
- 50% si el componente está instalado en un espacio no calefactado
- 0% si el componente está instalado en el exterior.

Las pérdidas recuperables totales de la instalación solar térmica se calculan mes a mes, mediante:

$$Q_{slr,prd,rcb,mns} = Q_{slr,aux,rcb} + Q_{slr,dps,prd,rcb} + Q_{apy,dst,prd,rcb} \quad 7-24$$

7.5. Reducción del tiempo del generador de apoyo

Una instalación solar térmica reduce el tiempo de funcionamiento de otros generadores de calor (de apoyo). Esto influye en el consumo de energía auxiliar y en algunos casos, en las pérdidas de calor del generador de calor no solar, de ahí que la eficiencia energética del edificio aumente debido a la reducción de:

- Consumo de energía auxiliar.
- Pérdidas térmicas en la parada.

7.5.1. Reducción del consumo de energía auxiliar

Se asume, que el consumo de energía auxiliar del generador o generadores de calor de apoyo se reduce de forma proporcional a la fracción del calor absorbido por la instalación solar térmica ($Q_{slr,abs,mns}$). Esta fracción solar se indica mes a mes, mediante:

$$f_{slr,rdc,mns} = \frac{Q_{slr,slr,mns}}{Q_{slr,abs,mns}} \quad 7-25$$

La reducción del consumo de energía auxiliar del generador o generadores de calor no solares (de apoyo), teniendo en cuenta la instalación solar térmica, se indica mediante:

$$W_{aux,apy,nmn,mns} = W_{aux,apy,sin-sol,mns} \cdot (1 - f_{slr,rdc,mns}) \quad 7-26$$

donde

- $W_{aux,apy,sin-sol,mns}$ Consumo de energía auxiliar nominal mensual⁵⁰ del generador o generadores no solares (de apoyo) (kWh).

7.5.2. Reducción de las pérdidas de calor

Si la instalación solar térmica cubre el total de la demanda durante largos periodos, el generador o generadores de calor no solares (de apoyo) se pueden apagar y así se ahorran las pérdidas de calor⁵¹.

⁵⁰ El consumo de energía auxiliar «nominal» se define como el consumo de energía auxiliar del generador o generadores de calor no solares sin considerar la instalación solar térmica.

⁵¹ Si se actúa de esta forma se debe garantizar en todo momento la seguridad microbiológica del agua caliente sanitaria.

Utilizando la definición de $f_{slr,rdc,mns}$ anterior, la reducción de las pérdidas de calor del generador o generadores de calor no solares (de apoyo) considerando la instalación solar térmica, se calcula mediante⁵²:

$$f_{slr,rdc,mns} < 0,8 \quad Q_{apy,dst,prd,mns} = Q_{apy,dst,prd,sin-sol,mns} \quad 7-27$$

$$f_{slr,rdc,mns} > 0,8 \quad Q_{apy,dst,prd,mns} = (1 - f_{slr,rdc,mns}) \cdot Q_{apy,dst,prd,sin-sol,mns} \quad 7-28$$

donde

- $Q_{apy,dst,prd,sin-sol,mns}$ Pérdidas mensuales de calor «nominales»⁵³ del generador o generadores de calor no solares (de apoyo) (kWh).

⁵² Se asume que el generador o generadores de calor no solares (de apoyo) no pueden apagarse durante un largo periodo si la fracción solar de calor absorbido por la instalación solar térmica (en base mensual) es inferior al 80% del calor total absorbido.

⁵³ Las pérdidas de calor «nominales» se definen como las pérdidas de calor del generador o generadores de calor no solares sin considerar la instalación solar térmica.

8 Anexo I: Ejercicios de aplicación normas CEN

Se desarrollan en este capítulo varios ejemplos para aplicar la metodología desarrollada en anteriores apartados sobre un edificio teórico. Las operaciones descritas están realizadas con una hoja de cálculo y solo aparecen mostradas como máximo dos cifras decimales, aunque la hoja con la que se realizó opera con todas las cifras significativas.

8.1. Calefacción

Se trata de un edificio de viviendas situado en la ciudad de Madrid (zona climática D3) con una longitud de planta $L_{lrg} = 10$ m y ancho $L_{anch} = 8$ m, dos plantas $n_{pln} = 2$ con una altura de la planta $h_{pln} = 3$ m. Planta calentada: $A_{zon} = 160$ m². El año de construcción es el 2007 (posterior al CTE).

Con el programa LIDER y la herramienta PostCALENER se ha obtenido para el uso de viviendas (horas de funcionamiento de 8 a 24 h ambas inclusive, 17 horas al día) una demanda anual de calefacción de 10.617 kWh para los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo, octubre, noviembre y diciembre ($t_{CLF,ON-OFF} = 4.131$ h) y se ha demandado energía durante esos meses ($t_{CLF,ON} = 2.995$ h.)

Mes	Q_{CLF} (Wh)	Q_{CLF} (kWh/m ²)	$t_{CLF,ON}$ (h)	$t_{CLF,ON-OFF}$ (h)
Enero	2.352.397	15	496	527
Febrero	1.805.592	11	448	476
Marzo	1.293.771	8	461	527
Abril	838.072	5	400	510
Mayo	0	0	0	527
Junio				
Julio				
Agosto				
Septiembre				
Octubre	360.569	2	219	527
Noviembre	1.605.493	10	475	510
Diciembre	2.360.663	15	496	527
Total	10.616.558	66	2.995	4.131
Total kWh	10.617			

Tabla 8.1. Ejemplo de cálculo, datos obtenidos del PostCALENER (nivel de ventilación 1 ren/h)

La carga térmica de diseño (potencia de los emisores de calor, radiadores estándar con sistema de equilibrio estático y control con actuación termostática) es de $\Phi_{CLF,ems} = 14.000 \text{ W}$ ($87,5 \text{ W/m}^2$) con un total de 12 radiadores. Las temperaturas de trabajo, situación, equilibrado y control de los emisores son las siguientes:

- Temperatura de impulsión de diseño: $T_{imp,dñ,ems} = 55 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Temperatura de retorno de diseño: $T_{rtr,dñ,ems} = 45 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Colocación de los radiadores: todos en pared externa con protección de radiación en área acristalada.
- Control con actuación termostática (colocación del termostato en local principal, salón).
- Radiadores estándar: $\Delta p_{pln} = 0$, generador: $\Delta p_{gnr} = 1 \text{ kPa}$.

Se trata de un edificio de nueva construcción con las siguientes características del subsistema de distribución:

- Edificios nuevos.
- Sistema de calefacción bitubo.
- Bomba con diferencia de presión variable (Δp variable).
- Bomba no aislada.
- Temperatura de impulsión variable.
- No está sobredimensionado.
- Sistema equilibrado estáticamente.

Las prestaciones del generador se han realizado bajo ensayos de acuerdo a lo que requiere la Directiva 92/42/CEE):

- Caldera de condensación (de acero) modulante situada en el exterior de las viviendas (única caldera) en sala de calderas (caldera nueva bien asilada).
- $\Phi_{Pn} = 20 \text{ kW}$ $\eta_{Pn} = 96\%$ $P_{aux,Pn} = 210$.
- $\eta_{Pint} = 106\%$ $W_{P_{aux,Pint}} = 60 \text{ W}$ $P_{aux,P0} = 10 \text{ W}$.
- Combustible gas natural.
- Método de ignición, sin piloto de encendido permanente.
- Tipo de quemador, modulante (potencia mínima $\Phi_{cmb,min} = 5 \text{ kW}$) ayudado por ventilador (quemador modulante aire-gas).
- Generador controlado por temperatura exterior.

Se comienza calculando las necesidades de energía en el subsistema de emisión en la estación completa (periodo anual). En los radiadores no existen consumo de energía eléctrica debido a ventiladores ni bombas adicionales $W_{CLF,bmb-vnt} = 0$ ni existe consumo energético por los sistemas de control ecuación 5-3:

$$W_{CLF,ems,aux} = W_{CLF,ems,cntr} + W_{CLF,ems,bmb-vnt} = 0$$

La parte de esta energía que puede ser recuperada para abastecer la demanda de calefacción es (ecuación 5-8).

$$Q_{CLF,ems,aux,rcp} = \xi_{CLF,ems,aux,rcp} \cdot W_{CLF,ems,aux} = 0,8 \cdot 0 = 0 \text{ kWh}$$

Se analizan ahora las pérdidas térmicas en el sistema de emisión. Para calcular las pérdidas térmicas se proponen dos métodos en el capítulo 5 apartados 5.1.2.1 y 5.1.2.2.

Con el método de la eficiencia (apartado 5.1.2.1) se necesita conocer la diferencia de temperatura del emisor en las condiciones de diseño con una temperatura interior de referencia de 20 °C:

$$\Delta T_{ln_{CLF,ems,dñ}} = \frac{T_{imp,dñ,ems} + T_{rtr,ems,dñ}}{2} - T_{int,rfr} = \frac{55 + 45}{2} - 20 = 30 \text{ °C}$$

Con esto se puede obtener de la tabla 5.4 (emisores de calor radiadores y altura de los espacios menor de 4 m) $\eta_{CLF,ems,str1} = 0,95$ y $\eta_{CLF,ems,str2} = 0,88$ y mediante la ecuación 5-13 se obtiene $\eta_{CLF,ems,str}$:

$$\eta_{CLF,ems,str} = \frac{\eta_{CLF,ems,str1} + \eta_{CLF,ems,str2}}{2} = \frac{0,95 + 0,88}{2} = 0,92$$

De la misma tabla se obtiene $\eta_{CLF,ems,psc} = 1$ y $\eta_{CLF,ems,cntr} = 0,88$ y se obtiene $\eta_{CLF,ems}$ de la ecuación 5-11:

$$\eta_{CLF,ems} = \frac{1}{\left(4 - (\eta_{CLF,ems,str} + \eta_{CLF,ems,psc} + \eta_{CLF,ems,cntr})\right)} = \frac{1}{\left(4 - (0,95 + 1 + 0,88)\right)} = 0,84$$

De la tabla 5.5 se obtiene $f_{CLF,ems,hdr} = 1,01$, $f_{CLF,ems,intr} = 0,97$, $f_{CLF,ems,rdc} = 1$ y finalmente se obtiene $Q_{CLF,ems,prd,mns}$ (ecuación 5-10):

$$Q_{CLF,ems,prd,mns} = \left(\frac{f_{CLF,ems,hdr} \cdot f_{CLF,ems,intr} \cdot f_{CLF,ems,rdc}}{\eta_{CLF,ems}} - 1 \right) \cdot Q_{CLF,mns}$$

$$Q_{CLF,ems,prd} = \left(\frac{1,01 \cdot 0,97 \cdot 1}{0,84} - 1 \right) \cdot Q_{CLF} = 0,18 \cdot Q_{CLF} = 0,18 \cdot 10.617 = 1.917 \text{ kWh}$$

Y por tanto la energía térmica de entrada en el subsistema de emisión es (ecuación 5-2):

$$Q_{CLF,ems,ent} = Q_{CLF,ems,sld} + Q_{CLF,ems,prd} - Q_{CLF,ems,aux,rcp}$$

$$Q_{CLF,ems,ent} = 10.617 + 1.917 - 0 = 12.533 \text{ kWh}$$

Operando de igual forma se puede obtener los resultados mes a mes recogidos en la tabla 8.2.

Variable	Q_{CLF}	$t_{CLF,ON-OFF}$	$W_{CLF,dst\ aux}$	$Q_{CLF,ems,aux,rcp}$	$Q_{CLF,ems\ prd}$	$Q_{CLF,ent\ ems}$	$\eta_{CLF,ems}$
Mes	kWh	h	kWh	kWh	kWh	kWh	-
Enero	2.352	527	0	0	425	2.777	83,87
Febrero	1.806	476	0	0	326	2.132	
Marzo	1.294	527	0	0	234	1.527	
Abril	838	510	0	0	151	989	
Mayo	0	527	0	0	0	0	-
Junio	0				0	0	
Julio	0				0	0	
Agosto	0				0	0	
Septiembre	0				0	0	
Octubre	361	527	0	0	65	426	83,87
Noviembre	1.605	510	0	0	290	1.895	
Diciembre	2.361	527	0	0	426	2.787	
Total (kWh)	10.617	4.131	0	0	1.917	12.533	
Total (kWh/m ²)	66,4				12,0	78,3	

Tabla 8.2. Ejemplo de cálculo, datos del subsistema de emisión

La eficiencia energética anual, obtenida de los valores obtenidos del cálculo mensual cuyos resultados quedan recogidos en la tabla 8.2, del subsistema de emisión es (ecuación 4-3 con los coeficientes de paso de la tabla 4.1 de energía final a energía primaria):

$$\eta_{CLF,ems} = \frac{Q_{CLF,ems,sld}}{f_{GN} \cdot Q_{CLF,ems,ent} + f_{elc} \cdot W_{CLF,ems,aux}} = \frac{10.617}{1,01 \cdot 12.533 + 2,6 \cdot 0} = 83,87\%$$

Se realiza a continuación el mismo cálculo para el método del incremento equivalente de la temperatura interior. Para ello es necesario conocer $\Delta T_{CLF,ems,str}$ y $\Delta T_{CLF,ems,cnt}$. Por tratarse el emisor de calor de un radiador se obtiene de la tabla 5.21 $\Delta T_{CLF,ems,str} = 0,2^\circ C$ ($\Delta T_{ln_{CLF,ems,dsñ}} = (T_{ems,imp,dsñ} + T_{ems,dsñ,rtr})/2 - T_{loc,rfr} = (55+45)/2 - 20 = 30 < 40K$). Para el cálculo de $\Delta T_{CLF,ems,cnt}$ se supone los valores más desfavorables (no se tienen valores) de la norma UNE EN 215 [5.7] y por tanto según la tabla 5.22:

$$\Delta T_{CLF,ems,cnt} = 0,45 \cdot (\text{histéresis} + \text{efecto de la temperatura del agua}) = 0,45 \cdot (1 + 1,5) = 1,1^\circ C$$

$$\Delta T_{loc,inc} = T_{loc,inc} - T_{loc,ini} = \Delta T_{CLF,ems,str} + \Delta T_{CLF,ems,cnt} = 0,2 + 1,1 = 1,3^\circ C$$

Por tanto:

$$Q_{CLF,ems,prd} = \frac{\Delta T_{loc,inc}}{T_{loc,ini} - T_{ext,med}} \cdot Q_{CLF} = \frac{1,3}{20 - 10} \cdot 10.617 = 0,10 \cdot 10.617 = 1.380 \text{ kWh}$$

Operando de igual forma se puede obtener los resultados mes a mes recogidos en la tabla 8.3.

	Q_{CLF}	$T_{ext, med}^a$	$W_{CLF,dst aux}$	$Q_{CLF,ems,aux,rcp}$	$Q_{CLF,ems prd}$	$Q_{CLF,ent ems}$	$\eta_{CLF,ems}$
	kWh	°C	kWh	kWh	kWh	kWh	–
Enero	2.352	6	0	0	221	2573	90,51
Febrero	1.806	7	0	0	187	1993	89,72
Marzo	1.294	10	0	0	167	1461	87,67
Abril	838	12	0	0	139	977	84,94
Mayo	0	16	0	0	0	0	
Junio	0	0			0	0	
Julio	0	0			0	0	
Agosto	0	0			0	0	
Septiembre	0	0			0	0	
Octubre	361	15	0	0	90	450	79,31
Noviembre	1.605	9	0	0	197	1803	88,19
Diciembre	2.361	6	0	0	226	2586	90,37
Total (kWh)	10.617	10 (valor medio)	0	0	1.226	11.843	
Total (kWh/m²)	66,4				7,7	74,0	

^a Valor promedio de la temperatura seca del mes. Obtenida de los archivos de postCALENER.

Tabla 8.3. Ejemplo de cálculo, subsistema de emisión por el método de incremento de temperatura

Observar que no se obtiene igual valor que en el caso de hacer un cálculo anual (1.380>1.226) pues los valores medios mensuales de la temperatura seca exterior, evidentemente, no coinciden con el valor medio anual.

La eficiencia energética anual del subsistema de emisión es (ecuación 4-3 con los coeficientes de paso de la tabla 4.1 de energía final a energía primaria):

$$\eta_{CLF,ems} = \frac{Q_{CLF,ems,sld}}{f_{GN} \cdot Q_{CLF,ems,ent} + f_{elc} \cdot W_{CLF,ems,aux}} = \frac{10.617}{1,01 \cdot 11.843 + 2,6 \cdot 0} = 88,76\%$$

Los valores mensuales quedan recogidos en la tabla 8.3.

Los datos que se necesitan en este segundo método no están suficientemente contrastados por los fabricantes y mucho menos están expuestos en los catálogos de los equipos. Se aconseja por tanto el primer procedimiento pues la obtención de los datos es más sencilla (los fabricantes generalmente los ofrecen en sus catálogos) y los valores por defecto propuestos están más contrastados.

Se describe a continuación las prestaciones del subsistema de distribución (según lo indicado en el apartado 5.2 de este documento). El dato inicial es $Q_{CLF,dst,sld} = Q_{CLF,ems,ent} = 12.533 \text{ kWh}$.

Para ello, se calcula en primer lugar las condiciones de diseño para el caudal de agua de distribución (pérdidas de carga en las condiciones de diseño) para así obtener la potencia eléctrica de la bomba de circulación (ecuación 5-24).

$$V_{CLF,dst,dñ} = \frac{3.600 \cdot \Phi_{CLF,ems}}{C_{e,agua} \cdot \rho_{agua} \cdot \Delta T_{CLF,dst,dñ}} = \frac{3.600 \cdot 14}{4,184 \cdot 1.000 \cdot 10} = 1,20 \text{ m}^3/\text{h}$$

Como no se conocen las longitudes de la distribución de la red de tuberías se obtienen a través de la parametrización propuesta por las normas CEN.

$L_{CLF,otr} = 10 \text{ m}$ (sistema de calefacción bitubo).

Ecuación 5-28:

$$L_{CLF,dst,max} = 2 \cdot \left(L_{lrg} + \frac{L_{anch}}{2} + n_{pln} \cdot h_{pln} + L_{CLF,otr} \right) = 2 \cdot \left(10 + \frac{8}{2} + 2 \cdot 3 + 10 \right) = 60 \text{ m}$$

Ecuación 5-27:

$$\Delta p_{CLF,dst,dñ} = 0,13 \cdot L_{CLF,dst,max} + 2 + \Delta p_{CLF,pln} + \Delta p_{CLF,gnr} = 0,13 \cdot 60 + 2 + 0 + 1 = 10,8 \text{ kPa}$$

Ecuación 5-24:

$$P_{CLF,hdr,dst,dñ} = \frac{1.000}{3.600} \cdot V_{CLF,dst,dñ} \cdot \Delta p_{CLF,dst,dñ} = 0,2778 \cdot 1,205 \cdot 10,8 = 3,61 \text{ W}$$

La demanda de energía hidráulica de las bombas de circulación en los sistemas de calefacción, se determina a partir de la potencia hidráulica en el punto de diseño ($P_{CLF,hdr,dst,dñ}$), la carga parcial media de la distribución ($\beta_{CLF,dst}$) y las horas de calefacción en el periodo de tiempo ($t_{CLF,ON-OFF}$) (ecuación 5-23):

$$W_{CLF,dst,hdr,anl} = \frac{P_{CLF,hdr,dst,dñ}}{1.000} \cdot \beta_{CLF,dst,anl} \cdot t_{CLF,ON-OFF,anl} \cdot f_{CLF,Timp} \cdot f_{CLF,red,hdr} \cdot f_{CLF,A,emsr} \cdot f_{CLF,eq,hdr} \cdot f_{CLF,gnr,bmb,int}$$

Donde (ecuación 5-29):

$$\beta_{CLF,dst,anl} = \frac{Q_{CLF,dst,sld}}{\Phi_{ems} \cdot t_{CLF,ON-OFF,anl}} = \frac{12.533}{14 \cdot 4.131} = 0,22$$

Además

- $f_{CLF,Temp}=1$ Temperatura de impulsión variable.
- $f_{CLF,red,hdr}=1$ Sistema bitubo en anillo.
- $f_{CLF,A,emsr}=1$ No está sobredimensionado (la demanda máxima simultánea horaria simulada fue de 14.290 W producida el 5 de diciembre a las 8 h solares).
- $f_{CLF,eq,hdr}=1$ Sistema equilibrado.
- $f_{CLF,gnr,bmb,int}=1$ Generador estándar controlado por temperatura exterior.

Por tanto (ecuación 5-23):

$$W_{CLF,dst,hdr,anl} = \frac{3,61}{1.000} \cdot 0,22 \cdot 4.131 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 3,24 \text{ kWh/año}$$

El cálculo de consumo de energía auxiliar (eléctrica) se da mediante (ecuación 5-21):

$$W_{CLF,dst,aux,anl} = W_{CLF,dst,hdr,anl} \cdot e_{CLF,dst}$$

Para calcular el factor $e_{CLF,dst}$ hay que valerse de las siguientes dos expresiones (edificio nuevo $b=1$) (ecuación 5-31):

$$f_{CLF,dst,efc} = f_{CLF,dst,\eta} \cdot f_{CLF,dst,dsñ} = \frac{P_{CLF,hdr,bmb}}{P_{CLF,hdr,dsñ}} = \left(1,25 + \left(\frac{200}{P_{CLF,hdr,dsñ}} \right)^{0,5} \right) \cdot 1,5 \cdot b$$

$$f_{CLF,dst,efc} = \left(1,25 + \left(\frac{200}{3,61} \right)^{0,5} \right) \cdot 1,5 \cdot 1 = 13,03$$

$C_{p1}=0,9$ control de la bomba por diferencia de presión variable ($C_{p2}=1-C_{p1}=0,1$) (ecuación 5-33):

$$e_{CLF,dst} = f_{CLF,cnt} \cdot f_{CLF,fcv} \cdot f_{CLF,\eta} \cdot f_{CLF,dsñ} = \left(C_{p1} + C_{p2} \cdot \frac{1}{\beta_{dst}} \right) \cdot f_{CLF,efc} = \left(0,9 + 0,1 \cdot \frac{1}{0,22} \right) \cdot 13,03 = 17,75$$

Finalmente (ecuación 5-21):

$$W_{CLF,dst,aux,anl} = W_{CLF,dst,hdr,anl} \cdot e_{CLF,dst} = 3,24 \cdot 17,75 = 57,41 \text{ kWh}$$

Se estima el consumo de energía eléctrico de las bombas de impulsión del subsistema de distribución de calefacción cuando no están trabajando en régimen continuo. Para el método de cálculo simplificado, el factor de tiempo en el modo de impulsión $k_{CLF,arn}$ se considera como 3% y la demanda de energía auxiliar anual viene dada por:

Funcionamiento ordinario de 17 h/día entonces $k_{CLF,ord}=17/24=0,71$ y $k_{CLF,prd}=1-0,03-0,71=0,26$):

Ecuación 5-43:

$$W_{CLF,dst,aux,int} = W_{CLF,dst,aux} \cdot (k_{CLF,ord} + 0,6 \cdot k_{CLF,arn} + 0,03) = 57,41 \cdot (0,71 + 0,6 \cdot 0,26 + 0,03) = 51,4 \text{ kWh}$$

Energía auxiliar recuperada en el subsistema de distribución (ecuación 5-44, bomba no aislada):

$$Q_{CLF,dst,aux,rcr} = f_{CLF,aux,rcp} \cdot W_{CLF,dst,aux,int} = 0,75 \cdot 51,4 = 38,55 \text{ kWh}$$

Energía recuperable para la calefacción del local (ecuación 5-45):

$$Q_{CLF,dst,aux,rcb} = (1 - f_{CLF,aux,rcp}) \cdot W_{CLF,dst,aux,int} = (1 - 0,75) \cdot 51,4 = 12,85 \text{ kWh}$$

Para realizar los cálculos mensuales se opera según la ecuación 5-23:

$$W_{CLF,dst,aux,mns} = W_{CLF,dst,aux,anl} \cdot \frac{\beta_{CLF,dst,mns} \cdot t_{CLF,ON-OFF,mns}}{\beta_{CLF,dst,anl} \cdot t_{CLF,ON-OFF,anl}}$$

Meses	$\beta_{CLF,dst}$	$W_{CLF,dst,aux}$	$W_{CLF,dst,aux,int}$	$Q_{CLF,dst,aux,rcp}$	$Q_{CLF,dst,aux,rcb}$
		kWh	kWh	kWh	kWh
Enero	0,38	12,72	11,39	8,54	2,85
Febrero	0,32	9,76	8,74	6,56	2,19
Marzo	0,21	7,00	6,26	4,70	1,57
Abril	0,14	4,53	4,06	3,04	1,01
Mayo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Junio					
Julio					
Agosto					
Septiembre					
Octubre	0,06	1,95	1,75	1,31	0,44
Noviembre	0,27	8,68	7,77	5,83	1,94
Diciembre	0,38	12,77	11,43	8,57	2,86
Total	0,22	57,4	51,4	38,5	12,85
kWh/m²		0,4	0,32	0,24	0,08

Tabla 8.4. Ejemplo de cálculo, datos del subsistema de distribución

Se calcula ahora la pérdida térmica del sistema de distribución que depende de la temperatura media de impulsión y retorno y de la temperatura en los alrededores, del tipo de aislamiento y la longitud y lugar por donde discurran las tuberías (ecuación 5-46).

$$Q_{CLF,dst,prd} = \sum_j q_{CLF,dst,prd,j} \cdot L_{CLF,j} \cdot t_{CLF,ON-OFF}$$

Las pérdidas se diferencian entre las distribuciones de tuberías que discurren por zonas calefactadas $q_{CLF,dst,prd}$ ($T_{int}=20^{\circ}\text{C}$ tabla 5.27) y zonas no calefactadas $q_{CLF,dst,prd, no\ clf}$ ($T_{int}=13^{\circ}\text{C}$ tabla 5.27) según las siguientes expresiones:

Ecuación 5-48:

$$q_{CLF,dst,prd,clf,j} = \Psi_{clf,j} \cdot (T_{CLF,dst,med}(\beta_{CLF,dst}) - T_{int,j})$$

Ecuación 5-49:

$$q_{CLF,dst,prd,no\ clf} = q_{CLF,dst,prd,clf} \cdot \left(\frac{\Psi_{no\ clf}}{\Psi_{clf}} + \Psi_{no\ clf} \cdot \frac{\Delta T_{clf-no\ clf}}{q_{CLF,dst,prd,clf}} \right) = q_{CLF,dst,prd,clf} \cdot f_{no\ clf}$$

Se empieza calculando los tramos de tuberías según la tabla 5.27 pues no se conoce la distribución real de las mismas (ejes verticales en la pared exterior).

$$L_{CLF,gnr} = 2 \cdot L_{lrg} + 0,01625 \cdot L_{lrg} \cdot (L_{anch})^2 = 2 \cdot 10 + 0,01625 \cdot 10 \cdot (8)^2 = 30,40 \text{ m}$$

$$L_{CLF,edf} = 0,025 \cdot L_{lrg} \cdot L_{anch} \cdot h_{p\ ln} \cdot n_{p\ ln} = 12 \text{ m}$$

$$L_{CLF,cnx} = 0,55 \cdot L_{lrg} \cdot L_{anch} \cdot n_{p\ ln} = 88 \text{ m}$$

Para locales no calefactados ($L_{CLF,gnr}$) se toma un valor de (no se puede utilizar la ecuación 5-46 porque no se tienen datos suficiente) $\Psi_{no\ clf} = 0,2 \text{ W/mK}$ y para locales calefactados ($L_{CLF,edf}$ y $L_{CLF,cnx}$) $\Psi_{clf} = 0,3 \text{ W/mK}$ (tabla 5.30 año 2007).

Finalmente se calcula la temperatura media del sistema de distribución. Se trata de un sistema en el que la emisión se conecta directamente a la distribución y la temperatura de impulsión es variable en función de las condiciones exteriores:

Ecuación 5-57:

$$T_{CLF,dst,med}(\beta_{CLF,dst}) = T_{ems,med}(\beta_{CLF,dst}) = \Delta T \ln_{CLF,ems,dst} \cdot \beta_{CLF,dst}^{1/n} + T_{loc} = 30 \cdot 0,22^{1/1,33} + 20 = 29,50^{\circ}\text{C}$$

Ecuación 5-58:

$$\begin{aligned} T_{CLF,dst,imp,med}(\beta_{CLF,dst}) &= T_{ems,imp,med}(\beta_{CLF,dst}) = (T_{ems,imp,dst} - T_{loc}) \cdot \beta_{CLF,dst}^{1/n} + T_{loc} = \\ &= (55 - 20) \cdot 0,21^{1/1,33} + 20 = 31,08^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Ecuación 5-59:

$$T_{CLF,dst,rtr,med}(\beta_{CLF,dst}) = T_{ems,rtr,med}(\beta_{CLF,dst}) = (T_{ems,rtr,dst} - T_{int}) \cdot \beta_{CLF,dst}^{1/n} + T_{loc} =$$

$$= (45 - 20) \cdot 0,21^{1/1,33} + 20 = 27,92 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Por tanto,

Ecuación 5-49:

$$q_{CLF,dst,prd,clf,j} = 0,3 \cdot (29,50 - 20) = 2,85 \text{ W/m}$$

Ecuación 5-50:

$$q_{CLF,dst,prd,no\ cf} = 0,2 \cdot (29,50 - 13) = 3,30 \text{ W/m}$$

Dada la suma de la longitud de la tubería $L_{T,clf,j}$ en locales calentados se obtiene la pérdida térmica recuperable para la calefacción del local (ecuación 5-54):

$$Q_{CLF,dst,prd,rcb} = \sum_j q_{CLF,dst,prd,clf,j} \cdot L_{CLF,clf,j} \cdot t_{CLF,ON-OFF} = 2,85 \cdot (88 + 12) \cdot 4.131 = 1.177 \text{ kWh}$$

Dada la suma de la longitud de la tubería $L_{T,no\ cf}$ en locales no calentados o sin control se obtiene la pérdida térmica del sistema no recuperable (ecuación 5-55):

$$Q_{CLF,dst,prd,no\ rcb} = \sum_j q_{CLF,dst,prd,no\ cf} \cdot L_{CLF,no\ cf} \cdot t_{CLF,ON-OFF} = 3,30 \cdot 30 \cdot 4.131 = 414 \text{ kWh}$$

La pérdida térmica total del sistema viene dada por (ecuación 5-56):

$$Q_{CLF,dst,prd} = Q_{CLF,dst,prd,rcb} + Q_{CLF,dst,prd,no\ rcb} = 1.177 + 414 = 1.591 \text{ kWh}$$

Se analiza ahora el cálculo mes a mes para ver la desviación (error) con el cálculo realizado para el año entero (recordar que las normas CEN aconsejan realizar como mínimo un cálculo mensual). La operativa sería análoga a la desarrollada, simplemente habría que calcular la temperatura media del circuito de distribución en función de la carga $T_{dst,med}(\beta_{CLF,dst,mns})$ para cada estado de carga $\beta_{CLF,dst,mns}$ de cada mes.

Mes	β_{dst}	$T_{med,dst}$	$q_{CLF,dst,prd}$	$q_{CLF,dst,prd,no\ cf}$	$Q_{CLF,dst,prd,rcb}$	$Q_{CLF,dst,prd,no\ rcb}$	$Q_{CLF,dst,prd}$
		$^\circ\text{C}$	W/m	W/m	kWh	kWh	kWh
Enero	0,38	34,39	4,32	4,28	227,51	68,54	296,04
Febrero	0,32	32,73	3,82	3,95	181,82	57,11	238,93
Marzo	0,21	29,18	2,75	3,24	145,13	51,84	196,98
Abril	0,14	26,79	2,04	2,76	103,86	42,75	146,61

Mes	β_{dst}	$T_{med,dst}$	$q_{CLF,dst,prd}$	$q_{CLF,dst,prd,no\ cf}$	$Q_{CLF,dst,prd,rcb}$	$Q_{CLF,dst,prd,no\ rcb}$	$Q_{CLF,dst,prd}$
		°C	W/m	W/m	kWh	kWh	kWh
Mayo	0,00	20,00	0,00	1,40	0,00	22,43	22,43
Junio							
Julio							
Agosto							
Septiembre							
Octubre	0,06	23,51	1,05	2,10	55,54	33,68	89,22
Noviembre	0,27	31,07	3,32	3,61	169,33	56,02	225,35
Diciembre	0,38	34,43	4,33	4,29	228,11	68,66	296,77
Total cálculo mes a mes					1.111	401	1.512
kWh/m²					6,9	2,5	9,5
Total cálculo anual					1.177	414 ¹	1.592
Diferencia (%)					6	3	5

¹ Pérdidas permitidas según RITE: 14 kW·4131h·0,04=2.313 kWh.

Tabla 8.5. Ejemplo de cálculo, datos de pérdidas del subsistema de distribución

La necesidad energética anual, obtenida de los resultados del cálculo mensual expuestos en la tabla 8.5, del subsistema de distribución, es (ecuación 5-20):

$$Q_{CLF,dst,ent} = Q_{CLF,dst,sld} + Q_{CLF,dst,prd} - Q_{CLF,dst,prd,rcb} - Q_{CLF,dst,aux,rcp} = 12.533 + 1.512 - 0,8 \cdot 1.111 - 38,5 = 13.118 \text{ kWh}$$

La eficiencia energética del subsistema de distribución es (ecuación 4-3):

$$\eta_{CLF,dst} = \frac{Q_{CLF,dst,sld}}{f_y \cdot Q_{CLF,dst,ent} + f_z \cdot W_{CLF,dst,aux}} = \frac{12.533}{1,01 \cdot 13.118 + 2,6 \cdot 51,4} = 93,65\%$$

El cálculo de los rendimientos mensuales se resume en el la tabla 8.6.

Mes	$Q_{CLF,dst,sld}$	$Q_{CLF,dst,prd}$	$Q_{CLF,dst,rep}$ (térmica y eléctrica)	$Q_{CLF,dst,ent}$	$\eta_{CLF,dst}$
	kWh	kWh	kWh	kWh	-
Enero	2.777	296	191	2.883	94,43
Febrero	2.132	239	152	2.218	94,18
Marzo	1.527	197	121	1.604	93,37

Mes	$Q_{CLF,dst,sld}$	$Q_{CLF,dst,prd}$	$Q_{CLF,dst,rcp}$ (térmica y eléctrica)	$Q_{CLF,dst,ent}$	$\eta_{CLF,dst}$
	kWh	kWh	kWh	kWh	–
Abril	989	147	86	1.050	92,39
Mayo	0	22	0	22	0,00
Junio					
Julio					
Agosto					
Septiembre					
Octubre	426	89	46	469	88,98
Noviembre	1.895	225	141	1.979	93,86
Diciembre	2.787	297	191	2.893	94,43
Total	12.533	1.512	928	13.118	93,65

Tabla 8.6. Ejemplo de cálculo, datos de la eficiencia del subsistema de distribución

Se describe a continuación las prestaciones del subsistema de generación (según lo indicado en el apartado 5.3 de este documento). El dato inicial es $Q_{CLF,gen,sld} = Q_{CLF,dst,ent} = 13.118 \text{ kWh}$.

Para realizar un ejercicio completo se realiza el cálculo de las prestaciones del subsistema de generación por los tres métodos descritos.

En primer lugar se expone el método de rendimiento estacional de la caldera basado en la tipología del generador recogido en el punto 5.3.1 de este documento.

Se calcula la energía auxiliar y la pérdida térmica recuperable. Como solo hay instalado un generador, el factor de carga $\beta_{CLF,gen}$ se calcula mediante (ecuación 5-84):

$$\beta_{CLF,gen} = \frac{Q_{CLF,gen,sld}}{\phi_{gnr,Pn} \cdot t_{CLF,ON-OFF}} = \frac{13.118}{20 \cdot 4.131} = 0,16$$

Si $0 \leq \beta_{CLF,gen} = 0,16 \leq \beta_{CLF,int} = 0,3$ entonces $P_{aux,gnr,P\beta}$ se da mediante (ecuación 5-90):

$$P_{aux,gnr,P\beta} = P_{aux,gnr,Po} + \frac{\beta_{CLF,gen}}{\beta_{CLF,int}} \cdot (P_{aux,gnr,Pint} - P_{aux,gnr,Po}) = 10 + \frac{0,16}{0,30} \cdot (60 - 10) = 36,46 \text{ W}$$

Y por tanto el consumo de energía auxiliar (ecuación 5-88):

$$W_{CLF,gen,aux} = W_{CLF,gnr,aux} = P_{aux,gnr,P\beta} \cdot t_{CLF,ON} + P_{aux,gnr,OFF} \cdot (t_{CLF,ON-OFF} - t_{CLF,ON})$$

$$W_{CLF,gen,aux} = 36,46 \cdot 2.995 + 10 \cdot (4.131 - 2.995) = 120,57 \text{ kWh}$$

La energía auxiliar recuperada transmitida al agua del circuito de distribución $Q_{CLF,gen,aux,rcp}$ se calcula mediante (ecuación 5-93):

$$Q_{CLF,gen,aux,rcp} = f_{CLF,gen,rcp,aux} \cdot W_{CLF,gen,aux} = 0,75 \cdot 140 = 90,47 \text{ kWh}$$

La energía auxiliar recuperable transmitida al local calentado $Q_{CLF,gen,aux,rcb}$ se calcula mediante (caldera en el exterior $b_{icl}=1$, tabla 5.39) (ecuación 5-94):

$$Q_{CLF,gen,aux,rcb} = f_{CLF,gen,rcb,aux} \cdot W_{CLF,gen,aux} \cdot (1 - b_{icl}) = (1 - 0,75) \cdot 120,57 \cdot (1 - 1) = 0$$

Y por tanto la energía recuperable verdaderamente recuperada es cero (ecuación 5-95):

$$Q_{CLF,gen,aux,rcb,rcp} = 0,8 \cdot Q_{CLF,gen,aux,rcb} = 0,8 \cdot 0 = 0 \text{ kWh}$$

Al igual que en casos anteriores se realiza el cálculo mes a mes ($\beta_{CLF,gnr,mns}$ diferente para cada mes, ecuación 5-83).

MES	$\beta_{CLF,gen}$	$P_{aux,gnr,P\beta}$	$W_{CLF,gen,aux}$	$Q_{CLF,gen,aux,rcp}$	$Q_{CLF,gen,aux,rcb}$	$Q_{CLF,gen,aux,rcb,rcp}$
	-	W	kWh	kWh	kWh	kWh
Enero	0,27	55,58	28	21	0	0
Febrero	0,23	48,84	22	17	0	0
Marzo	0,15	35,36	17	13	0	0
Abril	0,10	27,15	12	9	0	0
Mayo	0,00	10,35	5	4	0	0
Junio						
Julio						
Agosto						
Septiembre						
Octubre	0,04	17,42	7	5	0	0
Noviembre	0,19	42,34	20	15	0	0
Diciembre	0,27	55,74	28	21	0	0
Total			140	105	0	0
kWh/m ²			0,87	0,65		

Tabla 8.7. Ejemplo de cálculo, datos del subsistema de generación

Observar que no se obtiene igual valor que en el caso de hacer un cálculo anual ($140 > 120,57$) pues los valores medios mensuales de $\beta_{CLF,gen}$, evidentemente, no coinciden con el valor medio anual.

Se calculan ahora las pérdidas térmicas en el sistema de generación. En este método primero se identifican el combustible y tipo de caldera. En este caso el combustible es gas natural y la caldera es de condensación.

En segundo lugar se obtienen los datos de ensayo.

$$\Phi_{gnr,Pn} = 20 \text{ kW}, \eta_{gnr,Pn} = 96\% \text{ y } \eta_{gnr,Pint} = 106 \%$$

A continuación se debe reducir al máximo los valores de eficiencia de ensayo según lo indicado en la tabla 5.32. En este caso no es necesario:

$$\eta_{gnr,Pn} = 96\% < 101\% \text{ y } \eta_{gnr,Pint} = 106\% < 107\%$$

Se convierte la eficiencia a plena carga y la eficiencia al 30% de carga parcial a partir de los valores netos (poder calorífico inferior) a los valores corregidos (poder calorífico superior). Se utilizan los valores de la tabla 5.33.

$$\eta_{gnr,Pn,corr} = \eta_{gnr,Pn} \cdot f_{corr} = 96 \cdot 0,901 = 86,5\%$$

$$\eta_{gnr,Pint,corr} = \eta_{gnr,Pint} \cdot f_{corr} = 106 \cdot 0,901 = 95,5\%$$

A continuación se categoriza la caldera: no tiene piloto encendido $f_{plt} = 0$. No es una caldera mixta de almacenamiento, ni una unidad de almacenamiento primaria combinada y tampoco una caldera mixta instantánea.

Con esto efectuado se selecciona la ecuación de la tabla 5.35 correspondiente, en este caso, la ecuación 102.

$$\eta_{est,corr} = \left(\frac{\eta_{gnr,Pn,corr} + \eta_{gnr,Pint,corr}}{2} \right) - 2 - 4 \cdot f_{plt} = \left(\frac{86,5 + 95,5}{2} \right) - 2 - 4 \cdot 0 = 89\%$$

Se convierte la eficiencia estacional corregida (poder calorífico superior) a la eficiencia estacional neta utilizando (poder calorífico inferior) (ecuación 5-79):

$$\eta_{est} = \eta_{est,corr} \cdot \frac{1}{f_{corr}} = 89 \cdot \frac{1}{0,901} = 98,8\%$$

La pérdida térmica de generación total $Q_{CLF,gen,prd}$ se calcula mediante (ecuación 5-80):

$$Q_{CLF,gen,prd} = Q_{CLF,gen,slid} \cdot \frac{1 - \eta_{est}}{\eta_{est}} = 13.118 \cdot \frac{1 - 0,988}{0,988} = 162 \text{ kWh}$$

Se podría realizar el cálculo mes a mes como hasta ahora comprobando que no hay ningún cambio (ninguna variable independiente varía al realizar el proceso mes a mes).

Mes	$Q_{CLF,gen,sld}$	$Q_{CLF,gen,prd}$	$E_{CLF,gen,ent}$	$\eta_{CLF,gen}$
	kWh	kWh	kWh	—
Enero	2.883	36	2.897	96,13
Febrero	2.218	27	2.229	96,07
Marzo	1.604	20	1.611	95,97
Abril	1.050	13	1.054	95,83
Mayo	22	0	19	68,71
Junio				
Julio				
Agosto				
Septiembre				
Octubre	469	6	470	95,28
Noviembre	1.979	24	1.988	96,01
Diciembre	2.893	36	2.907	96,13
Total	13.118	162	13.175	
kWh/m²	81,99	1,01	82,35	

Tabla 8.8. Ejemplo de cálculo, datos de pérdidas del subsistema de generación

Se calcula el requisito de calor del combustible ecuación 5-81 (a partir de los datos mensuales).

$$E_{CLF,gen,ent} = \frac{Q_{CLF,gen,sld}}{\eta_{est}} - Q_{CLF,gen,aux,rcp} - Q_{CLF,gen,aux,rcb,rcp} = 13.118/0,988 + 162 - 105 - 0 = 13.175 kWh$$

La eficiencia energética del subsistema de generación es (ecuación 4-3):

$$\eta_{CLF,gen} = \frac{Q_{CLF,gen,sld}}{f_y \cdot Q_{CLF,gen,ent} + f_z \cdot W_{CLF,gen,aux}} = \frac{13.118}{1,01 \cdot 13.175 + 2,6 \cdot 140} = 95,96\%$$

La eficiencia energética del servicio de calefacción es entonces:

$$\eta_{CLF,est} = \frac{Q_{CLF}}{f_y \cdot E_{CLF,ent} + f_z \cdot W_{CLF,aux}} = \frac{10.617}{1,01 \cdot 13.175 + 2,6 \cdot (0 + 51,4 + 140)} = 76,91\%$$

Con las siguientes eficiencias parciales:

$$\eta_{CLF,ems} = 83,87\% \quad \eta_{CLF,dst} = 93,65\% \quad \eta_{CLF,gen} = 95,96\%$$

En segundo lugar se expone el método de rendimiento estacional de la caldera basado en la eficiencia del generador recogido en el punto 5.3.2 de este documento.

El cálculo de la energía auxiliar es el desarrollado en el caso anterior, por tanto solo se describen las pérdidas térmicas del subsistema de generación y el balance global del sistema.

Se analiza en primer lugar el cálculo de la pérdida térmica de la caldera a plena carga para lo que se necesita la eficiencia a plena carga $\eta_{gnr,Pn}$ corregida a la temperatura media real del agua del generador de la instalación individual (ecuación 5-102).

$$\eta_{gnr,Pn,corr} = \eta_{gnr,Pn} + f_{corr,Pn} \cdot (T_{CLF,gnr,Pn,med,ens} - T_{CLF,gnr,Pn,med,corr})$$

Se calcula por tanto la temperatura media de operación del generador a plena carga (Φ_{Pn}) (ecuación 5-115):

$$T_{CLF,gnr,corr,Px,med} = \max(T_{CLF,gnr,min}; T_{CLF,gnr,med})$$

De la tabla 5.45 se obtiene que la $T_{CLF,gnr,min} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. Para el cálculo de la temperatura media del generador es necesario conocer cuáles son las temperaturas de impulsión y retorno del mismo.

La temperatura de impulsión y retorno del circuito de distribución coincide con la de los emisores como ya quedó indicado y además $V_{CLF,gnr}$ es igual que el caudal del circuito de generación $V_{CLF,gen}$ entonces ($V_{CLF,gnr} = V_{CLF,gen}$):

$$T_{CLF,gnr,imp} = T_{CLF,gen,imp} = T_{CLF,dst,imp} = 31,08 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{CLF,gnr,rtr} = T_{CLF,gen,rtr} = T_{CLF,dst,rtr} = 27,92 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{CLF,gnr,med} = (T_{CLF,gnr,imp} + T_{CLF,gnr,rtr})/2 = 29,50 \text{ }^\circ\text{C}$$

Por tanto:

$$T_{CLF,gnr,corr,Px,med} = \max(T_{CLF,gnr,min}; T_{CLF,gnr,med}) = \max(20; 29,50) = 29,50$$

De la tabla 5.40 $T_{CLF,gnr,Pn,med,ens} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$ y $f_{corr,Pn} = 0,20\%/^\circ\text{C}$. Mediante la ecuación 5-102:

$$\eta_{gnr,Pn,corr} = 96 + 0,2 \cdot (70 - 29,29) = 104,1\%$$

Finalmente la pérdida térmica del generador corregida a plena carga $\Phi_{gnr,prd,Pn,corr}$ se calcula mediante la ecuación 5-105:

$$\Phi_{gnr,prd,Pn,corr} = \frac{100 - \eta_{gnr,Pn,corr}}{\eta_{gnr,Pn,corr}} \cdot \Phi_{gnr,Pn} = \frac{100 - 104,1}{104,1} \cdot 20 = -0,79 \text{ kW}$$

Se analiza el cálculo de la pérdida térmica del generador a carga intermedia para lo que se necesita la eficiencia a carga intermedia $\eta_{gnr,Pint}$ que se mide a una temperatura media de referencia del

agua del generador $T_{CLF,gnr,Pint,med,ens}$. Esta eficiencia tiene que ajustarse a la temperatura media real del agua del generador de la instalación individual. La eficiencia a la temperatura corregida a carga intermedia $\eta_{gnr,Pint,corr}$ se calcula mediante la ecuación 5-106:

$$\eta_{gnr,Pint,corr} = \eta_{gnr,Pint} + f_{corr,Pint} \cdot (T_{CLF,gnr,Pint,med,ens} - T_{CLF,gnr,Pint,med,corr})$$

Con $\eta_{gnr,Pint} = 106 \%$, $f_{corr,Pint} = 0,20 \%/^{\circ}C$ (tabla 5.41) y $T_{CLF,gnr,Pint,med,ens} = 30^{\circ}C$ (temperatura de retorno al generador para calderas de condensación tabla 5.41) y $T_{CLF,gnr,Pint,med,corr}$ corresponde con la temperatura de retorno al generador por tratarse de una caldera de condensación (ver punto 5.3.2.6):

$$T_{CLF,gnr,Pint,med,corr} = T_{CLF,gnr,rtr} = T_{CLF,gen,rtr} = T_{CLF,dst,rtr} = 27,92^{\circ}C$$

Mediante la ecuación 5-106:

$$\eta_{gnr,Pint,corr} = 106 + 0,2 \cdot (30 - 27,92) = 106,4\%$$

La pérdida térmica del generador corregida a carga intermedia $\Phi_{gnr,prd,Pint,corr}$ se calcula mediante la ecuación 5-105:

$$\Phi_{gnr,prd,Pint,corr} = \frac{100 - \eta_{gnr,Pint,corr}}{\eta_{gnr,Pint,corr}} \cdot \Phi_{gnr,Pint} = \frac{106 - 106,4}{106,4} \cdot 20 \cdot 0,3 = -0,36 kW$$

Se calcula a continuación la pérdida térmica del generador a la temperatura corregida al 0% carga (en espera) $\Phi_{gnr,prd,P0,corr}$ ecuación 5-110:

$$\Phi_{gnr,prd,P0,corr} = \left(\frac{T_{CLF,gnr,med} - T_{sdc}}{\Delta T_{gnr,P0,ens}} \right)^{1,25} \cdot \Phi_{gnr,prd,P0}$$

La pérdida térmica en espera (a carga 0%) $\Phi_{gnr,prd,P0}$ a la diferencia de temperatura de ensayo $\Delta T_{gnr,ens,P0}$ se calcula mediante (caldera de condensación fabricada después de 1994 $C_5 = 4,8$ y $C_6 = -0,35$ y $\Delta T_{gnr,ens,P0} = 50^{\circ}C$ tabla 5.43) (ecuación 5-111):

$$\Phi_{gnr,prd,P0} = \Phi_{gnr,Pn} \cdot \frac{C_5}{100} \cdot \left(\frac{\Phi_{gnr,Pn}}{1.000} \right)^{C_6} = 20 \cdot \frac{4,8}{100} \cdot \left(\frac{20.000}{1.000} \right)^{-0,35} = 0,34 kW$$

Por tratarse de una caldera situada en una sala de caldera la T_{sdc} es de $13^{\circ}C$ (tabla 5.42) y mediante ecuación 5-110:

$$\Phi_{gnr,prd,P0,corr} = \left(\frac{T_{CLF,gnr,med} - T_{sdc}}{\Delta T_{gnr,P0,ens}} \right)^{1,25} \cdot \Phi_{gnr,prd,P0} = \left(\frac{29,29 - 13}{50} \right)^{1,25} \cdot 0,34 = 0,08 kW$$

La potencia real media $\Phi_{CLF,gen,sld}$ de la caldera se da mediante (ecuación 5-82) ($\Phi_{CLF,gen,sld} = \Phi_{gnr,P\beta}$):

$$\Phi_{CLF,gen,sld} = \Phi_{gnr,P\beta} = \frac{Q_{CLF,gen,sld}}{t_{CLF,ON-OFF}} = \frac{13.118}{4.131} = 3,2 kW$$

Como $0 (\beta_{gnr} = 0) < \Phi_{p\beta} = 3,1 \text{ kW} < \Phi_{Pint} (\beta_{gnr} = \beta_{int} = 0,3 \cdot \Phi_{Pn} = 0,3 \cdot 20 = 6 \text{ kW})$, la pérdida térmica del generador $\Phi_{gnr,prd,p\beta}$ se calcula mediante la ecuación 5-98:

$$\Phi_{CLF,gnr,prd,p\beta} = \frac{\Phi_{gnr,p\beta}}{\Phi_{gnr,Pint}} \cdot (\Phi_{CLF,gnr,prd,Pint,corr} - \Phi_{CLF,gnr,prd,Po,corr}) + \Phi_{CLF,gnr,prd,Po,corr}$$

$$\Phi_{CLF,gnr,prd,p\beta} = \frac{3,2}{6} \cdot (-0,40 - 0,10) + 0,10 = -0,15 \text{ kW}$$

La pérdida térmica total de la caldera $Q_{CLF,gnr,prd}$ durante el tiempo de operación considerado $t_{CLF,ON-OFF}$ de la caldera se calcula mediante la ecuación 5-96:

$$Q_{CLF,gen,prd} = Q_{CLF,gnr,prd} = \Phi_{CLF,gnr,prd,p\beta} \cdot t_{CLF,ON-OFF} = -0,15 \cdot 4.131 = -627 \text{ kWh}$$

Las pérdidas térmicas recuperables a través de la cubierta del generador $Q_{gnr,prd,env,rcb}$ se calculan mediante la ecuación 5-112:

$$Q_{CLF,gen,prd,env,rcb} = \Phi_{gnr,prd,Po,corr} \cdot (1 - b_{icl}) \cdot f_{gnr,env} \cdot t_{CLF,ON-OFF}$$

Las pérdidas térmicas a través de la cubierta del generador valen $f_{gnr,env} = 0,75$ (tabla 5.44) y el factor de reducción de temperatura vale $b_{icl} = 1$ (tabla 5.39 caldera en el exterior) y por tanto:

$$Q_{CLF,gen,prd,env,rcb} = 0,10 \cdot (1 - 1) \cdot 0,75 \cdot 4.131 = 0 \text{ kWh}$$

Se reproducen los cálculos para la estimación mensual en la tabla 8.9.

Mes	T _{imp}	T _{med}	T _{rtr}	η _{Pn,corr}	Φ _{prd,Pn,corr}	η _{Pint,corr}	Φ _{prd,Pint,corr}	Φ _{prd,Po,corr}	Φ _{gnr}	Φ _{prd,Px}	Q _{prd}	E _{ent}
	°C			-	kW	-	kW	kW	kW	kW	kWh	kWh
Enero	36,79	34,39	31,99	103,12	-0,61	105,60	-0,32	0,16	5,47	-0,28	-145	2.716
Febrero	34,85	32,73	30,61	103,45	-0,67	105,88	-0,33	0,14	4,66	-0,227	-108	2.094
Marzo	30,71	29,18	27,65	104,16	-0,80	106,47	-0,36	0,10	3,04	-0,13	-71	1.520
Abril	27,92	26,79	25,66	104,64	-0,89	106,87	-0,39	0,07	2,06	-0,08	-43	998
Mayo	20,00	20,00	20,00	106,00	-1,13	108,00	-0,44	0,01	0,04	0,01	6	24
Junio												
Julio												
Agosto												
Septiembre												
Octubre	24,10	23,51	22,93	105,30	-1,01	107,41	-0,41	0,04	0,89	-0,03	-15	449

Mes	T _{imp}	T _{med}	T _{rtr}	η _{Pn,corr}	Φ _{prd,Pn,corr}	η _{Pint,corr}	Φ _{prd,Pint,corr}	Φ _{prd,PO,corr}	Φ _{gnr}	Φ _{prd,Px}	Q _{prd}	E _{ent}
	°C			-	kW	-	kW	kW	kW	kW	kWh	kWh
Noviembre	32,91	31,07	29,22	103,79	-0,73	106,16	-0,35	0,12	3,88	-0,18	-93	1.871
Diciembre	36,83	34,43	32,02	103,11	-0,60	105,60	-0,32	0,16	5,49	-0,28	-146	2.726
Total											-616	12.397
Total (kWh/m²)											-3,85	77,48

Tabla 8.9. Ejemplo de cálculo, datos del subsistema de generación por el método de la eficiencia

Se calcula el requisito de calor del combustible de igual forma que para el caso del subsistema de emisión y distribución (ecuación 5-112) a partir de los datos mensuales de las tablas 8.9 y 8.7:

$$E_{CLF,gen,ent} = Q_{CLF,gen,sld} + Q_{CLF,gen,prd} - Q_{CLF,gen,aux,rcp} - Q_{CLF,gen,prd,env,rcb,rcp}$$

$$E_{CLF,gen,ent} = 13.118 + (-616) - 105 - 0 = 12.397 kWh$$

La eficiencia energética del subsistema de generación es (ecuación 4-3):

$$\eta_{CLF,gen} = \frac{Q_{CLF,gen,sld}}{f_y \cdot E_{CLF,gen,ent} + f_z \cdot W_{CLF,gen,aux}} = \frac{13.118}{1,01 \cdot 12.397 + 2,6 \cdot 140} = 101,82\%$$

La eficiencia energética del servicio de calefacción es entonces (ecuación 4-3):

$$\eta_{CLF,est} = \frac{Q_{CLF}}{f_y \cdot E_{CLF,ent} + f_z \cdot W_{CLF,aux}} = \frac{10.617}{1,01 \cdot 12.397 + 2,6 \cdot (0 + 51,4 + 140)} = 81,55\%$$

Con las siguientes eficiencias parciales:

$$\eta_{CLF,ems} = 83,87\% \quad \eta_{CLF,dst} = 93,65\% \quad \eta_{CLF,gen} = 101,82\%$$

Método cíclico de la caldera

La caldera de condensación es modulante, por tanto se aplica el procedimiento descrito en el apartado 5.3.3.5 con las especificaciones indicadas en el apartado b).

En primer lugar se establece la temperatura media y de retorno del generador (cálculo realizado en el método anterior):

$$T_{CLF,gnr,imp} = T_{CLF,gen,imp} = T_{CLF,dst,imp} = 31,08 \text{ °C}$$

$$T_{CLF,gnr,rtr} = T_{CLF,gen,rtr} = T_{CLF,dst,rtr} = 27,92 \text{ °C}$$

$$T_{CLF,gnr,med} = (T_{CLF,gnr,imp} + T_{CLF,gnr,rtr})/2 = 29,50 \text{ °C}$$

Se calcula a continuación $\alpha_{CLF,chl,ON,min,cnd}$ para lo que se necesita en primer lugar $\alpha_{CLF,cnd,min}$. Para ello se empieza calculando la temperatura de humos mínima ($\Delta T_{hum-rtr,min} = 5 \text{ °C}$ tabla 5.57) mediante la ecuación 5-159:

$$T_{hum,min} = T_{CLF,gnr,rtr} + \Delta T_{hum-rtr,min} = 27,92 + 5 = 32,9 \text{ °C}$$

Se calcula el volumen de humos secos de combustión real ($V_{hum,est,sec} = 9,32 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3$, tabla 5.58 y $X_{O_2,sec,min} = 6$, tabla 5.57 modulación tanto de aire como de gas) mediante la ecuación 5-160:

$$V_{hum,sec,min} = V_{hum,est,sec} \cdot \frac{20,94}{20,94 - X_{O_2,sec,min}} = 9,32 \cdot \frac{20,94}{20,94 - 6} = 14,08 \text{ Nm}^3$$

Se calcula el aire de combustión real ($V_{air,est,sec} = 10,34 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3$ tabla 5.58) mediante la ecuación 5-161:

$$V_{air,sec,min} = V_{air,est,sec} + V_{hum,sec,min} - V_{hum,est,sec} = 10,34 + 13,06 - 9,32 = 12,14 \text{ Nm}^3$$

Se calcula la humedad de saturación del aire y del gas de combustión (tabla 5.59 interpolando):

$m_{H_2O,air,str} = 0,007395 \text{ kg}/\text{Nm}^3\text{seco}$ ($T_{air} = 5 \text{ °C}$, media de la temperatura exterior de los meses de invierno)

$$m_{H_2O,hum,str} = 0,05561 \text{ kg}/\text{Nm}^3\text{seco} (T_{hum} = 32,74 \text{ °C})$$

Se calcula la humedad absoluta del aire de combustión y de los humos mediante las ecuaciones 5-162 y 5-163:

$$m_{H_2O,air,min} = m_{H_2O,air,str} \cdot V_{air,sec,min} \cdot \frac{X_{air}}{100} = 7,395 \cdot 14,08 \cdot \frac{50}{100} = 52,07 \text{ g } H_2O$$

$$m_{H_2O,hum,min} = m_{H_2O,hum,str} \cdot V_{hum,sec,min} \cdot \frac{X_{hum}}{100} = 55,61 \cdot 13,06 \cdot \frac{100}{100} = 726,43 \text{ g } H_2O$$

Por último se calcula la cantidad de agua de condensación $m_{H_2O,cnd}$ mediante la ecuación 5-164 ($m_{H_2O,cmb,est}$ agua que se produce en la combustión del hidrocarburo correspondiente, tabla 5.58 $m_{H_2O,cmb,est} = 1,68 \text{ kg}/\text{Nm}^3$):

$$m_{H_2O,cnd,min} = m_{H_2O,cmb} + m_{H_2O,air,min} - m_{H_2O,hum,min} = 1,680 + 52,07 - 726,43 = 1.005,64 \text{ g } H_2O$$

El calor latente específico de condensación $h_{cnd,hum,min}$ se calcula mediante la ecuación 5-166:

$$h_{cnd,hum,min} = 694,61 \text{ Wh}/\text{kg} - 32,9 \cdot 0,6764 \text{ Wh}/\text{kg } \text{°C} = 672 \text{ Wh}/\text{kg}$$

El calor de condensación $Q_{cnd,min}$ se calcula mediante la ecuación 5-166:

$$Q_{cnd,min} = m_{H_2O,cnd,min} \cdot h_{cnd,hum,min} = 676 \text{ Wh}$$

El cálculo se basa en los poderes caloríficos inferiores, entonces el calor latente de condensación recuperado $\alpha_{cnd,min}$ se calcula mediante la ecuación 5-168 (H_i se obtiene de la tabla 5.58):

$$\alpha_{cnd,min} = 100 \cdot \frac{Q_{cnd,min}}{H_i} = 100 \cdot \frac{0,676}{10,81} = 6,25\%$$

Se intenta el procedimiento de una etapa utilizando los datos de potencia mínima estableciendo $\beta_{CLF,cmb,min} = 1$ (ecuación 5-172):

$$\alpha_{CLF,chl,ON,min,cnd} = \alpha_{CLF,chl,ON,min,corr} - \alpha_{cnd,min}$$

Con (ecuación 5-138):

$$\alpha_{CLF,chl,ON,min,corr} = \left(\alpha_{CLF,chl,ON,min} + (T_{CLF,gnr,rtr} - T_{CLF,gnr,ens,Pmin,med}) \cdot f_{corr,chl,ON} \right) \cdot (\beta_{CLF,cmb,min})^{n_{CLF,chl,ON}}$$

$\alpha_{chl,ON,min} = 5\%$ y $T_{CLF,gnr,ens,Pmin,med} = 50 \text{ °C}$ (tabla 5.55) y $f_{corr,chl,ON} = 0,045 \text{ \%/°C}$ (tabla 5.47) y $n_{chl,ON} = 0,1$ (tabla 5.48 caldera de acero) por tanto:

$$\alpha_{CLF,chl,ON,min,corr} = (5 + (27,92 - 50) \cdot 0,045) \cdot (1)^{0,1} = 4,01\%$$

$$\alpha_{CLF,chl,ON,min,cnd} = \alpha_{CLF,chl,ON,min,corr} - \alpha_{cnd,min} = 4 - 6,25 = -2,25\%$$

Las pérdidas térmicas específicas reales a través de la cubierta del generador $\alpha_{CLF,env,corr}$ se dan mediante (ecuación 5-140):

$$\alpha_{CLF,env,corr} = \alpha_{CLF,env} \cdot k_{CLF,env,rcp} \cdot \frac{(T_{CLF,gnr,med} - T_{sdc})}{(T_{CLF,gnr,ens,Pn,med} - T_{sdc,ens})} \cdot (\beta_{CLF,cmb,min})^{n_{CLF,env}}$$

con $n_{CLF,env} = 0$ (tabla 5.50 bomba primaria está siempre funcionando), $k_{CLF,env,rcp} = 0,7$ (sala de calderas tabla 5.51), $T_{sdc,ens} = 20\text{°C}$, $T_{sdc} = 13 \text{ °C}$ (tabla 5.51 caldera en sala de caldera) y $\alpha_{CLF,env}$ (ecuación 5.142).

$$\alpha_{CLF,env} = C_1 - C_2 \cdot \log\left(\frac{\Phi_{gnr,Pn}}{1.000}\right) = 1,72 - 0,44 \cdot \log\left(\frac{20.000}{1.000}\right) = 1,15\%$$

y por tanto:

$$\alpha_{CLF,env,corr} = 1,15 \cdot 0,7 \cdot \frac{(29,50 - 13)}{(70 - 20)} \cdot (1)^0 = 0,27\%$$

las pérdidas térmicas específicas reales a través de la chimenea con el quemador apagado $\alpha_{CLF,chl,OFF,corr}$ se dan mediante la ecuación 5-144, donde $n_{CLF,chl,OFF} = 0$ (tabla 5.53 bomba primaria está siempre funcionando) y $\alpha_{CLF,chl,OFF} = 0,2$ (tabla 5.52 quemador de premezcla):

$$\alpha_{CLF,chl,OFF,corr} = \alpha_{CLF,chl,OFF} \cdot \frac{(T_{CLF,gnr,med} - T_{sdc})}{(T_{CLF,gnr,ens,med} - T_{sdc,ens})} \cdot (\beta_{CLF,cmb,min})^{n_{CLF,chl,OFF}} = 0,2 \cdot \frac{(29,50 - 13)}{(70 - 20)} \cdot (1)^0 = 0,07\%$$

Para calcular la energía auxiliar de los dispositivos antes de la cámara de combustión se debe calcular antes $P_{CLF,qmd,min}$ (caldera de tiro forzado tabla 5.46 $C_3 = 0$, $C_4 = 45$ y $n = 0,48$) mediante la ecuación 5-135:

$$P_{CLF,qmd,min} = c_3 + c_4 \cdot \left(\frac{\Phi_{gnr,Pmin}}{1.000} \right)^n = 0 + 45 \cdot \left(\frac{5.000}{1.000} \right)^{0,48} = 97,4W$$

Y por tanto la energía auxiliar recuperada mínima se da mediante la ecuación 5-131:

$$Q_{CLF,gen,aux,qmd,rcp,min} = P_{CLF,qmd,min} \cdot t_{CLF,ON} \cdot k_{CLF,qmd} = 21,1 \cdot 2.995 \cdot 0,8 = 233,5 kWh$$

La energía auxiliar de los dispositivos después de la cámara de combustión es cero $P_{CLF,bmb} = 0$ kW (considerada en el subsistema de distribución).

La energía auxiliar total requerida por el subsistema de generación $W_{CLF,gen,aux}$ se da mediante:

$$W_{CLF,gen,aux,min} = \frac{Q_{CLF,gen,aux,qmd,rcp,min}}{k_{CLF,qmd}} + \frac{Q_{CLF,gen,aux,bmb,rcp}}{k_{CLF,bmb}} = \frac{50,6}{0,8} + \frac{0}{0,8} = 291,8 kWh$$

Se calcula un nuevo factor de carga $\beta_{CLF,cmb,min}$ mediante ecuación 5-145:

$$\beta_{CLF,cmb,min} = \frac{100 \cdot \frac{Q_{CLF,gen,sld} - Q_{CLF,gen,aux,bmb,rcp,min}}{t_{CLF,ON-OFF} \cdot \Phi_{CLF,rfr,min}} + \alpha_{CLF,chg,OFF,min,corr} + \alpha_{CLF,env,min,corr}}{100 \cdot \frac{\Phi_{CLF,cmb,min} + k_{CLF,qmd} \cdot P_{CLF,qmd,min}}{\Phi_{CLF,rfr,min}} - \frac{\Phi_{CLF,cmb,min}}{\Phi_{CLF,rfr,min}} \cdot \alpha_{CLF,chg,ON,min,corr} + \alpha_{CLF,chg,OFF,min,corr}}$$

$$\beta_{CLF,cmb,min} = \frac{100 \cdot \frac{13.118 - 0}{4.131 \cdot 20} + 0,07 + 0,27}{100 \cdot \frac{5 + 0,8 \cdot 97,4 \cdot 0,001}{20} - \frac{5}{20} \cdot (-2,25) + 0,07} = 0,615$$

Se vuelve a realizar el cálculo con $\beta_{CLF,cmb,min} = 0,615$ y se comprueba que converge a $\beta_{CLF,cmb,min} = 0,613$, converge por tanto a un valor que no es mayor de 1 y se sigue hasta el final el procedimiento para los generadores de una etapa.

Se calcula la energía a suministrar por el combustible mediante ecuación 5-146:

$$E_{CLF,gen,ent} = \Phi_{CLF,cmb,min} \cdot t_{CLF,ON-OFF} \cdot \beta_{CLF,cmb} = 5 \cdot 4.131 \cdot 0,613 = 12.662 kWh$$

Se calculan las pérdidas térmicas totales mediante ecuación 5-147:

$$Q_{CLF,gen,prd,no rcp} = E_{CLF,gen,ent} - Q_{CLF,gen,sld} + Q_{CLF,gen,aux,qmd,rcp} + Q_{CLF,gen,aux,bmb,rcp}$$

$$Q_{CLF,gen,prd,no rcp} = 12.662 - 13.118 + 233,5 + 0 = -222,5 kWh$$

Se procede a exponer los cálculos realizándolos de forma mensual:

MES	T _{hum,min}	T _{air}	α _{chm,ON,min,cnd}	α _{env,corr}	α _{chm,OFF,corr}	Q _{gen,aux,qmd,rcp}	W _{gen,aux}	β _{cmb,min}	E _{gen,ent}	Q _{gen,prd,no rcp}
	°C	°C	%	%	%	kWh	kWh	–	kWh	kWh
Enero	37,0	6,2	4,19	0,45	0,11	41,08	51,35	1	2773	-68,14
Febrero	35,6	7,4	4,08	0,41	0,10	33,02	41,28	0,89	2129	-56,91
Marzo	32,6	9,9	3,78	0,31	0,08	23,83	29,78	0,58	1529	-50,54
Abril	30,7	12,2	3,55	0,24	0,06	15,50	19,38	0,39	997	-37,45
Mayo	25,0	16,0	2,30	0,06	0,02	0,41	0,51	0,01	23	0,65
Junio		0,0	0,00							
Julio		0,0	0,00							
Agosto		0,0	0,00							
Septiembre		0,0	0,00							
Octubre	27,9	14,8	3,17	0,14	0,03	6,98	8,73	0,17	443	-18,82
Noviembre	34,2	9,4	3,95	0,35	0,09	29,82	37,27	0,74	1893	-56,44
Diciembre	37,0	6,4	3,99	0,45	0,11	41,08	239,65	1	2778	-73,96
Total						191,72	1,5		12.565	-362
kWh/m²						1,2	0,33		78,53	-2,26

Tabla 8.10. Ejemplo de cálculo, datos del subsistema de generación método cíclico de la caldera

La eficiencia energética del subsistema de generación tomando los valores mensuales expresados en la tabla 8.10 es (ecuación 4-3):

$$\eta_{CLF,gen} = \frac{Q_{CLF,gen,sld}}{f_y \cdot Q_{CLF,gen,ent} + f_z \cdot W_{CLF,gen,aux}} = \frac{13.118}{1,01 \cdot 12.565 + 2,6 \cdot 239,65} = 98,52\%$$

La eficiencia energética del servicio de calefacción es entonces (ecuación 4-3):

$$\eta_{CLF,est} = \frac{Q_{CLF}}{f_y \cdot E_{CLF,ent} + f_z \cdot W_{CLF,aux}} = \frac{10.617}{1,01 \cdot 12.565 + 2,6 \cdot (0 + 51,4 + 239,65)} = 78,95\%$$

Con las siguientes eficiencias parciales:

$$\eta_{CLF,ems} = 83,87\% \quad \eta_{CLF,dst} = 93,65\% \quad \eta_{CLF,gen} = 98,52\%$$

8.2. Agua caliente sanitaria

Se trata de analizar aquí las prestaciones térmicas de un calentador de agua caliente sanitaria que abastece al edificio descrito en el apartado anterior.

Cada una de las viviendas cuenta con un calentador de gas natural en su interior. Su potencia eléctrica nominal es de 7 W y su rendimiento térmico nominal $\eta_{ACS,1}=90\%$ y $\eta_{ACS,2}=92\%$ según la norma UNE EN 15316-3-1. La temperatura de agua de red es de 13 °C (según norma UNE 94002:1995, vivienda situada en Madrid). No existe recirculación de ACS y tampoco una bomba que lleve el suministro de agua desde la red a los puntos de consumo (la propia presión de red es suficiente).

Se trata de una instalación para una vivienda de dos habitaciones lo que supone tres ocupantes por vivienda. Según el CTE DB HE-4 2013 las necesidades de energía para el servicio de ACS se estiman para un consumo de agua de 30 l/día por persona a una temperatura de servicio de 60 °C según la ecuación:

$$Q_{ACS} = V \cdot C_{e_{agua}} \cdot (T_{rfr} - T_{red}) = 28 \cdot 3,4,18 \cdot (60 - 13) / 3.600 = 4,58 \text{ kWh/día vivienda}$$

Para el subsistema de distribución de agua caliente sanitaria (punto 6.1 de este documento) se utiliza la energía auxiliar para el calentamiento de tuberías o para las bombas, y el consumo total de energía auxiliar se determina mediante la ecuación 6-1:

$$W_{ACS,dst,aux} = W_{ACS,dst,aux,bmb} + W_{ACS,dst,aux,tub-trc}$$

En el ejemplo $W_{ACS,dst,aux,tub-trc} = 0$ (no existe consumo de energía auxiliar para el calentamiento de tuberías) y $W_{ACS,dst,aux,bmb} = 0$ (no existe consumo de energía auxiliar para bombas) y por tanto $W_{ACS,dst,aux} = 0$.

Según la instalación de ACS no existe sistema de recirculación $Q_{dst,prd,rcr} = 0$ y por tanto solo hay que estimar la pérdida térmica de los tubos de distribución individuales.

Para completar el ejercicio se analizan las pérdidas térmicas de los tubos de distribución individuales con todos los métodos propuestos en el punto 6.1.2.1.

En el caso de utilizar la ecuación 6-20 (punto 6.1.2.2 apartado a)) se necesitaría conocer la **masa de los tubos** de distribución y su **contenido de agua** (la temperatura ambiente coincide con la interior pues el generador de ACS está ubicado en el interior de cada vivienda $T_{ACS,alr,med} = T_{int}$; $f_{ACS,cl} = 0$ tabla 6.3):

$$Q_{dst,prd,ind,i} = \frac{\rho_{ag} \cdot C_{e_{ag}} \cdot V_{ag,tub,i} + C_{e_{tub}} \cdot m_{tub,i}}{3.600} \cdot (T_{ag,nmn,i} - T_{ACS,alr,med,i}) \cdot n_{ext,i}$$

En el segundo método (punto 6.1.2.2 apartado b)) propuesto (ecuación 6-24) es necesario conocer la longitud de las tuberías. Para ello se utiliza la fórmula propuesta en la tabla 6.4 en función del área A de la vivienda:

$$L_{wc} = 6 \times (A/80) = 6 \times (80/80) = 6 \text{ m}$$

$$L_{ccn} = 1 \times (A/80) = 1 \times (80/80) = 1 \text{ m}$$

Según la tabla 6.5 $\eta_{tub,ccn} = 1$ y $\eta_{wc} = 0,9$ y por tanto según la ecuación 6-24:

$$\eta_{ACS,tub} = \frac{1}{\left(\frac{f_{ccn}}{\eta_{tub,ccn}} + \frac{f_{wc}}{\eta_{tub,wc}} \right)} = \frac{1}{\left(\frac{0,2}{1} + \frac{0,8}{0,9} \right)} = 0,92$$

La pérdida térmica total diaria de los tubos de suministro de agua caliente sanitaria es por tanto:

$$Q_{ACS,dst,prd,ind} = Q_{ACS} \cdot \frac{1 - \eta_{ACS,tub}}{\eta_{ACS,tub}} = 4,58 \cdot \frac{1 - 0,92}{0,92} = 0,41 \text{ kWh/día vivienda}$$

Por tanto durante todo el año $Q_{ACS,dst,prd,ind,anl} = 0,41 \cdot 365 = 149 \text{ kWh/vivienda}$ (para las dos viviendas es $Q_{ACS,dst,prd,ind,anl} = 149 \cdot 2 = 297 \text{ kWh}$).

Un tercer método está basado (punto 6.1.2.2 apartado c) en las longitudes de los tubos y en los perfiles de extracción. La pérdida térmica diaria $Q_{ACS,dst,prd,ind}$ se expresa mediante la ecuación 6-32 (la demanda no coincide con ninguno de los tres métodos de extracción europeo UNE EN 15316-3-1):

$$Q_{ACS,dst,prd,ind} = Q_{ACS} \cdot \alpha_{ACS,dst}$$

Como $Q_{ACS} = 4,58 \text{ kWh/día} < Q_{ACS,2} = 5,84 \text{ kWh/día}$ α_{dst} se obtiene mediante (ecuación 6-33). Para ello hay que calcular primero $\alpha_{ACS,dst,2}$ según la ecuación 6-30 ($L_{ACS,tub,no\ clf} = 0 \text{ m}$):

$$\alpha_{ACS,dst,2} = 0,10 + 0,005 \cdot (L_{ACS,tub,clf} - 6) + 0,008 \cdot L_{ACS,tub,no\ clf} = 0,10 + 0,005 \cdot ((6+1) - 6) + 0,008 \cdot 0 = 0,105$$

Finalmente utilizando la ecuación 6-33:

$$\alpha_{ACS,dst} = \alpha_{ACS,dst,2} - 0,01 \cdot \frac{Q_{ACS,2} - Q_{ACS}}{Q_{ACS,2} - Q_{ACS,1}} = 0,105 - 0,01 \cdot \frac{5,84 - 4,58}{5,84 - 2,1} = 0,10$$

y por tanto según la ecuación 6-32:

$$Q_{ACS,dst,prd,ind} = Q_{ACS} \cdot \alpha_{ACS,dst} = 4,58 \cdot 0,10 = 0,47 \text{ kWh/día vivienda}$$

Por tanto durante todo el año $Q_{ACS,dst,prd,ind,anl} = 0,47 \cdot 365 = 170,1 \text{ kWh}$ (para las dos viviendas es $Q_{ACS,dst,prd,ind,anl} = 170,1 \cdot 2 = 340,1 \text{ kWh}$).

Como se puede comprobar es muy similar al caso anterior.

Podría realizarse también el cálculo de una cuarta forma (punto 6.1.2.2 apartado d) basada en la longitud de los tubos y en la temperatura media (ecuación 6-35).

$$Q_{dst,prd,rcr,ON} = \sum_i \frac{1}{1.000} \cdot \psi_{ACS,tub} \cdot L_{ACS,tub} \cdot (T_{ACS,ag,med} - T_{ACS,alr,med}) \cdot t_{ACS}$$

Los valores de $\psi_{ACS,tub}$ se pueden obtener de la tabla 5.30 si no se obtienen más datos ($\psi_{ACS,tub} = 0,3 \text{ W/mK}$), la $T_{ACS,ag,med} = 32 \text{ °C}$, la $T_{ACS,alr,med} = 20 \text{ °C}$ (tubos discurren por el interior) y sería difícil de conocer el t_{ACS} . Podría despejarse este valor de la ecuación anterior, pues de cualquiera de los dos métodos descritos anteriormente se conoce $Q_{dst,prd,rcr,ON}$:

$$0,47 = \frac{1}{1.000} \cdot 0,3 \cdot 7 \cdot (32 - 20) \cdot t_{ACS} \Rightarrow t_{ACS} = 18,5 \text{ h/día}$$

En los cálculos no se han considerado las pérdidas térmicas a través de los accesorios, es decir, válvulas y bridas, y a través de los soportes de los tubos ($L_{ACS,eqv} = 0$ m).

Las pérdidas del sistema recuperables para el servicio de calefacción se expresan como una fracción de las pérdidas térmicas de distribución y del consumo de energía auxiliar de distribución según la ecuación 6-39:

$$Q_{ACS,dst,prd,rcb,CLF} = Q_{ACS,dst,ord} \cdot f_{ACS,dst,prd,rcb,CLF} + W_{ACS,dst,aux} \cdot f_{ACS,dst,aux,rcb,CLF}$$

A falta de datos se supone que $Q_{ACS,dst,prd,rcb,CLF} = 0$.

Y por tanto la energía térmica de entrada en el subsistema de distribución de ACS anual es por vivienda:

$$Q_{ACS,dst,ent} = Q_{ACS} + Q_{ACS,dst,prd} = 4,58365 + 0,47365 = 1.843,2 \text{ kWh (5,05 kWh/día)}$$

Y la eficiencia del subsistema de distribución según la ecuación 4-3:

$$\eta_{ACS,dst} = \frac{Q_{ACS}}{f_y \cdot E_{ACS,ent} + f_z \cdot W_{ACS,aux}} = \frac{1.673,2}{1,01 \cdot 1.843,2 + 0} = 89,87\%$$

El consumo total de energía auxiliar (punto 6.1.3) en el subsistema de generación de agua caliente sanitaria $W_{ACS,gen,aux}$ se obtiene mediante (se supone $t_{ACS} = 18,5$ h obtenidos anteriormente) la ecuación 6-40:

$$W_{ACS,gen,aux} = W_{ACS,gen,bmb} + W_{ACS,gen,dsp}$$

El $W_{ACS,gen,bmb} = 0$ y $P_{ACS,gen,nmn} = 7$ W (dato de enunciado) y por tanto según la ecuación 6-41:

$$W_{ACS,gen,aux} = \frac{t_{ACS,bmb} \cdot P_{ACS,gen,nmn}}{1.000} = \frac{18,5 \cdot 7}{1.000} = 0,13 \text{ kWh/día}$$

Por tanto el consumo total por vivienda es en un año $W_{ACS,gen,aux,anl} = 0,13365 = 47,2$ kWh. Si se consideran las dos viviendas serian 94,2 kWh/año.

Se procede ahora al cálculo de las pérdidas térmicas. Se trata de un calentamiento directo de viviendas unifamiliares. Como $Q_{ACS,gen,sld} = Q_{ACS,dst,ent} = 5,05$ kWh/día es menor que $Q_2 = 5,84$ kWh/día se aplica la fórmula 6-47.

$$\eta_{ACS,gen} = \eta_{ACS,2} - 0,0742 \cdot (\eta_{ACS,2} - \eta_{ACS,1}) \cdot (21,042 - Q_{ACS,gen,sld})$$

Los rendimientos $\eta_{ACS,1}$ y $\eta_{ACS,2}$ los tiene que suministrar el fabricante para los programas de extracciones uno y dos $\eta_{ACS,1} = 90\%$ y $\eta_{ACS,2} = 92\%$.

$$\eta_{ACS,gen} = 92 - 0,0742 \cdot (92 - 90) \cdot (21,042 - 5,05) = 89,63\%$$

Y por tanto $Q_{ACS,gen,ent} = Q_{ACS,gen,sld} / \eta_{ACS,gen} = 100,5,05 / 89,63 = 5,63$ kWh/día. Por tanto todo un año hace un total de $E_{ACS,ent,anl} = 365 \cdot 5,63 = 2.056,6$ kWh anuales por vivienda. Un total de 4.113 kWh/año para las dos viviendas.

Las pérdidas del sistema recuperables para el servicio de calefacción se expresan como una fracción de las pérdidas térmicas de distribución y del consumo de energía auxiliar de distribución según la ecuación 6-72:

$$Q_{ACS,dst,prd,rcb,CLF} = Q_{ACS,dst,ord} \cdot f_{ACS,dst,prd,rcb,CLF} + W_{ACS,dst,aux} \cdot f_{ACS,dst,aux,rcb,CLF}$$

A falta de datos se supone que $Q_{ACS,dst,prd,rcb,CLF} = 0$.

Una proporción de la energía auxiliar suministrada al calentador puede recuperarse como calor transferido al agua circulante del servicio de ACS y según la ecuación 6-44:

$$Q_{ACS,gen,aux,rcp} = k_{ACS,gen,aux,rcp} \cdot W_{ACS,gen,aux} = 0,8 \cdot 47,2 = 37,8 \text{ kWh}$$

Eso quiere decir que las pérdidas térmicas del calentador son de: $2.056,6 - (1.843,2 + 37,8) = 175,5$ kWh por cada vivienda, es decir 0,48 kWh/día/vivienda.

El rendimiento total del subsistema de generación de ACS es por tanto según la ecuación 4-3:

$$\eta_{ACS,gen} = \frac{Q_{ACS}}{f_y \cdot E_{ACS,ent} + f_z \cdot W_{ACS,gen,aux}} = \frac{1.843,2}{1,01 \cdot 2.056,6 + 2,6 \cdot 47,2} = 83,79\%$$

El rendimiento total del servicio de ACS es por tanto según la ecuación 4-3:

$$\eta_{ACS} = \frac{Q_{ACS}}{f_y \cdot E_{ACS,ent} + f_z \cdot W_{ACS,gen,aux}} = \frac{1.673,2}{1,01 \cdot 2.056,2 + 2,6 \cdot 47,2} = 76,05\%$$

8.3. Agua caliente sanitaria con apoyo solar

Se trata de realizar el mismo ejercicio que en el caso anterior pero ahora los dos calentadores están apoyados por un sistema de energía solar individual para cada uno.

El objetivo es determinar, por tanto, el rendimiento térmico de una instalación solar de agua caliente sanitaria para una demanda de agua caliente de 180 l por día, con un salto de temperatura de 13 °C (la temperatura media anual del agua fría es de 13 °C) a 60 °C, para la localidad de Madrid, en la Comunidad de Madrid.

El campo de captadores tiene un ángulo de inclinación de 45° y está orientado hacia el sur.

La tabla 8.11 enumera los valores mensuales de la temperatura media del aire exterior y la irradiancia solar en el plano del captador en la zona de ubicación de las viviendas.

Mes	$I_{slr,ent}$	$T_{ext,med}$
	W/m ²	°C
Enero	40	6
Febrero	65	7
Marzo	126	10
Abril	167	12
Mayo	193	16
Junio	209	31
Julio	187	37
Agosto	206	36
Septiembre	139	31
Octubre	94	15
Noviembre	51	9
Diciembre	33	6

Tabla 8.11. Condiciones exteriores para el servicio de ACS⁵⁴

Las características del captador solar se establecieron de acuerdo con la Norma EN 12975-2. El captador tiene una superficie de $A_{cpt} = 2,702 \text{ m}^2$, un factor de rendimiento óptico de $\eta_{opt} = 0,8026$, un coeficiente de pérdida de calor de primer orden de $a_1 = 3,723 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ y un coeficiente de pérdida de calor de segundo orden de $a_2 = 0,0135 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^2)$. El factor de eficiencia del captador es $\eta_{cpt} = 0,91$.

En el sistema de drenaje interior del circuito de captación existe una bomba con potencia nominal de 50 W. Tras rellenar el circuito de captación, la bomba se conecta a una potencia de 20 W.

El depósito de acumulación solar tiene un intercambiador de calor interno en el lateral del captador y una válvula directa de extracción de agua. El volumen del depósito de acumulación solar de acuerdo con las especificaciones del fabricante es de $V_{acm,slr} = 120 \text{ l}$.

El depósito de acumulación solar y la bomba se localizan en la primera planta, que es una parte calefactada de la casa.

El calentador de apoyo externo siempre está en posición de parada. Los tubos entre el depósito de acumulación solar y el calentador de apoyo están aislados.

⁵⁴ Obtenido de los datos meteorológicos con los que operan los programas de certificación energética. Documento Reconocido. <http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Paginas/documentosreconocidos.aspx>

La presión de la red se utiliza para el transporte del agua extraída a través de la instalación solar de agua caliente sanitaria y de su calentador de apoyo.

En principio, se determina el calor absorbido para el agua caliente sanitaria. Este está formado por la demanda de ACS y las pérdidas de calor de los tubos entre el calentador de apoyo y los puntos de extracción, es decir, $4,58+0,47 = 5,05$ kWh/día.

De acuerdo con el capítulo 7.1, las pérdidas de calor entre el depósito de acumulación solar y el calentador de apoyo no deben considerarse.

Por tanto para el mes de enero $Q_{ACS,slr,abs,mns} = (5,05) \cdot 31 = 157$ kWh

La tabla 8.12 enumera el calor mensual absorbido para agua caliente sanitaria para todos los meses.

Mes	Días	$Q_{ACS,slr,abs,mns}$
		kWh
Enero	31	157
Febrero	28	141
Marzo	31	157
Abril	30	152
Mayo	31	157
Junio	30	152
Julio	31	157
Agosto	31	157
Septiembre	30	152
Octubre	31	157
Noviembre	30	152
Diciembre	31	157
Total		1.843

Tabla 8.12. Demanda energética de cálculo para el servicio de ACS

Se dispone ahora a determinar los factores X (ecuación 7-5) e Y (ecuación 7-14) del método f-chart.

$$X = \frac{A_{cpt} \cdot U_{cpt} \cdot \eta_{cpt} \cdot \Delta T_{slr,rfr} \cdot f_{slr,dps} \cdot t_{slr,mes}}{Q_{slr,abs,mns} \cdot 1.000}$$

$$Y = \frac{A_{cpt} \cdot IAM \cdot \eta_{opt} \cdot \eta_{cpt} \cdot I_{mns} \cdot t_{slr,mes}}{Q_{slr,abs,mns} \cdot 1.000}$$

Se empieza calculando el factor de corrección del volumen del depósito de acumulación ecuación 7-11:

$$f_{slr,dps} = \left(\frac{V_{slr,rfr}}{V_{acm,slr}} \right)^{0,25} = \left(\frac{75 \cdot A_{cpt}}{V_{acm,slr}} \right)^{0,25} = \left(\frac{75 \cdot 2,702}{120} \right)^{0,25} = 1,14$$

Se calcula ahora el coeficiente de la pérdida de calor total de los tubos del circuito de captación U_{cpt} . Para ello se debe calcular en primer lugar según la ecuación 7-7:

$$U_{tbs,cpt} = 5 + 0,5 \cdot A_{cpt} = 6,35 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Ahora según la ecuación 7-6:

$$U_{cpt} = a_1 + a_2 \cdot 40 + \frac{U_{tbs,cpt}}{A_{cpt}} = 6,61 \text{ W/m}^2\text{K}$$

El factor de eficiencia del captador es $\eta_{cpt} = 0,91$ (dato del enunciado).

Para el cálculo del $\Delta T_{slr,rfr}$ (ecuación 7-9) mensual se necesita calcular la temperatura de referencia según la ecuación 7-10:

$$T_{slr,rfr} = 11,6 + 1,18 \cdot T_{slr,ACS} + 3,86 \cdot T_{red} - 1,32 \cdot T_{ext,med}$$

$T_{slr,ACS}$ temperatura de ACS que se establece en 40 °C, T_{red} temperatura de red (°C) (idéntica para cada mes es de 13 °C).

Y utilizando la ecuación 7-9 se obtendría los valores mensuales:

$$\Delta T_{slr,rfr} = T_{slr,rfr} - T_{ext,med}$$

Por el tipo de captador (captadores planos con cubierta) IAM = 0,94.

Los valores de X, Y y $Q_{ACS,slr,sld,mns}$ se calculan para cada mes utilizando el calor mensual absorbido (ecuación 7.4) por el agua caliente sanitaria y las características de la instalación citadas.

$$Q_{slr,sld,mns} = (a \cdot Y + b \cdot X + c \cdot Y^2 + d \cdot X^2 + e \cdot Y^3 + f \cdot X^3) \cdot Q_{slr,abs,mns}$$

El valor de $Q_{ACS,slr,sld,mns}$ en enero es de -13,12 kWh y en diciembre de -21,25 kWh por lo que estos valores se toman como cero.

La potencia anual de la instalación es de 776 kWh.

Total	$Q_{ACS,slr,abs,mns}$	T_{rfr}	X	Y	$Q_{ACS,slr,sl,d,mns}$
	kWh	°C			kWh
Enero	157	100,9	8,25	0,35	0
Febrero	141	99,2	7,99	0,57	14
Marzo	157	95,8	7,48	1,10	76
Abril	152	92,9	7,04	1,46	106
Mayo	157	87,8	6,25	1,68	131
Junio	152	68,1	9,50	1,82	157
Julio	157	60,8	9,50	1,63	160
Agosto	157	61,7	9,50	1,80	170
Septiembre	152	68,5	9,50	1,21	114
Octubre	157	89,5	6,51	0,82	55
Noviembre	152	96,6	7,59	0,44	3
Diciembre	157	100,5	8,20	0,29	0
Total	1.843	776/1.843 = 42 %			776

Tabla 8.13. Energía entregada por el sol

Se calcula ahora el consumo de energía auxiliar de la bomba en el circuito de captación. Este se calcula de acuerdo con la ecuación 7.15 donde la potencia de la bomba es de 20 W y el tiempo de funcionamiento anual de la bomba es de 2.000 h distribuidas entre los meses de acuerdo con la irradiación solar de la tabla 8.11.

Los valores para el consumo de la energía auxiliar se enumeran en la tabla 8.14. El total anual es de 40 kWh.

Mes	$I_{slr,ent}$	$W_{slr,aux,mns}$
	W/m ²	kWh
Enero	40	1,1
Febrero	65	1,7
Marzo	126	3,3
Abril	167	4,4
Mayo	193	5,1
Junio	209	5,5

Mes	$I_{slr,ent}$	$W_{slr,aux,mns}$
	W/m ²	kWh
Julio	187	5,0
Agosto	206	5,5
Septiembre	139	3,7
Octubre	94	2,5
Noviembre	51	1,4
Diciembre	33	0,9
Total		40

Tabla 8.14. Consumo de energía auxiliar para el servicio de ACS

Por último se calcula el coeficiente global de pérdidas de calor utilizando la ecuación 7-18:

$$U_{slr,dps} = 0,16 \cdot (V_{slr,dps})^{0,5} = 0,16 \cdot (120)^{0,5} = 1,75 \text{ W / K}$$

El depósito de acumulación solar se sitúa en el espacio calefactado de la casa, $T_{alr,med} = 20 \text{ °C}$.

Con esta información, la pérdida de calor del depósito de acumulación solar se calcula de acuerdo con la ecuación 7-19.

$$Q_{ACS,slr,dps,prd,mns} = \frac{U_{slr,dps} \cdot (T_{ACS} - T_{alr,med}) \cdot \left(\frac{Q_{ACS,slr,sld,mns}}{Q_{ACS,slr,abs,mns}} \right) \cdot t_{slr,mes}}{1.000}$$

La tabla 8.15 recoge los resultados. La pérdida de calor anual del depósito de acumulación es de 258 kWh.

Mes	$Q_{ACS,slr,dps,prd,mns}$	$Q_{apy,dst,prd,mns}$	$Q_{ACS,ent}$	$Q_{ACS,slr,ent}$
	kWh	kWh	kWh	kWh
Enero	0,00	0,00	142,11	142,11
Febrero	4,90	0,29	128,35	118,85
Marzo	24,91	1,50	142,11	93,74
Abril	34,17	2,05	137,52	71,19
Mayo	41,95	2,52	142,11	60,67
Junio	37,19	2,23	137,52	65,33

Mes	$Q_{ACS,slr,dps,prd,mns}$	$Q_{apy,dst,prd,mns}$	$Q_{ACS,ent}$	$Q_{ACS,slr,ent}$
	kWh	kWh	kWh	kWh
Julio	34,67	2,08	142,11	74,80
Agosto	37,95	2,28	142,11	68,44
Septiembre	23,76	1,43	137,52	91,41
Octubre	17,93	1,08	142,11	107,30
Noviembre	1,07	0,06	137,52	135,44
Diciembre	0,00	0,00	142,11	142,11
Total	258	16	1673,18	1171,37

Tabla 8.15. Pérdidas térmicas del servicio de ACS

Las pérdidas de calor de los tubos entre el depósito de acumulación solar y el calentador de apoyo pueden calcularse mediante la ecuación 7.21:

$$Q_{apy,dst,prd,mns} = \frac{0,02 \cdot Q_{slr,abs,med} \cdot Q_{slr,sld,med}}{Q_{slr,abs,med}}$$

La pérdida de calor anual de los tubos es de 16 kWh.

Y por tanto la eficiencia (ecuación 4-3):

$$\eta_{ACS} = \frac{Q_{ACS}}{f_y \cdot E_{ACS,ent} + f_z \cdot W_{ACS,gen,aux}} = \frac{1.673,18}{1,01 \cdot 1.171,37 + 2,6 \cdot (75,6 + 40)} = 112,77\%$$

Siendo estrictos en el cálculo hay que considerar que parte del consumo de la energía auxiliar y de las pérdidas de calor de la instalación solar térmica son recuperables y se pueden emplear para la calefacción de la vivienda durante la estación de calefacción:

- 50% del consumo de energía auxiliar. $Q_{slr,aux,rcb,mns} = 0,5 \cdot W_{slr,aux,mns}$
- 100% de las pérdidas de calor del depósito de acumulación solar y de los tubos entre el depósito de acumulación solar y el calentador de apoyo, dado que tanto el depósito de acumulación solar como el calentador de apoyo se localizan en la parte calefactada de la casa. $Q_{ACS,slr,dps,prd,rcb,mns} = Q_{ACS,slr,dps,prd,mns}$ y $Q_{apy,dst,prd,rcb,mns} = Q_{apy,dst,prd,mns}$

La tabla 8.16 enumera las pérdidas recuperables obtenidas a través de la ecuación 7-23:

$$Q_{slr,prd,rcb,mns} = Q_{slr,aux,rcb,mns} + Q_{ACS,slr,dps,prd,rcb,mns} + Q_{apy,dst,prd,rcb,mns}$$

Las pérdidas recuperables anuales son de 143 kWh que tendrían que ser descontadas en el servicio de calefacción.

Mes	$Q_{slr,aux,rcb,mns}$	$Q_{ACS,slr,dps,prd,rcb,mns}$	$Q_{apy,dst,prd,rcb,mns}$	$Q_{slr,prd,rcb,mns}$
	kWh	kWh	kWh	kWh
Enero	0,53	0,00	0,00	0,53
Febrero	0,86	4,90	0,29	6,05
Marzo	1,67	24,91	1,50	28,08
Abril	2,21	34,17	2,05	38,43
Mayo	2,56	41,95	2,52	47,02
Junio	2,77	37,19	2,23	NO INVIERNO
Julio	2,48	34,67	2,08	NO INVIERNO
Agosto	2,73	37,95	2,28	NO INVIERNO
Septiembre	1,84	23,76	1,43	NO INVIERNO
Octubre	1,25	17,93	1,08	20,25
Noviembre	0,68	1,07	0,06	1,81
Diciembre	0,44	0,00	0,00	0,44
Total				143

Tabla 8.16. Pérdidas térmicas recuperables para el servicio de CALEFACCIÓN

8.4. Acumulación de ACS por calentamiento directo con encendido discontinuo

Se muestra en este ejemplo el cálculo de pérdidas térmicas de un generador (acumulador) eléctrico con encendido discontinuo. Los datos iniciales son los que se muestran en la tabla 8.17.

Descripción	Valor y unidad
Diámetro externo	$D_{gen/acm} = 0,52 \text{ m}$
Altura externa del aparato	$L_{gen/acm} = 1,42 \text{ m}$
Coefficiente de transferencia térmica	$n = 1,25$
Valor normalizado de las pérdidas térmicas	$Q_{ACS,gen/acm,prd,nmn} = 0,475 \text{ kWh/día (1,71 MJ/día)}$
Capacidad nominal	$V_{ACS,gen/acm} = 200 \text{ l}$
Potencia del suministro energético	$\Phi_{ACS,gen} = 2,2 \text{ kW}$

Tabla 8.17. Ejemplo de cálculo, datos termoacumulador

Otros parámetros necesarios son los tres modelos de extracción según la norma UNE EN 15316-3-1:

Modelo de extracción 1 $Q_{ACS,1} = 2,1 \text{ kWh/día}$ (7,56 MJ/día).

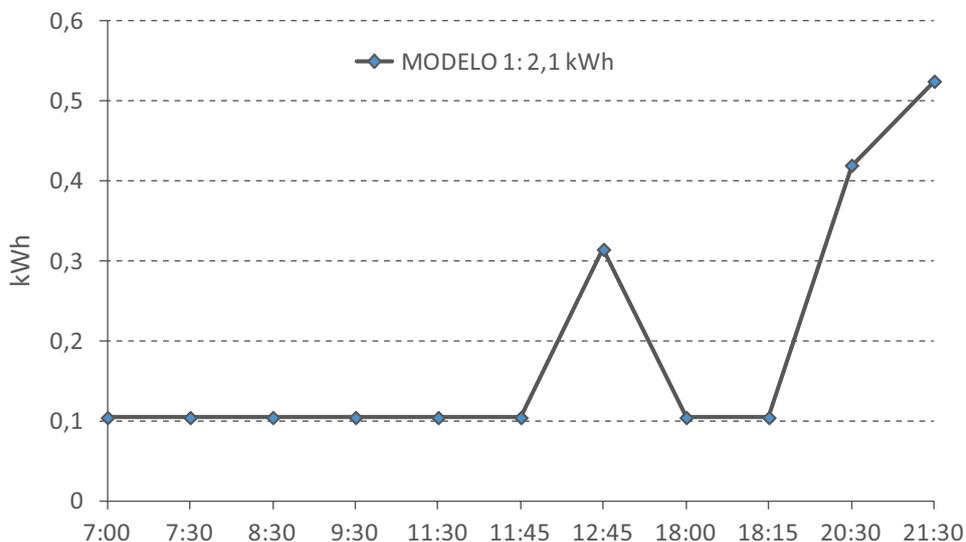


Imagen 8.1. Modelo de extracción 1 según UNE EN 15316-3-1. 2,1 kWh

EXTRACCIONES	Hora	Energía	Energía acumulada
		kWh	kWh
1	7:00	0,105	0,105
2	7:30	0,105	0,21
3	8:30	0,105	0,315
4	9:30	0,105	0,42
5	11:30	0,105	0,105
6	11:45	0,105	0,21
7	12:45	0,315	0,525
8	18:00	0,105	0,105
9	18:15	0,105	0,21
10	20:30	0,42	0,63
11	21:30	0,525	1,155

Tabla 8.18. Datos horarios del modelo de extracción 1

Modelo de extracción 2 $Q_{ACS,2} = 5,845 \text{ kWh/día}$ (21,04 MJ/día).

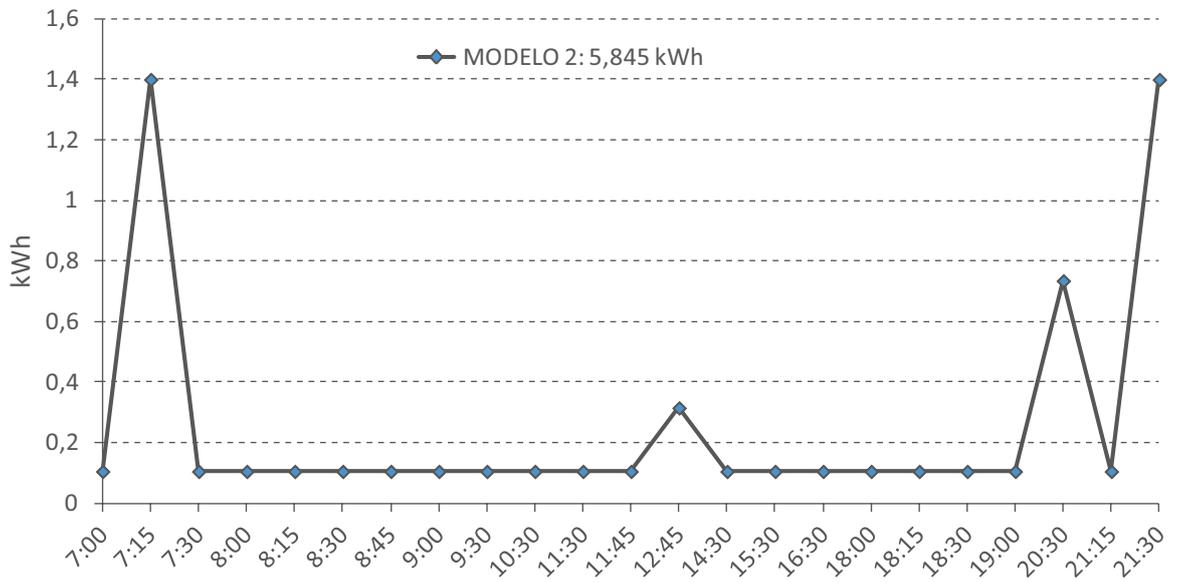


Imagen 8.2. Modelo de extracción 2 según UNE EN 15316-3-1. 5,845 kWh

Extracciones	Hora	Energía	Energía acumulada
		kWh	kWh
1	7:00	0,105	0,105
2	7:15	1,4	1,505
3	7:30	0,105	1,61
4	8:00	0,105	1,715
5	8:15	0,105	1,82
6	8:30	0,105	1,925
7	8:45	0,105	2,03
8	9:00	0,105	2,135
9	9:30	0,105	2,24
10	10:30	0,105	0,105
11	11:30	0,105	0,21
12	11:45	0,105	0,315
13	12:45	0,315	0,63
14	14:30	0,105	0,735

Extracciones	Hora	Energía	Energía acumulada
		kWh	kWh
15	15:30	0,105	0,84
16	16:30	0,105	0,945
17	18:00	0,105	0,105
18	18:15	0,105	0,21
19	18:30	0,105	0,315
20	19:00	0,105	0,42
21	20:30	0,735	1,155
22	21:15	0,105	1,26
23	21:30	1,4	2,66

Tabla 8.19. Datos horarios del modelo de extracción 2

Modelo de extracción 3 $Q_{ACS,3} = 11,655 \text{ kWh/día (41,96 MJ/día)}$.

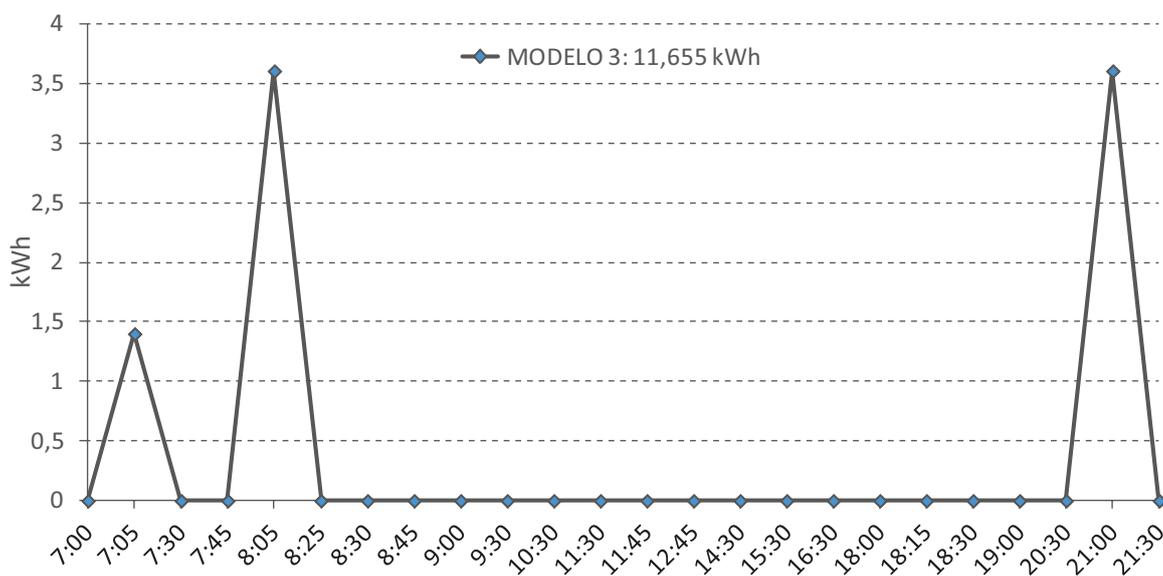


Imagen 8.3. Modelo de extracción 3 según UNE EN 15316-3-1. 11,655 kWh

Extracciones	Hora	Energía kWh
1	7:00	0,105
2	7:05	1,4

Extracciones	Hora	Energía kWh
3	7:30	0,105
4	7:45	0,105
5	8:05	3,605
6	8:25	0,105
7	8:30	0,105
8	8:45	0,105
9	9:00	0,105
10	9:30	0,105
11	10:30	0,105
12	11:30	0,105
13	11:45	0,105
14	12:45	0,315
15	14:30	0,105
16	15:30	0,105
17	16:30	0,105
18	18:00	0,105
19	18:15	0,105
20	18:30	0,105
21	19:00	0,105
22	20:30	0,735
23	21:00	3,605
24	21:30	0,105

Tabla 8.20. Datos horarios del modelo de extracción 3

Se empieza calculando la superficie cuando el calentador de agua se encuentra en régimen de temperatura $A_{ACS,gen/acm,max} = 3,77 \text{ m}^2$ (ecuación 6-62):

$$A_{ACS,gen/acm,max} = \pi \cdot D_{gen/acm} \cdot L_{gen/acm} + 2 \cdot \pi \cdot \frac{(D_{gen/acm})^2}{4} \cdot n \cdot \frac{L_{gen/acm}}{D_{gen/acm}}$$

$$A_{ACS,gen/acm,max} = 3,14 \cdot 0,52 \cdot 1,42 + 2 \cdot 3,14 \cdot \frac{(0,52)^2}{4} \cdot 1,25 \cdot \frac{1,42}{0,52} = 3,77 \text{ m}^2$$

A continuación se calcula la cantidad máxima de energía térmica que podría acumularse en el aparato $Q_{ACS,gen/acm,max} = 10,45 \text{ kWh}$ (ecuación 6-68):

$$Q_{ACS,gen/acm,max} = \frac{4,18 \cdot V_{ACS,gen/acm} \cdot (60 - 15)}{1000}$$

$$Q_{ACS,gen/acm,max} = \frac{4,18 \cdot 200 \cdot (60 - 15)}{1.000} = 37,638 \text{ MJ/día} = 10,45 \text{ kWh/día}$$

Es decir, no es aplicable el modelo de extracción 3 pues $Q_{ACS,3} = 11,655 \text{ kWh/día} > 10,45 \text{ kWh/día}$.

Se opera primero con el modelo de extracción 1. Atendiendo al modelo de extracción se realizan las siguientes hipótesis para reducir las 11 extracciones del modelo 1 a las tres propuestas por el método.

$$t_1 = 9:30 \text{ entonces } t_1 - t_0 = 2,5 \text{ h y } Q_{ACS,gen/acm,1} = 0,42 \text{ kWh (mañana)}$$

$$t_2 = 12:45 \text{ entonces } t_2 - t_1 = 5,25 \text{ h y } Q_{ACS,gen/acm,1} = 0,525 \text{ kWh (tarde)}$$

$$t_3 = 20:00 \text{ entonces } t_3 - t_2 = 7,25 \text{ h y } Q_{ACS,gen/acm,1} = 1,155 \text{ kWh (noche)}$$

$$t_4 = 23:00 \text{ entonces } t_4 - t_3 = 3 \text{ h}$$

y además ecuación 6-70:

$$t_5 - t_4 = \frac{Q_{ACS,gen/acm,mdl1} + Q_{ACS,gen/acm,nmn}}{3,6 \cdot \phi_{ACS,gnr}} = \frac{7,56 + 1,71}{3,6 \cdot 2,2} = 1,17 \text{ h} \Rightarrow t_5 = 00:17$$

y según la ecuación 6-71:

$$t_6 - t_5 = 8 - (t_5 - t_4) = 8 - (1,17) = 6,83 \text{ h} \Rightarrow t_6 = 07:00$$

Se calculan ahora los factores X_i (ecuaciones 6-66 y 6-67):

$$X_1 = \frac{\sum_{j=1}^1 q_{ACS,gen/acm,j}}{Q_{ACS,gen/acm,max}} = \frac{0,42}{10,45} = 0,0402$$

$$X_2 = \frac{\sum_{j=1}^2 q_{ACS,gen/acm,j}}{Q_{ACS,gen/acm,max}} = \frac{0,525}{10,45} = 0,0904$$

$$X_3 = \frac{\sum_{j=1}^3 q_{ACS,gen/acm,j}}{Q_{ACS,gen/acm,max}} = \frac{1,155}{10,45} = 0,2010$$

$$X_4 = \frac{0,5 \cdot Q_{ACS,gen/acm,md1}}{Q_{ACS,gen/acm,max}} = \frac{0,5 \cdot 2,1}{10,45} = 0,1005$$

Con esto se pueden calcular las áreas medias parciales (ecuaciones 6-64 y 6-65):

$$i = t_0 \text{ y } t_5 \quad A_{ACS,gen/acm,med,i} = \pi \cdot D_{gen/acm} \cdot L_{gen/acm} + 2 \cdot \pi \cdot \frac{(D_{gen/acm})^2}{4}$$

$$A_{ACS,gen/acm,med,1} = 3,14 \cdot 0,52 \cdot 1,42 + 2 \cdot 3,14 \cdot \frac{(0,52)^2}{4} = 2,74 \text{ m}^2 = A_{ACS,gen/acm,med,5}$$

$$t_1 \leq i \leq t_4 \quad A_{ACS,gen/acm,med,i} = \pi \cdot D_{gen/acm} \cdot L_{gen/acm} \cdot (1 - X_i) + \pi \cdot \frac{(D_{gen/acm})^2}{4}$$

$$A_{ACS,gen/acm,med,1} = 3,14 \cdot 0,52 \cdot 1,42 \cdot (1 - 0,0402) + 3,14 \cdot \frac{(0,52)^2}{4} = 2,438 \text{ m}^2$$

$$A_{ACS,gen/acm,med,2} = 3,14 \cdot 0,52 \cdot 1,42 \cdot (1 - 0,0904) + 3,14 \cdot \frac{(0,52)^2}{4} = 2,322 \text{ m}^2$$

$$A_{ACS,gen/acm,med,3} = 3,14 \cdot 0,52 \cdot 1,42 \cdot (1 - 0,2010) + 3,14 \cdot \frac{(0,52)^2}{4} = 2,066 \text{ m}^2$$

$$A_{ACS,gen/acm,med,4} = 3,14 \cdot 0,52 \cdot 1,42 \cdot (1 - 0,1005) + 3,14 \cdot \frac{(0,52)^2}{4} = 2,299 \text{ m}^2$$

Por tanto el área media ponderada en el total de horas al día es (ecuación 6-63):

$$A_{ACS,gen/acm,med} = \frac{1}{24} \cdot \sum_{i=0}^5 A_{ACS,gen/acm,med,i} \cdot (t_{i+1} - t_i) = 2,67 \text{ m}^2$$

Y finalmente la pérdida térmica para el modelo de extracción uno es (ecuación 6-61):

$$Q_{ACS,gen,prd} = Q_{ACS,gen/prd,nmn} \cdot \left(\frac{A_{ACS,gen/acm,med}}{A_{ACS,gen/acm,max}} \right)^n = 1,71 \cdot \left(\frac{2,67}{3,77} \right)^{1,25} = 1,11 \text{ MJ / día} = 0,31 \text{ kWh / día}$$

De igual forma se procedería con el modelo de extracción 2. Se resumen los resultados en la siguiente tabla 8.21.

Modelo de extracción 1			Modelo de extracción 2		
Q_{ACS1}	2,1	kWh	Q_{ACS2}	5,845	kWh
$D_{gen/acm}$		0,52			m
$L_{gen/acm}$		1,42			m
n		1,25			–
$Q_{ACS\ gen/prd\ nmn}$		0,475			kWh
$V_{ACS\ gen/acm}$		200			l
$\Phi_{ACS,gnr}$		2,2			kW
$A_{ACS\ gen/acm,max}$		3,77			m ²
$Q_{ACS\ gen/acm,max}$		10,45			kWh
$A_{ACS,gen/acm,med,0}$	2,74	m ²		2,74	m ²
t_1-t_0	2,50	h		2,50	h
$Q_{mañana}$	0,42	kWh		2,24	kWh
X_1	0,04	–		0,21	–
A_1	2,44	m ²		2,03	m ²
t_2-t_1	5,25	h		5,75	h
Q_{tarde}	0,53	kWh		0,95	kWh
X_2	0,09	–		0,30	–
A_2	2,32	m ²		1,82	m ²
t_3-t_2	7,25	h		7,50	h
Q_{noche}	1,16	kWh		2,66	kWh
X_3	0,20	–		0,56	–
A_3	2,06	m ²		1,23	m ²
t_4-t_3	3,00	h		2,50	h
Q_{ACS1}	2,10	kWh		5,85	kWh
X_4	0,10	–		0,28	–
A_4	2,30	m ²		1,88	m ²
t_5-t_4	1,17	h		2,87	h
A_5	2,74	m ²		2,74	m ²
t_6-t_5	6,83	h		5,13	h
$A_{ACS, gen/acm,med}$	2,67	m ²		0,00	m ²
$Q_{ACS,gnr,prd}$	0,31	kWh/dia		0,25	kWh/dia

Tabla 8.21. Resultados obtenidos para ejemplo con termo eléctrico

9 Anexo II. Listado de normas CEN

Sección 1: Cálculo del uso global de energía en los edificios							
Alcance	Número	Parte	Sección	Año	Título	Parte	Sección
UNE-EN	15217			2007	Eficiencia energética de los edificios	Métodos para expresar la eficiencia energética y para la certificación energética de los edificios	
UNE EN	15459			2008	Eficiencia energética de los edificios	Procedimiento de evaluación económica de los sistemas energéticos de los edificios	
UNE EN	15603			2008	Eficiencia energética de los edificios	Consumo global de energía y definición de las evaluaciones energéticas	

Sección 2: Cálculo de la energía suministrada							
Alcance	Número	Parte	Sección	Año	Título	Parte	Sección
UNE EN	15193			2008	Eficiencia energética de los edificios	Requisitos energéticos para la iluminación	
UNE EN	15232			2008	Eficiencia energética de los edificios	Métodos de cálculo de las mejoras de la eficiencia energética mediante la aplicación de sistemas integrados de gestión técnica de edificios	
UNE EN	15241			2008	Ventilación de edificios	Métodos de cálculo de las pérdidas de energía debidas a la ventilación y la infiltración en los edificios comerciales	

Sección 2: Cálculo de la energía suministrada							
Alcance	Número	Parte	Sección	Año	Título	Parte	Sección
UNE EN	15243			2009	Ventilación de edificios	Cálculo de la temperatura de recintos, de las cargas y de la energía para los edificios con sistemas de acondicionamiento de aire	
UNE EN	15316	1		2008	Sistemas de calefacción en los edificios	Método para el cálculo de los requisitos de energía del sistema y de la eficiencia del sistema	Parte 1: Generalidades
UNE EN	15316	2	1	2008	Sistemas de calefacción en los edificios	Método para el cálculo de los requisitos de energía del sistema y de la eficiencia del sistema	Parte 2-1: Sistemas de emisión para calefacción de locales
UNE EN	15316	2	3	2008	Sistemas de calefacción en los edificios	Método para el cálculo de los requisitos de energía del sistema y de la eficiencia del sistema	Parte 2-3: Sistemas de distribución para calefacción de locales
UNE EN	15316	3	1	2008	Sistemas de calefacción en los edificios	Método para el cálculo de los requisitos de energía del sistema y de la eficiencia del sistema	Parte 3-1: Sistema de agua caliente sanitaria, caracterización de necesidades (requisitos de acometida)
UNE EN	15316	3	2	2008	Sistemas de calefacción en los edificios	Método para el cálculo de los requisitos de energía del sistema y de la eficiencia del sistema	Parte 3-2: Sistema de agua caliente sanitaria, distribución
UNE EN	15316	3	3	2008	Sistemas de calefacción en los edificios	Método para el cálculo de los requisitos de energía del sistema y de la eficiencia del sistema	Parte 3-3: Sistema de agua caliente sanitaria, generación
UNE EN	15316	4	1	2010	Sistemas de calefacción en los edificios	Método para el cálculo de los requisitos de energía del sistema y de la eficiencia del sistema	Parte 4-1: Sistemas de generación para calefacción de locales, sistemas de combustión (calderas)
UNE EN	15316	4	2	2010	Sistemas de calefacción en los edificios	Método para el cálculo de los requisitos de energía del sistema y de la eficiencia del sistema	Parte 4-2: Sistemas de generación para calefacción de locales, sistemas de bomba de calor

Sección 2: Cálculo de la energía suministrada							
Alcance	Número	Parte	Sección	Año	Título	Parte	Sección
UNE EN	15316	4	3	2008	Sistemas de calefacción en los edificios	Método para el cálculo de los requisitos de energía del sistema y de la eficiencia del sistema	Parte 4-3: Sistemas de generación de calor, sistemas solares térmicos.
UNE EN	15316	4	4	2008	Sistemas de calefacción en los edificios	Método para el cálculo de los requisitos de energía del sistema y de la eficiencia del sistema	Parte 4-4: Sistemas de generación de calor, sistemas de cogeneración integrados en el edificio.
UNE EN	15316	4	5	2008	Sistemas de calefacción en los edificios	Método para el cálculo de los requisitos de energía del sistema y de la eficiencia del sistema	Parte 4-5: Sistemas de generación para calefacción de locales, calidad y prestaciones de los sistemas de calefacción urbana y de los sistemas de gran volumen
UNE EN	1264	3		2010	Sistemas de calefacción en los edificios	Sistemas de calefacción y refrigeración de circulación de agua integrados en superficies.	Parte 3: Dimensionamiento
UNE EN	15316	4	6	2008	Sistemas de calefacción en los edificios	Método para el cálculo de los requisitos de energía del sistema y de la eficiencia del sistema	Parte 4-6: Sistemas de generación de calor, sistemas fotovoltaicos
UNE EN	15316	4	7	2010	Sistemas de calefacción en los edificios	Método para el cálculo de los requisitos de energía del sistema y de la eficiencia del sistema	Parte 4-7: Sistemas de generación de calefacción en locales, sistemas de combustión de biomasa
EN	15316	4	8	2011	Sistemas de calefacción en los edificios	Método para el cálculo de los requisitos de energía del sistema y de la eficiencia del sistema	Parte 4-8: Sistemas de generación para calefacción de locales, sistemas de calefacción por aire y de calefacción por radiación suspendidos.
UNE EN	15377	1		2008	Sistemas de calefacción en los edificios	Diseño de sistemas empotrados de calefacción y refrigeración por agua	Parte 1: Determinación de la capacidad nominal de diseño de calefacción y refrigeración

Sección 2: Cálculo de la energía suministrada							
Alcance	Número	Parte	Sección	Año	Título	Parte	Sección
UNE EN	15377	3		2008	Sistemas de calefacción en los edificios	Diseño de sistemas empotrados de calefacción y refrigeración por agua	Parte 3: Optimización para la utilización de fuentes de energías renovables

Sección 3: Cálculo de las necesidades de energía para calefacción y refrigeración							
Alcance	Número	Parte	Sección	Año	Título	Parte	Sección
UNE EN ISO	13786			2011	Eficiencia energética de los edificios	Prestaciones térmicas de los productos y componentes para edificación. Características térmicas dinámicas. Métodos de cálculo. (ISO 13786: 2007)	
UNE EN ISO	13790			2008	Eficiencia energética de los edificios	Cálculo del consumo de energía para calefacción y refrigeración de espacios (ISO 13790:2008)	
UNE EN	15255			2007	Eficiencia energética de los edificios	Cálculo de la carga de refrigeración sensible de un local. Criterios generales y procedimientos de validación	

Sección 4 A: Prestaciones térmicas de los componentes de los edificios							
Alcance	Número	Parte	Sección	Año	Título	Parte	Sección
UNE EN ISO	6946			2012	Componentes y elementos para la edificación	Resistencia térmica y transmitancia térmica. Método de cálculo (ISO 6946:2007)	
UNE EN ISO	10077	1		2010	Comportamiento térmico de ventanas, puertas y persianas	Cálculo de la transmitancia térmica	Parte 1: Generalidades
UNE EN ISO	10077	2		2012	Prestaciones térmicas de ventanas, puertas y persianas	Cálculo del coeficiente de transmitancia térmica	Parte 2: Método numérico para los marcos (ISO 10077-2:2012)

Sección 4 A: Prestaciones térmicas de los componentes de los edificios							
Alcance	Número	Parte	Sección	Año	Título	Parte	Sección
UNE EN ISO	10211			2012	Puentes térmicos en edificación	Flujos de calor y temperaturas superficiales. Cálculos detallados (ISO 10211:2007)	
UNE EN ISO	10456			2012	Materiales y productos para la edificación. Propiedades higrotérmicas. Valores tabulados de diseño y procedimientos para la determinación de los valores térmicos declarados y de concepción (ISO 10456:2007)		
UNE EN ISO	13370			2010	Prestaciones térmicas de edificios	Transmisión de calor por el terreno. Métodos de cálculo (ISO 13370:2007)	
UNE EN ISO	13786			2011	Prestaciones térmicas de los productos y componentes para edificación.	Características térmicas dinámicas. Métodos de cálculo (ISO 13786:2007)	
UNE EN ISO	13789			2010	Prestaciones térmicas de edificios	Coefficientes de transferencia de calor por transmisión y ventilación. Método de cálculo (ISO 13789:2007)	
UNE EN	13947			2011	Prestaciones térmicas de las fachadas ligeras	Cálculo de la transmitancia térmica	
UNE EN ISO	14683			2011	Puentes térmicos en la edificación	Transmitancia térmica lineal. Método simplificado y valores por defecto (ISO 14683:2007)	

Sección 4 B: Ventilación e infiltración del aire							
Alcance	Número	Parte	Sección	Año	Título	Parte	Sección
UNE EN	13465			2004	Ventilación de edificios	Métodos de cálculo para la obtención del caudal de aire en viviendas	

Sección 4 B: Ventilación e infiltración del aire							
Alcance	Número	Parte	Sección	Año	Título	Parte	Sección
UNE EN	13779			2008	Ventilación de edificios no residenciales	Requisitos de prestaciones de sistemas de ventilación y acondicionamiento de recintos	
UNE EN	15242			2007	Ventilación de los edificios	Métodos de cálculo para la determinación de las tasas de los caudales de aire en edificios, incluyendo la infiltración	

Sección 4 C: Sobre calentamiento y protección solar							
Alcance	Número	Parte	Sección	Año	Título	Parte	Sección
UNE EN	13363	1	A1	2009	Dispositivos de protección solar combinados con acristalamiento	Cálculo del factor de transmitancia solar y luminosa	Parte 1: Método simplificado
UNE EN	13363	2		2008	Dispositivos de protección solar combinados con acristalamiento	Cálculo del factor de transmitancia solar y luminosa	Parte 2: Método de cálculo detallado
UNE EN ISO	13791			2013	Comportamiento térmico de los edificios	Cálculo de las temperaturas interiores de un local sin refrigeración mecánica en verano. Criterios generales y procedimientos de validación (ISO 13791:2012)	
UNE EN ISO	13792			2013	Comportamiento térmico de los edificios	Cálculo de las temperaturas interiores de un local sin refrigeración mecánica en verano. Métodos simplificados (ISO 13792:2012)	

Sección 4 D: Condiciones interiores y clima exterior							
Alcance	Número	Parte	Sección	Año	Título	Parte	Sección
CR	1752			1998	Ventilación de edificios	Criterios de diseño para el ambiente interior.	
UNE EN	15251			2008	Parámetros del ambiente interior a considerar para el diseño y la evaluación de la eficiencia energética de edificios incluyendo la calidad del aire interior, condiciones térmicas, iluminación y ruido		
UNE EN ISO	15927	1			Comportamiento higrotérmico de edificios	Cálculo y presentación de datos climáticos	Parte 1: Medias mensuales de elementos meteorológicos simples (ISO 15927-1:2003)
UNE EN ISO	15927	2		2010	Comportamiento higrotérmico de edificios	Cálculo y presentación de datos climáticos	Parte 2: Datos horarios para el dimensionamiento de la carga de refrigeración (ISO 15927-2:2009)
pr EN ISO	15927	3			Comportamiento higrotérmico de edificios	Cálculo y presentación de datos climáticos	Parte 3: Cálculo de un índice de lluvia para superficies verticales a partir de datos horarios de viento y de lluvia (ISO 15927-3:2006)
UNE EN ISO	15927	4		2011	Comportamiento higrotérmico de edificios	Cálculo y presentación de datos climáticos	Parte 4: Datos horarios para la evaluación de la energía anual utilizada en calefacción y refrigeración (ISO 15927-4:2005)
UNE EN ISO	15927	5		2012	Comportamiento higrotérmico de edificios	Cálculo y presentación de datos climáticos	Parte 5: Datos para la carga térmica de diseño de calefacción (ISO 15927-5:2004)
UNE EN ISO	15927	6		2009	Comportamiento higrotérmico de edificios	Cálculo y presentación de datos climáticos	Parte 6: Diferencias acumuladas de temperatura (en grados por día) (ISO 15927-6:2007)

Sección 4E: Definiciones y terminología							
Alcance	Número	Parte	Sección	Año	Título	Parte	Sección
UNE EN ISO	7345			1996	Aislamiento térmico	Magnitudes físicas y definiciones (ISO 7345:1987)	
UNE EN ISO	9251			1996	Aislamiento térmico	Condiciones de transmisión térmica y propiedades de los materiales. Vocabulario (ISO 9251:1987)	
UNE EN ISO	9288			1996	Aislamiento térmico	Transmisión de calor por radiación. Magnitudes físicas y definiciones (ISO 9288:1989)	
UNE EN	12792			2004	Ventilación de edificios	Símbolos, terminología y símbolos gráficos	

Sección 5: Monitorización y verificación							
Alcance	Número	Parte	Sección	Año	Título	Parte	Sección
UNE EN ISO	12569			2002	Aislamiento térmico de los edificios	Determinación del cambio de aire en edificios. Método de dilución de gas trazador (ISO 12569:2000)	
UNE EN	12599			2014	Ventilación de edificios	Procedimientos de ensayo y métodos de medición para la recepción de los sistemas de ventilación y de climatización instalados	
UNE EN	13187				Prestaciones térmicas de edificios	Detección cualitativa de irregularidades en cerramientos de edificios. Método de infrarrojos (ISO 6781:1983 modificada)	
UNE EN	13829			2002	Aislamiento térmico	Determinación de la estanqueidad al aire en edificios. Método de presurización por medio de ventilador (ISO 9972:1996, modificada)	

Sección 5: Monitorización y verificación							
Alcance	Número	Parte	Sección	Año	Título	Parte	Sección
UNE EN	15239			2007	Ventilación de edificios	Eficiencia energética de los edificios. Directrices para la inspección de sistemas de ventilación	
UNE EN	15240			2008	Ventilación de edificios	Eficiencia energética de los edificios. Directrices para la inspección de sistemas de acondicionamiento de aire	
UNE EN	15378			2008	Sistemas de calefacción en los edificios	Inspección de calderas y sistemas de calefacción	

10 Bibliografía

10.1. Capítulo 2

- [2.1] Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios.
- [2.2] DTIE 7.05. Cálculo de cargas térmicas. José Manuel Pinazo Ojer, Víctor Soto Francés y Arcadio García Lastra. ISBN: 978-84-95010-42-1. Depósito Legal: M-34403-2011
- [2.3] <http://www.codigotecnico.org/index.php/menu-recursos/menu-aplicaciones>.
- [2.4] Procedimientos Simplificados para la Certificación Energética de edificios.
<http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Paginas/procedimientos-certificacion-proyecto-terminados.aspx>.
- [2.5] Escala de calificación energética para edificios de nueva construcción.
<http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/normativamodelosutilizacion/20151123-Calificacion-eficiencia-energetica-edificios.pdf>.
- [2.6] Escala de calificación energética para edificios existentes.
<http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/normativamodelosutilizacion/20151123-Calificacion-eficiencia-energetica-edificios.pdf>.

10.2. Capítulo 4

- [4.1] RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios) aprobado por el Real Decreto 47/2007, de 19 de enero.
- [4.2] La electricidad en el confort térmico de los locales. Calefacción Eléctrica. Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento (IETCC).
- [4.3] UNE EN 15316:2008. Sistemas de calefacción en los edificios. Método para el cálculo de los requisitos de energía del sistema y de la eficiencia del sistema. Parte 1: Generalidades.

- [4.4] UNE EN 15603:2008. Eficiencia energética de los edificios. Consumo global de energía y definición de las evaluaciones energéticas.

10.3. Capítulo 5

- [5.1] UNE EN 15316-2-1:2008. Sistemas de calefacción en los edificios. Método para el cálculo de los requisitos de energía del sistema y de la eficiencia del sistema. Parte 2-1: Sistemas de emisión para calefacción de locales.
- [5.2] UNE EN 15316-2-3:2008. Sistemas de calefacción en los edificios. Método para el cálculo de los requisitos de energía del sistema y de la eficiencia del sistema. Parte 2-3: Sistemas de distribución para calefacción de locales.
- [5.3] UNE EN 15316-4-1:2008. Sistemas de calefacción en los edificios. Método para el cálculo de los requisitos de energía del sistema y de la eficiencia del sistema. Parte 4-1: Sistemas de generación para calefacción de locales, sistemas de combustión (calderas).
- [5.4] UNE EN 15316-4-7:2010. Sistemas de calefacción en los edificios. Método para el cálculo de los requisitos de energía del sistema y de la eficiencia del sistema. Parte 4-7: Sistemas de generación de calefacción en locales, sistemas de combustión de biomasa.
- [5.5] UNE-EN 1264. Calefacción por suelo radiante. Sistemas y componentes:
- Parte 1:2012: Definiciones y símbolos.
 - Parte 2:2010: Suelo radiante: Métodos para la determinación de la emisión térmica de los suelos radiantes por cálculo y ensayo.
 - Parte 3:2010: Dimensionamiento.
 - Parte 4:2010: Instalación.
 - Parte 5:2009: Suelos, techos y paredes radiantes. Determinación de la emisión térmica.
- [5.6] UNE EN 60675:1999. Aparatos electrodomésticos de calefacción de locales por acción directa. Métodos de medida de la aptitud para la función.
- [5.7] UNE EN 215:2007. Válvulas termostáticas para radiadores. Requisitos y métodos de ensayo.
- [5.8] UNE EN 15500:2010. Regulación para aplicaciones de calefacción, ventilación y climatización. Equipo electrónico individual de regulación de zona.
- [5.9] RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios) aprobado por el RD 47/2007 de 19 de enero.
- [5.10] UNE EN 15316-4-1:2010. Sistemas de calefacción en los edificios Método para el cálculo de los requisitos de energía del sistema y de la eficiencia del sistema Parte 4-1: Sistemas de generación para calefacción de locales, sistemas de combustión (calderas).

- [5.11] UNE EN 15316-4-7:2010. Sistemas de calefacción en los edificios. Método para el cálculo de los requisitos de energía del sistema y de la eficiencia del sistema. Parte 4-7: Sistemas de generación para calefacción de locales, sistemas de combustión de biomasa.
- [5.12] UNE EN 15316-4-3:2008. Sistemas de calefacción en los edificios. Método para el cálculo de los requisitos de energía del sistema y de la eficiencia del sistema. Parte 4-3: Sistemas de generación de calor, sistemas solares térmicos.
- [5.13] Guía técnica selección de equipos de transporte de fluidos. Bombas y ventiladores. IDAE.
- [5.14] Directiva del Consejo 92/42/CEE sobre Eficiencia de Calderas.
- [5.15] Se denomina SEDB_UK: Eficiencia estacional de calderas domésticas en Reino Unido.
- [5.16] UNE EN 297:1996. Gestión del valor. Guía para el diseño y desarrollo de proyectos de Análisis del Valor de acuerdo a la Norma UNE-EN 12973:2000 «Gestión del Valor».
- [5.17] UNE EN 303-5:2013. Calderas de calefacción. Parte 5: Calderas especiales para combustibles sólidos, de carga manual y automática y potencial útil nominal hasta 500 kW. Terminologías, requisitos, ensayos y marcado.
- [5.18] UNE EN 304:2004. Calderas de calefacción. Reglas de ensayo para las calderas con quemadores de combustibles líquidos por pulverización. (Versión oficial EN 304,1992.)
- [5.19] UNE EN 656:2000. Calderas de calefacción central que utilizan combustibles gaseosos. Calderas de los tipos B cuyo consumo calorífico nominal es superior a 70 kW pero, igual o inferior a 300 kW.
- [5.20] UNE EN 15034:2009. Calderas de calefacción. Calderas de calefacción de condensación para combustibles líquidos.
- [5.21] UNE EN 15035:2008. Calderas de calefacción. Requisitos especiales para calderas estancas alimentadas por combustibles líquidos de hasta 70 kW.
- [5.22] UNE EN 15456:2009. Calderas de calefacción. Consumo de energía eléctrica para generadores de calor. Límites del sistema. Medidas.
- [5.23] UNE EN 15316-3-3:2008. Sistemas de calefacción en los edificios. Método para el cálculo de los requisitos de energía del sistema y de la eficiencia del sistema. Parte 3-3: Sistemas de agua caliente sanitaria, generación.
- [5.24] UNE EN 483:2006. Calderas de calefacción central que utilizan combustibles gaseosos. Calderas de tipo C cuyo consumo calorífico nominal es inferior o igual a 70 kW
- [5.25] UNE EN 13836:2007. Calderas de calefacción central que utilizan combustibles gaseosos. Calderas de tipo B cuyo consumo calorífico nominal es superior a 300 kW pero inferior o igual a 1.000 kW.

- [5.26] UNE EN ISO 15378:2008. Materiales para el envase primario de medicamentos. Requisitos particulares para la aplicación de la ISO 9001:2008, teniendo en cuenta las Buenas Prácticas de Fabricación (BPF). (ISO 15378:2011)
- [5.27] DTIE 10.05: Principios básicos de las calderas de condensación. Salvador Solsona y Arcadio García Lastra. ISBN: 978-84-95010-30-8 Depósito Legal: M-58629-2008
- [5.28] Real Decreto 61/2006 de 31 de enero, por el que se determinan las especificaciones de gasolinas, gasóleos, fuelóleos y gases licuados del petróleo y se regula el uso de determinados biocarburantes.

10.4. Capítulo 6

- [6.1] UNE EN 15316-3-1:2008. Sistemas de calefacción en los edificios. Método para el cálculo de los requisitos de energía del sistema y de la eficiencia del sistema. Parte 3-1: Sistemas de agua caliente sanitaria, caracterización de necesidades (requisitos de acometida).
- [6.2] Directiva 92/42 CEE del Consejo de 21 de mayo de 1992 relativa a los requisitos de rendimiento para las calderas nuevas de agua caliente alimentadas con combustibles líquidos o gaseosos.
- [6.3] UNE EN 12897:2007. Abastecimiento de agua. Especificaciones para los calentadores de agua de acumulación por calentamiento indirecto sin ventilación (cerrados).
- [6.4] UNE EN 15316-3-2:2008. Sistemas de calefacción en los edificios. Método para el cálculo de los requisitos de energía del sistema y de la eficiencia del sistema. Parte 3-2: Sistemas de agua caliente sanitaria, distribución.
- [6.5] UNE EN 13203-2:2015. Aparatos de uso doméstico que utilizan combustibles gaseosos para la producción de agua caliente sanitaria. Aparatos con un consumo calorífico inferior o igual a 70 kW y con una capacidad de almacenamiento de agua inferior o igual a 300 l. Parte 2: Evaluación del consumo energético.
- [6.6] UNE EN 304:2004. Calderas de calefacción. Reglas de ensayo para las calderas con quemadores de combustibles líquidos por pulverización.
- [6.7] UNE EN 297:2003. Calderas de calefacción central que utilizan combustibles gaseosos. Calderas de los tipos B₁₁ y B₁₁ B₅ equipadas con quemadores atmosféricos, cuyo consumo calorífico nominal es igual o inferior a 70 kW.
- [6.8] UNE EN 483:2006. Calderas de calefacción central que utilizan combustibles gaseosos. Calderas de los tipos C cuyo consumo calorífico nominal es igual o inferior a 70 kW.
- [6.9] UNE EN 656:2000. Calderas de calefacción central que utilizan combustibles gaseosos. Calderas de los tipos B cuyo consumo calorífico nominal es superior a 70 kW pero igual o inferior a 300 kW.

- [6.10] UNE EN 625:1996. Calderas de calefacción central que utilizan combustibles gaseosos. Requisitos específicos para el servicio de agua caliente sanitaria de las calderas mixtas cuyo consumo calorífico nominal es igual o inferior a 70 kW.
- [6.11] UNE EN 677:1998. Calderas de calefacción central que utilizan combustibles gaseosos. Requisitos específicos para las calderas de condensación cuyo consumo calorífico nominal es inferior o igual a 70 kW.
- [6.12] UNE EN 50440:2016. Eficacia de los calentadores de agua domésticos eléctricos de acumulación y métodos de ensayo.
- [6.13] UNE EN 15316-3-3:2008. Sistemas de calefacción en los edificios. Método para el cálculo de los requisitos de energía del sistema y de la eficiencia del sistema. Parte 3-3: Sistemas de agua caliente sanitaria, generación.

10.5. Capítulo 7

- [7.1] UNE EN 15316-4-3:2008. Sistemas de calefacción en los edificios. Método para el cálculo de los requisitos de energía del sistema y de la eficiencia del sistema. Parte 4-3: Sistemas de generación de calor, sistemas solares térmicos.
- [7.2] El método f-Chart está basado en el programa de simulación dinámica TRNSYS, y es un método estático, basado en correlaciones desarrollado en la década de los setenta del siglo pasado. A partir de un modelo TRNSYS del sistema solar térmico, se realizan varias simulaciones y se extraen una serie de curvas que relacionan la fracción solar del sistema con determinados parámetros de diseño del mismo.
- [7.3] UNE EN ISO 9806:2014. Energía solar. Captadores solares térmicos. Métodos de ensayo.
- [7.4] UNE EN 12977-3:2012. Sistemas solares térmicos y sus componentes. Instalaciones a medida. Parte 3: Caracterización del funcionamiento de acumuladores para instalaciones de calefacción solares.



IDAE, Calle Madera, 8, E-28004, Madrid, Tel.: 91 456 49 00
Fax: 91 523 04 14, email: comunicacion@idae.es // www.idae.es

